Résumé

Longue de 120 km, la Seille prend sa source à la sortie de l'Etang de Lindre et conflue avec la Moselle à Metz. Son bassin versant (1291 Km²) est caractéristique du plateau lorrain (Nord Est de la France) avec un substratum géologique essentiellement marno–calcaire qui appartient à la série sédimentaire du Trias supérieur et du Lias.

La Seille a été particulièrement aménagée au cours de son histoire, et l'impact des interventions humaines s'est traduit par de nombreux changements et dégradations sur le tracé, le lit mineur et le lit majeur. Afin de mieux comprendre les mutations du système fluvial nous essayons d'identifier, à travers le temps, l'influence des aménagements sur le fonctionnement hydrologique. Les objectifs de la thèse s'articulent autour de deux thèmes principaux :

- proposer une méthode qui permet d'expliquer les transformations morpho-dynamique à travers lesquelles sont perçus les changements du système fluvial.
- analyser le paysage fluvial et les rapports complexes qu'entretient la société humaine avec le milieu fluvial.

Résoudre une telle problématique suppose l'emploi d'une méthode transdisciplinaire ; d'où le choix d'une démarche qui associe des recherches historiques à l'étude de la tendance actuelle du cours d'eau. L'histoire ne constitue pas un but mais un moyen pour reconstituer le paysage du passé. L'objectif est de démontrer l'influence des interventions humaines successives sur le paysage actuel selon une optique historique. La démarche adoptée s'articule autour de trois axes de recherches :

- déterminer le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant où les influences anthropiques sont fortes et variées. Ces influences ont entraîné une réponse lente de l'hydro-système, perceptible depuis un demi-siècle.
- analyser les situations hydrologiques extrêmes (crues, étiages) dans les chroniques des stations hydrométriques et rechercher des événements marquants dans l'histoire hydrologique de la rivière. Nous avons insisté sur les crues car c'est à l'occasion de celles-ci que surviennent les modifications les plus visibles du lit fluvial et du cours d'eau. L'objectif de cette partie est essentiellement de mettre en évidence le rôle des débits solides et liquides dans la morpho dynamique du cours d'eau.
- identifier l'évolution du lit fluvial sur deux échelles de temps :
  - l'échelle historique (comptée en siècles) : qui englobe l'étude des photos aériennes anciennes (missions, 1958,1967, 1968 et 1999) et le récapitulatif des aménagements réalisés depuis le XIIIème siècle (étude du tracé, et d'anciens profils en travers)
  - l'échelle contemporaine (comptée en années ou dizaines d'années): qui repose essentiellement sur les observations de terrain : cartographie des morphologies fluviales du lit mineur et du lit majeur, réalisation des profils en travers (été 2004), et traitement des orthophotoplans (2000).

Ces approches permettent de comprendre les mutations du système fluvial qui s'oriente vers une anthropisation totale du paysage qui lui est associé. Aujourd'hui de grands projets sont engagés, en particulier, pour la surveillance et l'entretien du cours d'eau pour tenter de préserver un paysage « naturel ».

Mots clés *: **Paysage ; Hydrologie ; système fluvial ; Aménagement***

Summary

Long of 120 km, **La Seille** takes its source at the exit of the Pond of Lindre and joins the Moselle in Metz. Its catchment area (1291 Km²) is characteristic of the Lorraine plate (Northern Is France) with a geological substratum primarily marno –calcareous which belongs to the sedimentary sequence of Sorted higher and of Lias.

La Seille was particularly arranged during its history, and the impact of the human interventions resulted in many changes and degradations on the layout, the minor bed and the major bed. In order to better include/understand the changes of the river system we try to identify, through time, the influence of installations on hydrological operation. The objectives of the thesis are articulated around two principal topics:

- to propose a method which makes it possible to explain the transformations morpho-dynamics through which is perceived the changes of the river system.
- to analyze the river landscape and the complex reports/ratios which the human society maintains with the river medium.

To solve such problems supposes the use of a method transdisciplinaire; from where the choice of a step which associates historical research the study of the current tendency of the river. The history does not constitute a goal but a means to reconstitute the landscape of the past. The objective is to show the influence of the successive human interventions on the current landscape according to a historical optics. The adopted step is articulated around three research orientations:

- to determine the hydrological operation of a catchment area where the anthropic influences strong and are varied. These influences have involved a slow response of the hydro-system, perceptible for one half-century.
- to analyze the extreme hydrological situations (risings, low water levels) in the chronicles of the hydrometric stations and to seek outstanding events in the hydrological history of the river. We insisted on the risings because it is at the time of those that the most visible modifications of the river bed and the river occur. The objective of this part is primarily to highlight the role of the bed loads and liquids in the dynamic morpho of the river.
- to identify the evolution of the river bed on two scales of time:
  - the historical scale (counted in centuries): who has included the study of the old air photographs (missions, 1958,1967, 1968 and 1999) and the summary of the installations carried out for the XIII ^{2nd} century (study of the layout, and old profiles transversely)
  - the contemporary scale (counted in years or tens of years): who rests primarily on the observations of ground: cartography of river morphologies of the minor bed and the major bed, realization of the profiles transversely (be 2004), and treatment of the orthophotoplans (2000).

These approaches make it possible to include/understand the changes of the river system which is directed towards a total anthropisation of the landscape which is associated for him. Today of great projects are engaged, in particular, for the monitoring and the maintenance of the river to try to preserve a "natural" landscape.

Key words: *Landscape; Water; Hydro river system; Installation*

Introduction et concepts

Le Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz (C.E.G.U.M) se consacre depuis plus de 30 ans à des recherches portant sur le domaine de l'eau. Le travail sur le bassin versant de la Seille s'inscrit dans ces préoccupations. Le thème de l'eau concerne ici un milieu fluvial artificialisé par les aménagements.

I- Choix du sujet :

Les motivations qui ont poussé à choisir ce sujet sont de deux sortes, personnelles et scientifiques :

* les motivations personnelles : L'envie de réaliser une thèse et de valoriser l'expérience acquise pendant les deux ans de DEA, surtout dans le domaine de l'hydrologie et de la dynamique fluviale, sont les grandes motivations personnelles.

* les motivations scientifiques : - Une localisation très particulière du bassin versant de la Seille qui se situe entre l'étang de Lindre à l'amont et la ville de Metz à l'aval. Cette localisation pose de nombreux problèmes associés à la gestion piscicole du Lindre et au contrôle des écoulements à travers l'agglomération messine. Ce bassin s'inscrit dans un milieu rural très humanisé, fondé historiquement sur la production du sel et actuellement sur l'agriculture et l'élevage. - La Seille connaît d'importants problèmes de pollution et d'inondation. L'amélioration de la qualité de l'eau et la lutte contre les risques de débordement représentent des objectifs prioritaires pour l'ensemble du bassin. Aussi de nombreuses actions d'aménagement ont été réalisées. Il en résulte un paysage complètement transformé. Les questions se posent sur l'influence de ces actions d'aménagements sur le cours d'eau.- Les études réalisées à ce jour (Agence de l'Eau Rhin - Meuse, Diren de Lorraine,…), sont des études spécifiques qui étaient menées sur des portions d'espace et non sur le bassin dans sa globalité et qui répondent à des problèmes particuliers. Ces études ne permettent pas d'avoir une vision globale. Notre but est de réaliser une étude qui aborde le fonctionnement hydrodynamique de la Seille dans sa globalité.

II- Inventaire des travaux réalisés sur la Seille

Dans le bassin de la Seille, le problème de l'eau et ses rapports complexes avec l'Homme est au centre de tous les conflits, que se soit dans le temps passé ou présent. Dans ce cadre, les riverains de la vallée de la Seille ont vu le cours d'eau ainsi que le paysage fluvial changer, sous l'effet des actions anthropiques (qui visent à la stabilisation du lit) ou de la dynamique érosive. Ceci explique que cet espace géographique ait déjà fait l'objet de l'attention des services de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM), de la Direction Régionale de l'Environnement de Lorraine (Diren), de la Direction Départementale de l'Agriculture (DDA), de la Direction Départementale d'Equipement (DDE), du Conseil Général, du Conseil Régional ou encore du Parc Naturel Régional de Lorraine. Avant de commencer à exposer la problématique d'étude qui s'articule autour de la relation complexe entre l'Homme et le cours d'eau, nous avons mené un inventaire bibliographique dans l'ensemble de ces services afin de faire un point préalable des projets, notes, mémoires réalisés antérieurement. Le résultat de cette recherche a permis de regrouper ces travaux dans quatre volets différents :

*** **Des études consacrées à l'étang de Lindre** : Vu sa localisation à l'amont du bassin, l'étang de Lindre a fait l'objet de plusieurs études. Elles visent à expliquer l'importance de cet étang pour l'alimentation de la Seille qui y prend sa naissance, en particulier le rôle de la vidange et du remplissage sur les débits et la qualité de l'eau.

***** Des études concernant le fonctionnement hydrologique de la Seille** : Elles comprennent l'analyse des extrêmes hydrologiques, objets de nombreuses analyses et réflexions (1981, 1994, 1996, 1997, 1999 et 2003).

***** Des études concernant la qualité d'eau** : Depuis quelques années, la pollution des eaux de la Seille est devenue le grand problème qui « agace » les gestionnaires et les riverains de la vallée, surtout après la catastrophe de 1990 (mort de milliers de poissons dans la rivière). Dans ce cadre, plusieurs études ont été lancées afin de déterminer les origines de cette pollution ainsi que ses impacts sur la vie aquatique. Les résultats de toutes ces études montrent la dégradation permanente de la qualité des eaux de la rivière. Aujourd'hui, la Seille est jalonnée par un réseau de stations d'épuration qui visent à diminuer la pollution des eaux.

*** **Des études concernant les aménagements** : Les débordements répétés de la Seille, historiques ou actuels, ont nécessité des interventions pour y faire face, mais les études sont peu nombreuses. On trouve quelques citations, en particulier dans une publication sur les voies navigables en Lorraine (Schontz, 2004). La majorité de ces travaux évoquent cependant les aménagements récents et les références aux aménagements anciens sont rares.

On retient que le bassin de la Seille a suscité un intérêt permanent des scientifiques et des gestionnaires à propos des risques naturels, des écoulements et de la qualité d'eau. Deux mémoires universitaires sont dénombrés : la thèse de (L'Hôte, 1967) en hydrologie et la maîtrise de (Grisan, 1999), pour déterminer l'influence de l'étang de Lindre sur le fonctionnement de la rivière. Les autres travaux sont des projets, des notes, des rapports qui répondent toujours à un problème précis comme l'étude de la crue de 1981, ou la dégradation de la qualité d'eau en 1990. Mais aucune étude globale n'existe à ce jour.

III- Définition de la problématique d'étude

La majorité des cours d'eau lorrains sont entièrement anthropisés; les riverains ont cherché à les maîtriser pour garantir une stabilité du milieu et de bonnes conditions d'exploitation. Les lits de ces cours d'eau ont subi des modifications variables dans le temps et dans l'espace. L'évolution des relations entre les riverains et les cours d'eau est à l'origine du changement de paysage fluvial. L'impact de toutes les actions d'aménagements s'est traduit par une évolution plus ou moins importante des lits fluviaux. La Seille est assez représentative des cours d'eau à pente longitudinale faible qui parcourent le Plateau Lorrain. Elle draine un milieu surtout rural dont l'agriculture et l'élevage mettent largement à profit la vallée, ce qui atteste d'ailleurs la stabilité des lits fluviaux. Cette vallée est malgré tout mise à l'épreuve lors de situations spécifiques, naturelles ou en relation avec des interventions anthropiques.

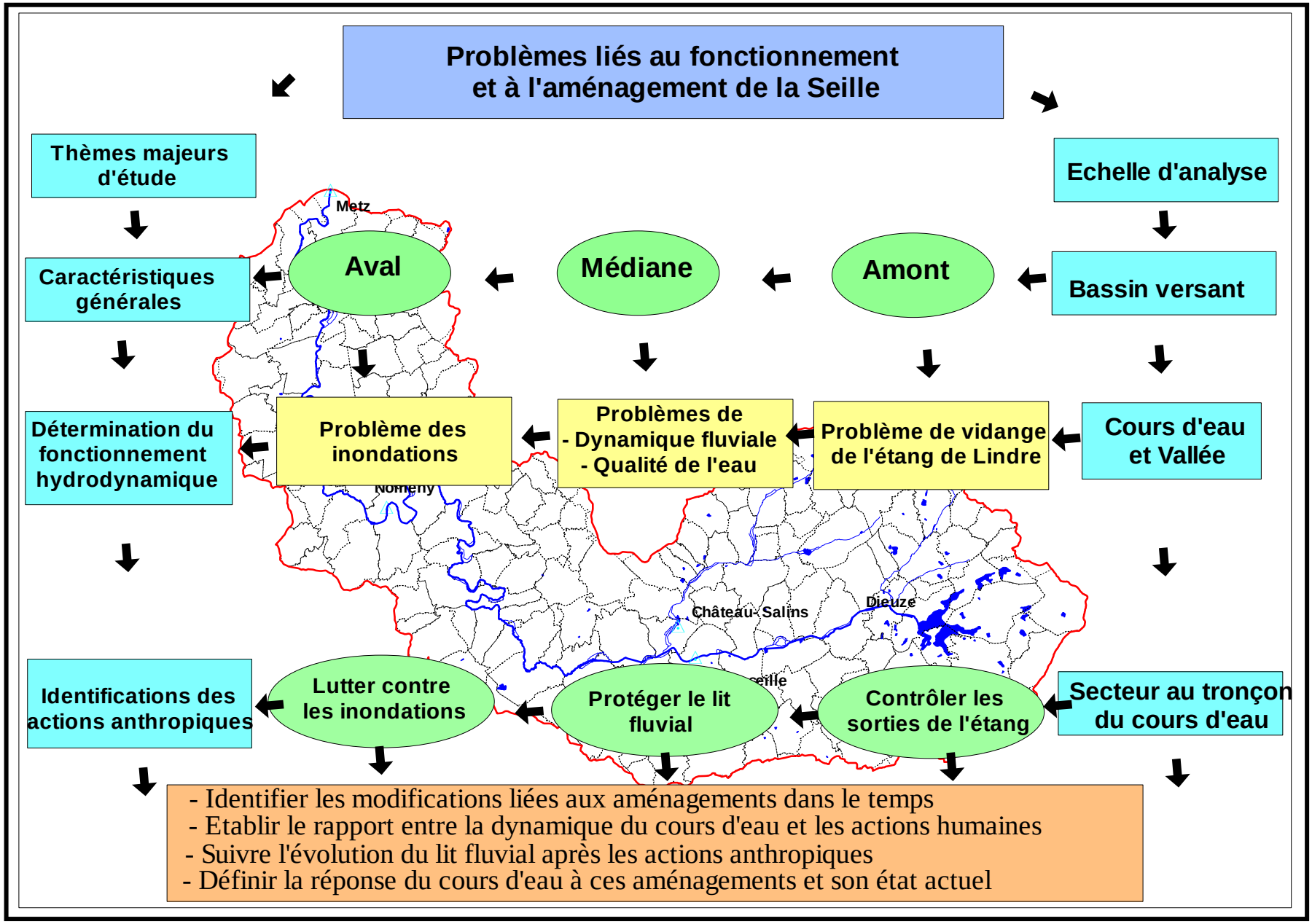
Les caractéristiques physiographiques du bassin prédisposent à un fonctionnement hydrologique dont les excès sont moins dus à l'abondance des volumes écoulés qu'à la durée et à la fréquence des débordements en lit majeur. Ce fonctionnement est lié au climat de type océanique sous influence continentale avec des précipitations régulières toute l'année.

La problématique (carte n°1) s'articule ainsi autour du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant où les influences anthropiques sont variées :

- à l'amont, la vidange régulière de l'étang de Lindre modifie les débits pendant une grande partie de l'année ;
- dans la partie médiane du bassin, essentiellement rurale, des travaux sur le lit mineur ont influencé la dynamique fluviale ;
- à l'aval, la protection des zones habitées de l'agglomération messine transforme le fond alluvial.

Ces influences ont entraîné une réponse lente de l'hydrosystème, perceptible depuis un demi-siècle.

Carte n°1: Problématique d'étude



IV- Objectifs, méthode et démarche

1- Les objectifs de cette étude

La présente étude se donne pour objectif de déterminer le fonctionnement hydrologique et hydrogéomorphologique du bassin de la Seille. Les transformations de la morphodynamique fluviale sont perçues à travers le changement des formes et des rapports complexes qu'entretient la société humaine avec le milieu fluvial. Elle traite à la fois l'hydrologie, la dynamique fluviale et les actions anthropiques. Dans le domaine hydrologique, ce travail fait état des phénomènes hydrologiques extrêmes du bassin, avec un traitement statistique des séries anciennes et récentes (jusqu'à 2004) et l'analyse des derniers événements hydrologiques (crues de 2001 et étiage 2003) ; le but est de comprendre le comportement de la rivière pendant la période des extrêmes.

Dans le domaine de la dynamique fluviale, l'étude est fondée sur l'analyse des photographies aériennes (missions 1967/1968, 1994, 1999) et des images satellites de 2003 pour percevoir l'évolution du tracé du cours d'eau et de l'occupation du sol dans la vallée. Il faut également réaliser la cartographie du lit majeur. Cette analyse est complétée par l'interprétation des données de terrain ayant permis une cartographie des morphologies fluviales en 2003 et par celle d'une campagne des profils en travers réalisée en 2004 sur l'ensemble du cours d'eau. En ce qui concerne les actions d'aménagements, une importante base de données a été réalisée afin d'apporter un nouvel éclairage sur les interventions historiques et leurs types depuis le XIIème siècle. En conséquence, on répertoriera les types de travaux réalisés en fonction de leur principal objectif (aménagements hydrauliques, pour favoriser l'écoulement et lutter contre les risques d'inondations) : aspects techniques, élargissement du lit, redressement, curage, canalisation et ouvrages de protection, impact des travaux sur le milieu aquatique et réponse du cours d'eau à ces aménagements. L'objectif principal étant de déterminer la réponse du cours d'eau aux aménagements du bassin de la Seille, nous devons d'abord répondre à plusieurs interrogations :

- Déterminer les facteurs naturels qui agissent sur la circulation d'eau. Ils permettent d'expliquer les différents processus hydrologiques qui se produisent au sein du bassin et qui influencent la dynamique du cours d'eau : alimentation et structuration de l'écoulement dans le bassin (réseau hydrographique, nappes et étang de Lindre).

- Déterminer le fonctionnement hydrologique moyen et essayer de positionner le bassin de la Seille dans le contexte régional. Déterminer ensuite le fonctionnement hydrologique extrême, pendant les crues (recherche historique des crues de débordements avec une analyse de quelques crues contemporaines afin de déterminer les mécanismes de ce phénomène) et pendant la période d'étiage (débits minimums, durée de l'étiage, avec une étude analytique de l'étiage de 2003 afin de déterminer sa genèse, son évolution et sa fréquence d'apparition). Enfin, mener une étude de l'impact des extrêmes hydrologiques sur le cours d'eau (dégradation de la qualité d'eau, apparition des embâcles, développement de la végétation aquatique).

- Identifier les interventions humaines sur l'ensemble du cours : inventaire des actions anthropiques historiques et récentes (nature et localisation) afin de comprendre les principaux objectifs des travaux d'aménagements et leurs impacts sur le fonctionnement du cours d'eau.

- Identifier et analyser le paysage fluvial de la Seille à partir de la cartographie des morphologies fluviales et du lit majeur afin de déterminer l'impact des actions anthropiques sur le cours d'eau. - Déterminer la réponse du cours d'eau en terme d'évolution des berges, du tracé et du lit fluvial.

2- La méthode proposée

Les études hydrologiques générales sont anciennes et nombreuses : travaux de Parde (1968) sur le Rhône, Frécaut (1972) sur la Moselle, Dacharry (1974) sur la Loire… Dans les pays anglo-saxons, durant les années cinquante, on a assisté à l'apparition de nouvelles études

qui s'intéressent à la géomorphologie fluviale. Elles ont été pilotées par Léopold et Wolman (1957), Schumm (1971) et Knighton (1984). Elles se sont développées un peu plus tardivement dans l'Hexagone. Parmi ces travaux, on peut citer l'œuvre de Bravard (1987), Peiry (1989) et Gautier (1992). Une grande partie des approches menées sur le thème de la dynamique fluviale apparaissent dans l'ouvrage de Bravard et Petit (1997). Depuis, ce champ d'étude a été élargi avec l'apparition de nombreux travaux de géomorphologie fluviale marqués par le développement de nouvelles approches en analyse fluviale. Dans ce sens, on peut citer les études de Cubizolle (1997), Schmitt (2001) et Valette (2002)…

Notre approche s'inscrit dans cette même ligne. Elle est très influencée par les travaux menés en Lorraine par le CEGUM (Corbonnois, 2000, 2001, 2002, 2003 et 2006) et inspirée des recherches majeures menées par Bavard, Maire, Petit, Piegay sur la dynamique fluviale. A partir de ces travaux, nous avons procédé à une sélection d'approches qui peuvent éclairer l'évolution du cours d'eau et qui sont adaptées à notre domaine d'étude et à notre problématique de recherche (la réponse du cours d'eau aux aménagements du bassin versant). Il s'agit donc de choisir et d'appliquer ces méthodes afin d'extraire la matière qui constituera la base de l'analyse du paysage fluvial de la Seille. Notre méthode associe à la fois l'histoire et la géographie. Pour certains auteurs tels que Suttor (1995), il s'agit d'une approche de « Géographie historique appliquée », pour d'autres, comme Humbert (1990), c'est de la « géohistoire des paysages ». Finalement nous avons retenu trois grandes approches appliquées à la vallée de la Seille :

*** **L'approche historique (ancienne)** consiste en une collecte des données à partir de la littérature ancienne et des archives. (Archives départementales à Metz et Nancy, Diren Lorraine, Agence de l'Eau Rhin-Meuse…). En effet, depuis longtemps, de nombreux auteurs ont exploité cette piste pour en extraire l'information historique. Ces recherches ont concerné : les aménagements, l'hydrologie, la géomorphologie de la vallée de la Seille. Le dépouillement des archives peut se faire selon deux approches : l'une manuelle dans les salles où sont stockés les anciens documents et une autre numérique concernant les archivages électroniques. Malheureusement, tous les fonds ne sont pas encore numérisés, c'est la raison pour laquelle nous nous sommes concentrés sur les recherches manuelles : - Les documents écrits : extraits de journaux, rapports d'ordre administratif, lettres communales, notes… Les documents dépouillés pour l'information historique se réfèrent à l'espace régional. - Les cadastres et les cartes anciennes qui informent plus particulièrement sur l'évolution du tracé du cours d'eau. - Les marques laissées sur le terrain et les témoignages : ils concernent les événements exceptionnels. - Les profils en travers anciens.

*** **L'approche opérationnelle de terrain (actuelle)** se réfère à trois grandes investigations appliquées au domaine d'étude : - La cartographie des morphologies fluviales (réalisées durant l'été 2003) concerne plus particulièrement le lit mineur du cours d'eau. Les relevés de terrain et l'analyse des morphologies fluviales permettent d'expliquer le fonctionnement hydrodynamique de la Seille. Les principales informations prises en compte sont les suivantes : observation et cartographie de l'état des berges, de la position des digues, de la localisation des barrages, de la végétation, etc, et interprétation des éléments significatifs du cours d'eau. Ces repères identifiés permettent d'alimenter la réflexion sur le paysage fluvial, en y associant les connaissances acquises à partir des données historiques et de la bibliographie. - La cartographie du lit majeur a été réalisée à partir de prospections de terrain, ainsi qu'à partir de l'interprétation des photographies aériennes de différentes missions IGN (1967/1968, 1994, 1999) et des images satellites de 2003. Les principales informations prises en compte sont : les formes antérieures, les formes vives, l'occupation du sol. Ces éléments permettent d'expliquer le fonctionnement hydrodynamique du lit majeur de la Seille. - La mesure des profils en travers permet de déterminer la largeur, la hauteur et la profondeur de la section mouillée. Ces éléments servent à apprécier l'énergie du cours d'eau et à évaluer l'évolution morphogène. Les mesures ont été réalisées durant l'été 2004. Le choix des sites était dicté par les profils antérieurs trouvés dans les archives de la Diren Lorraine. Sur l'ensemble du cours d'eau, 16 profils en travers ont été effectués.

*** **Les approches statistiques et techniques** s'opèrent à l'aide d'outils informatiques (logiciels de traitement de données). Le traitement statistique des données de températures, de précipitations, de débits et des profils en travers, a été effectué sur Excel et Surfer. L'utilisation des logiciels de cartographie (Mapinfo et Mapinfo vertical, ArcGis, Surfer), des logiciels de traitement des photographies aériennes (Erdas), des logiciels de traitement statistique des données cartographiques (Spad) a également été requise.

Le croisement des données issues de ces approches permet de répondre à la problématique posée : la détermination du fonctionnement hydrodynamique de la Seille sous influence anthropique.

3- La démarche adoptée

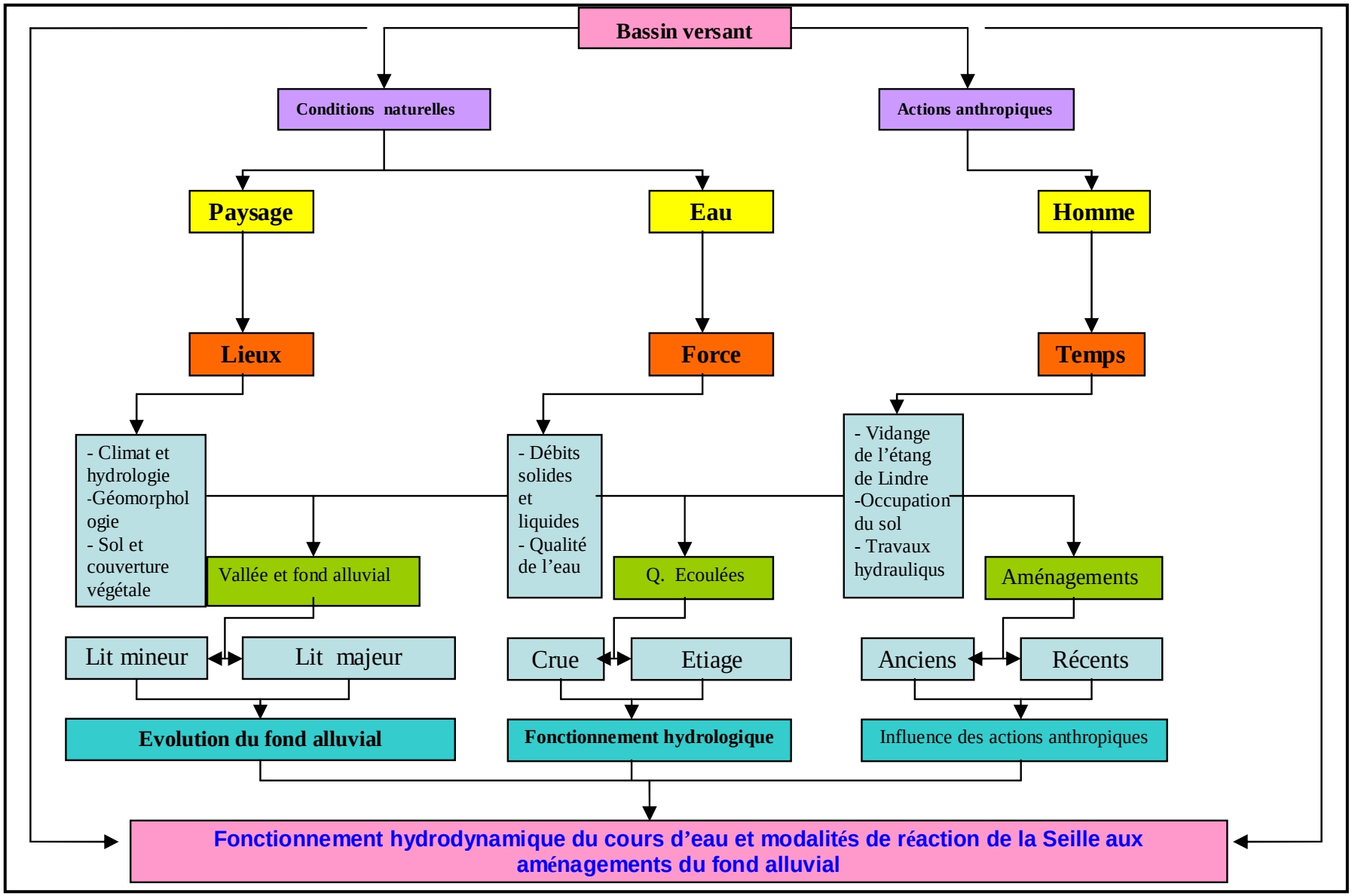
Afin d'atteindre les objectifs fixés, la démarche adoptée est une approche systémique avec deux moteurs : dynamique et historique (figure n°1). Elle se base sur trois thèmes principaux : le paysage, l'eau et l'homme. Cette démarche est appliquée au cours d'eau et à ses transformations à différentes échelles temporelles.

*** **Le paysage** : il permet de déterminer **les lieux** où se modifient les morphologies fluviales, ce qui correspond aux contraintes géomorphologiques du bassin versant de la Seille. L'objectif principal est d'identifier les composantes majeures de la dynamique fluviale : différencier les grandes régions naturelles du bassin en détaillant les caractéristiques structurales, géomorphologiques et étudier les caractéristiques du réseau hydrographique qui agissent sur l'alimentation en eau. C'est finalement un travail d'identification qui nous permettra de replacer le domaine d'étude dans son contexte local et régional.

*** **L'eau** : elle représente **la force** et l'énergie nécessaire à la dynamique du milieu, ses modifications. L'intérêt est de définir l'irrégularité de cette force, sa variabilité temporelle et spatiale. Nous insistons sur les crues et les étiages à travers l'étude hydroclimatique, qui détermine les modes de la dynamique fluviale. Elle est basée sur le traitement statistique des données climatiques et hydrométriques (régime et modalité de l'écoulement, influence de l'étang de Lindre). Nous démontrerons le fonctionnement hydrologique du bassin de la Seille à partir du bilan hydrologique.

***** L'homme** : il mène sur le cours d'eau des actions variables au cours du **temps.** Le but est de déterminer l'évolution historique et la tendance actuelle de la morphodynamique fluviale. Les références au temps vont du XIIIème siècle jusqu'à 2004. Il s'agit de faire un état des lieux de tous les aménagements réalisés sur la Seille, puis de les classer selon leurs influences sur le cours d'eau. Une différenciation des aménagements historiques et des aménagements récents a été nécessaire pour déterminer leurs impacts exacts sur le cours d'eau et sur l'évolution du lit fluvial.

Figure n°1 : La démarche adoptée pour l'analyse de la problématique



V- Données utilisées

La collecte des données se décline en quatre phases :

* La première phase concerne essentiellement le travail bibliographique. Elle représente la base de l'étude car elle va permettre d'être à jour au niveau des travaux existants sur le bassin. Cette phase consiste en l'acquisition, la collecte et la synthèse des données existantes sur le bassin de la Seille (documents, projets, analyses, études, ...) et actuellement disponibles dans les différentes administrations, services, communes, syndicats et laboratoires…

* La deuxième phase comprend plus particulièrement la collecte des données climatiques et hydrométriques. Les données des précipitations et des températures proviennent de Météo France. Pour les données pluviométriques, on dispose de 5 stations dans le bassin et 11 aux alentours immédiats, avec des chroniques qui varient entre 1950-2004 pour la station de Metz et 1971-2004 pour les 15 autres stations. Les données thermiques proviennent de deux stations : la station d'Augny près de Metz (chronique de 1945 à 2004) et la station de Château-Salins pour une chronique qui va de 1971 à 2004. Les données hydrométriques sont issues de quatre stations gérées par la Diren Lorraine, situées à Moyen Vic, Château-Salins, Nomeny et au Pont Lothaire à Metz. Les chroniques vont de 1965 à 2004 pour la station de Metz, de 1971 à 2004 pour les stations de Nomeny et Château-Salins et de 1986 à 2004 pour la station de Moyen Vic.

* La troisième phase concerne essentiellement la partie historique dont la collecte des données s'effectue aux archives. Au cours de cette recherche, plusieurs archives ont été consultées : les archives départementales à Metz, à Nancy, les archives de la DDAF, les archives de la Diren Lorraine. A noter que nous n'avons pas pu accéder à d'autres archives comme celles des syndicats d'aménagement de la Seille. Les recherches permettent de remonter jusqu'au XIIIème siècle. Les types de données collectées sont :

- Les plans cadastres napoléoniens (1807 – 1850) ;
- Les anciennes cartes : cartes de Cassini, cartes allemandes (1870 et 1914), cartes militaires (1954) ;
- Les anciens profils en travers : deux campagnes réalisées en 1976 et 1985;
- Les photographies aériennes : trois missions effectuées en 1958 pour la partie médiane autour de Nomeny et deux missions pour tout le cours d'eau en 1967/1968 et 1994, ainsi qu'une mission des Orthophotoplans de 1999 et des images satellites (Spot) de 2003 qui couvrent l'ensemble du bassin ;
- Les documents écrits qui témoignent d'une intervention humaine sur le cours d'eau.

Cette phase a été longue, mais les résultats sont très satisfaisants.

* La quatrième phase concerne la prospection sur le terrain. Il s'agit de la partie opérationnelle de l'étude, qui présente l'origine de l'information actuelle. Ce travail de terrain a été réalisé en deux étapes :

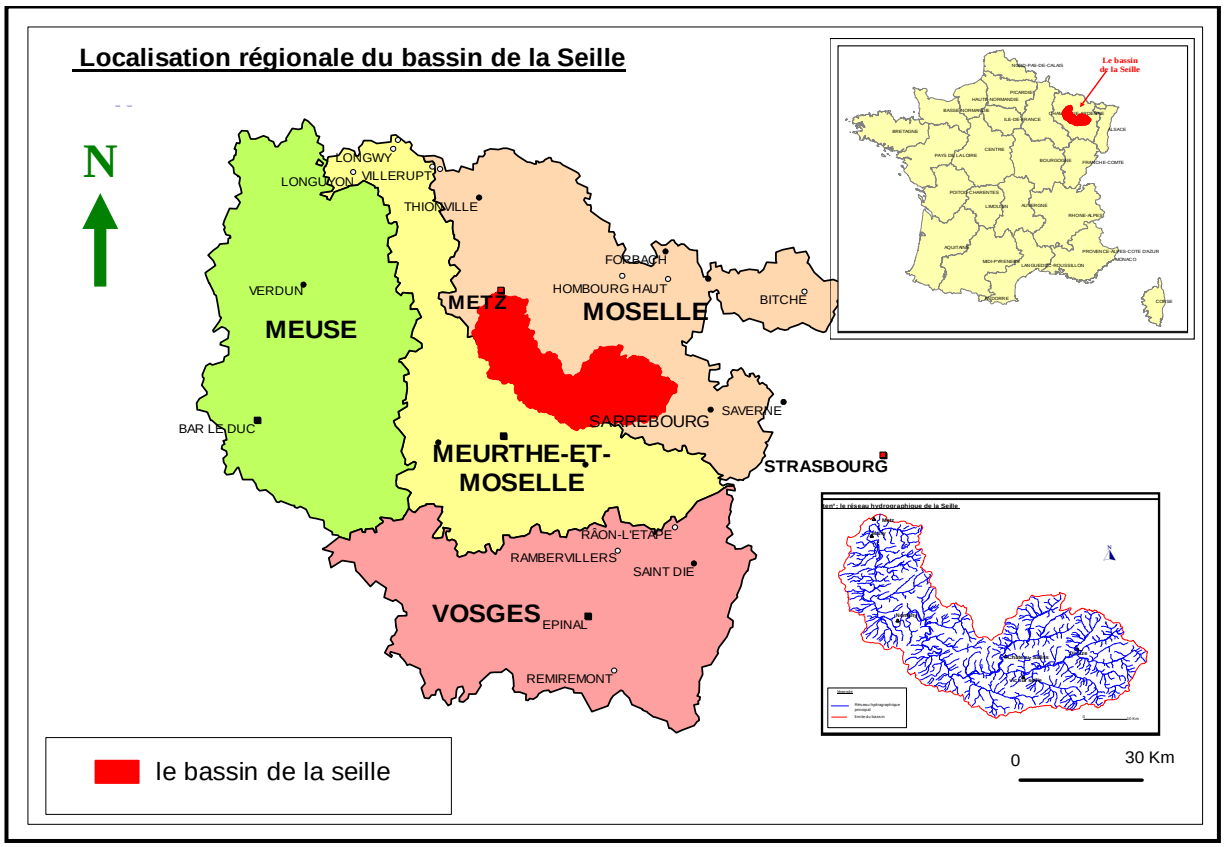
- La première étape concerne la collecte des données générales sur le cours d'eau. Le type d'information recueillie sert surtout à positionner le bassin dans son contexte local. Généralement, cette phase est préparatoire à un travail plus précis.
- La deuxième étape concerne la collecte de terrain des informations sur le cours d'eau. Cette étape se compose de deux parties : la cartographie des ensembles morphologiques de la Seille réalisée pendant l'été 2003 (juin, juillet et août) et la réalisation d'une campagne de profils en travers sur la Seille durant l'été 2004.

VI – Présentation du domaine d'étude :

Le bassin de la Seille (carte n°2) se situe entièrement sur le plateau lorrain, dans le nord-est de la France. Il s'étend au sud-ouest du département de la Moselle et au nord-est de la Meurthe-et-Moselle. Il comprend 126 communes en Moselle et 37 communes en Meurthe-et-Moselle. De Chambrey à Aulnois-sur-Seille, la Seille constitue la limite départementale entre la Moselle et la Meurthe-et-Moselle et a servi de frontière franco-allemande de 1871-

1918. Les « plaines » de la Seille et de la petite Seille sont en grande partie consacrées à la culture et à l'élevage.

Carte n°2:



La Seille est un affluent de rive droite de la Moselle, elle prend sa source à la sortie de l'étang de Lindre, à 210 m d'altitude et elle conflue à Metz à 165 m d'altitude. Longue de 120 km, elle draine un bassin de 1264,3 km². Elle coule sur un substratum géologique essentiellement marno-calcaire qui appartient à la série sédimentaire du Trias supérieur et du Lias, affleurant dans l'est du Bassin Parisien. Le développement du réseau hydrographique dans le bassin de la Seille est différent suivant la région naturelle drainée. A l'amont, dans la plaine du Saulnois et des Etangs, la rivière coule d'est en ouest dans une vallée évasée, dont le fond atteint quelques centaines de mètres de large ; le réseau de drainage est dense. Vers l'aval, dès son arrivée sur les sédiments du Lias, la Seille prend une direction SE - NO, puis S - N à partir de Port-sur-Seille ; le cours d'eau a alors une position subséquente par rapport à l'avant côte de Moselle dont il draine la dépression. Dans cette partie, qui correspond approximativement au plateau liasique, les affluents ne sont pas nombreux, assez courts et présentent souvent un caractère temporaire. La rivière décrit de grandes boucles irrégulières, encaissées dans les calcaires et les grès du Lias inférieur. A l'aval, on observe des sinuosités plus libres en alternance avec un tracé rectiligne.

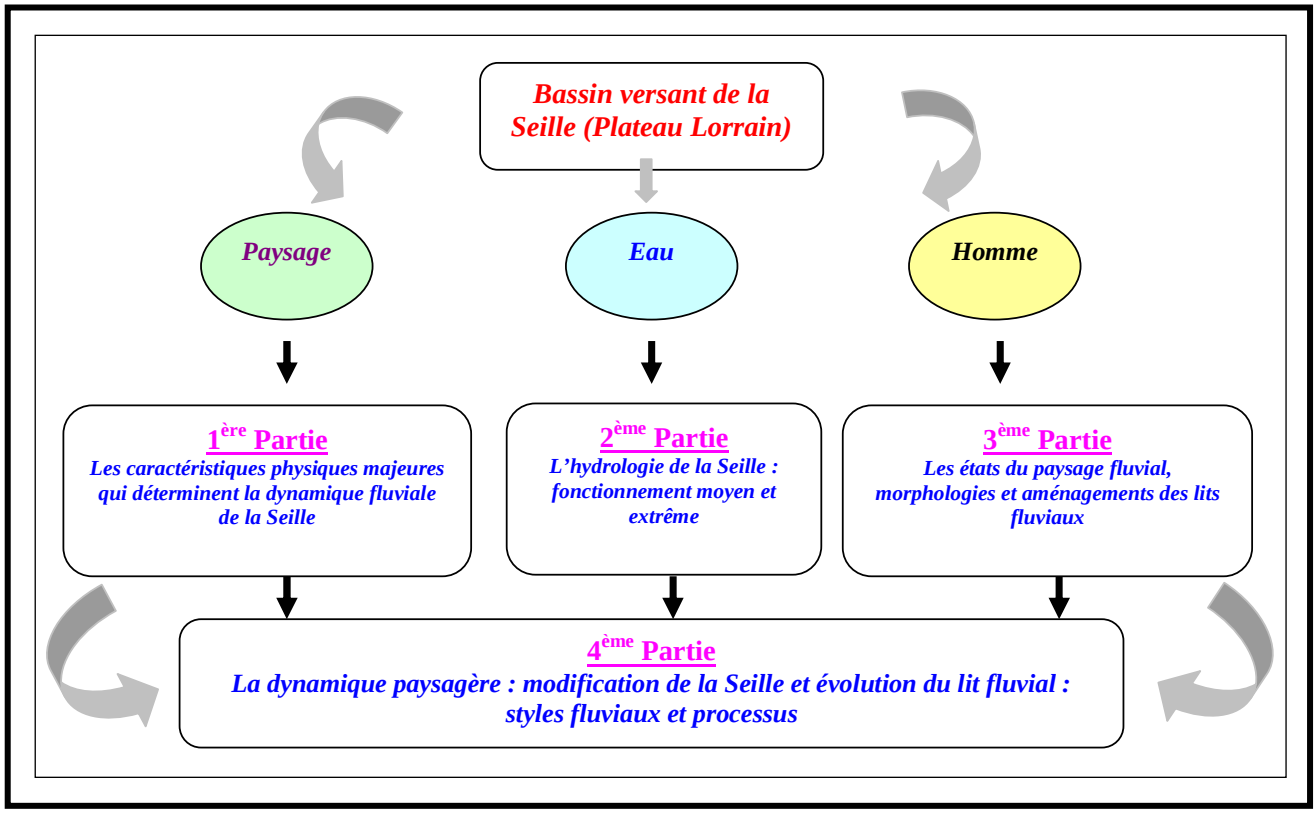
Le climat du domaine étudié est de type océanique sous influence continentale. Les précipitations sont de l'ordre de 755 mm pour une période d'étude qui va de 1971 à 2004. Les précipitations tombent durant toute l'année, avec un léger maximum en automne. En ce qui concerne l'écoulement, les modules connaissent une variabilité annuelle et spatial notable. A la station de Nomeny, le débit est de 7,74 m³/s (1971-2004) ; à la station de Metz, il est de 10,19 m³/s. Si le module varie avec la superficie des espaces drainés, les lames écoulées et les rendements sont relativement stables à l'intérieur du bassin. Des contrastes apparaissent surtout en période de hautes eaux et de crues ; les débits de la Seille peuvent alors atteindre 51,8 m³/s à l'exutoire (débit moyen du mois de mars 2001). Au contraire pendant la période des basses eaux, la Seille ressemble à une petite rivière dont le débit à l'exutoire peut atteindre 0,50 à 0,60 m³/s (débit moyen du mois d'août 1976) ; une telle situation peut se maintenir

longtemps (VCN_{90} = 2,36 m^3/s). Pendant la période des crues, très abondantes en hiver, la Seille déborde fréquemment avec en moyenne deux submersions du lit majeur par an. Ces situations extrêmes entraînent différents types de préjudices (dégradation de la qualité d'eau, apparition d'embâcles, …), qui impliquent les actions d'aménagements.

VII - Déroulement de l'étude

Les champs abordés pour expliquer le fonctionnement hydrodynamique de la vallée de la Seille sont très divers. Le plan proposé pour atteindre les objectifs fixés auparavant se compose de 4 parties (figure n°2).

Figure n°2: Schéma du déroulement de l'étude



- La première partie correspond à l'identification des caractéristiques physiques majeures qui pèsent sur la dynamique fluviale de la Seille. Elle a pour objectif de présenter les trois composantes majeures qui influencent la dynamique fluviale : les composantes naturelles, humaines et hydrologiques. Cette partie comprend deux chapitres qui regroupent les trois composantes. Le premier chapitre analyse essentiellement les composantes naturelles et humaines. Le deuxième chapitre détaille les composantes hydrologiques c'est-à-dire les conditions d'écoulement de l'eau dans le bassin de la Seille.

- La deuxième partie porte sur l'étude du fonctionnement hydrologique moyen et extrême. Elle se compose de deux chapitres : le chapitre trois est consacré à la critique des données, à l'analyse des données pluviométriques, aux températures, à l'évapotranspiration et aux écoulements dans le bassin. Par la suite, nous proposons dans le chapitre quatre l'analyse les situations hydrologiques extrêmes (crues, étiages). Nous essayons de rechercher toute l'histoire hydrologique du cours d'eau. On insistera sur les crues car c'est à l'occasion des inondations que surviennent les modifications les plus visibles du lit fluvial. Le but de cette partie est essentiellement de mettre en évidence le rôle des débits des crues dans la morphodynamique et surtout leurs actions directes sur le lit du cours d'eau. Le dernier axe de

cette partie contient les impacts des extrêmes hydrologiques sur la morphologie du cours d'eau.

- La troisième partie est consacrée à l'étude de la dynamique paysagère : modification de la Seille et évolution du lit fluvial, styles fluviaux et processus. Cette partie contient deux axes de recherche qui correspondent à deux chapitres :

* Chapitre 5 : physionomie du paysage fluvial, qui concerne l'identification du paysage fluvial actuel (lit mineur et lit majeur) à partir de la cartographie des morphologies fluviales et de la cartographie du lit majeur. Dans ce chapitre, on a mis en œuvre une méthode de découpage de la Seille qui a conduit à la détermination des modalités d'évolution actuelle à partir de l'analyse de l'état des berges par grandes zones, par tronçons et par secteurs. On a également essayé de déterminer les modalités de la circulation d'eau dans le lit majeur par grandes zones et par tronçons.

* Chapitre 6 : il traite des modifications du paysage fluvial par les actions anthropiques. Cette analyse contient deux volets, le premier concernant tous les aménagements répertoriés pendant la période historique (qui démarre au XIIIème siècle jusqu'en 1970) et le deuxième les actions menées pendant la période actuelle (de 1970 jusqu'à aujourd'hui). L'objectif principal est de dégager les transformations du paysage de la Seille sur deux éléments essentiels : le tracé et l'occupation du sol.

- La quatrième partie traite l'évolution du lit fluvial avec la détermination des styles fluviaux et l'analyse des processus. Dans le cadre de cette partie, nous avons fait appel à tout un cortège de facteurs explicatifs, exposés auparavant : climatique, physique, historique, géomorphologie, anthropique, pour essayer de cerner les mécanismes de la dynamique fluviale. Cette partie se décline en deux thèmes majeurs qui correspondent à deux chapitres différents :

* Chapitre 7 : caractéristiques et modification de la Seille par région et par tronçon. Il concerne l'analyse de l'évolution du lit fluvial dans ses rapports avec les aménagements, et notamment les modes de réaction et les processus dynamiques. Cette démonstration est basée sur la comparaison des profils anciens et récents. Nous proposons ensuite plusieurs exemples représentatifs de l'ensemble du cours d'eau et qui nous informent sur le fonctionnement différentiel du lit mineur.

* Chapitre 8 : de la dynamique à la gestion du cours d'eau : évaluation des actions anthropiques et des réactions de la Seille par la modélisation. Nous proposons un modèle mis au point par Rolland-May (2000), qui n'a été utilisé que sur les thématiques de géographie humaine et que nous avons essayé d'adapter au domaine de la géographie physique. L'objectif de ce modèle permet de valoriser les sources historiques, d'exploiter le travail de terrain et de répondre à nos questions concernant l'impact des aménagements sur le fonctionnement du cours d'eau.

Introduction générale de la première partie

Cette première partie a pour objectif principal d'exposer le cadre général du bassin versant et de la vallée de la Seille. Cette présentation du domaine d'étude permet d'analyser les caractéristiques physiques du milieu et d'identifier les composantes majeures de la dynamique fluviale qui influencent le fonctionnement du cours d'eau.

Trois thèmes majeurs sont abordés :

* Les composantes naturelles : il s'agit de définir le cadre géomorphologique ainsi que les caractéristiques géométriques du bassin de la Seille, c'est-à-dire que nous nous intéressons aux facteurs qui commandent la circulation de l'eau.

* Les composantes humaines : elles correspondent au poids de la société qui pèse sur le milieu et participe à son évolution, notamment en fonction de la densité de population.

* Les composantes hydrologiques : il s'agit d'identifier les ressources en eaux dans le bassin, afin d'expliquer ultérieurement les caractéristiques des écoulements et les modalités de la circulation de l'eau.

Cet état des lieux permet de mieux comprendre les enjeux déterminés par la position du bassin versant et qui agissent sur la dynamique du cours d'eau.

***Chapitre 1* : Les composantes majeures du système fluvial dans le bassin de la Seille : naturelles et humaines**

Cette étude porte sur les multiples facteurs qui permettent d'expliquer les processus hydrologiques qui se produisent au sein du bassin. Le croisement de l'ensemble des observations contribue à l'explication du fonctionnement du système fluvial. Comme cela a déjà été mentionné, la source principale des données utilisées sont les cartes topographiques (à 1/50 000 et à 1/25 000), ainsi que les cartes géologiques (à 1/50 000 et à 1/80 000), qui ont été complétées par des informations extraites de la bibliographie. Ces composantes sont présentées pour l'ensemble du bassin au par sous bassin contrôlés par des stations hydrométriques (Moyen Vic, Château-salins, Nomeny et Metz).

I- Les caractéristiques morphométriques et hypsométriques du bassin de la Seille

Les pentes, la forme du bassin influencent directement la vitesse de concentration des eaux à l'exutoire. Les indices morphométriques aident à déterminer les caractéristiques physiques des conditions de la circulation de l'eau et permettent d'avoir un aperçu sur la configuration générale du bassin versant.

1- Les indices morphométriques du bassin

La bibliographie fait état de plusieurs méthodes permettant de quantifier les caractéristiques d'un bassin versant. Nous avons appliqué les trois formules les plus courantes (carte n°3):

a - Les indices de formes

- Indice d'allongement de Horton : Cet indice permet d'assimiler la forme du bassin à un carré, soit :

$$IH = \frac{lh}{ih}$$

Avec :
lh : plus grande longueur du bassin à l'exutoire (km).
ih : plus grande largeur du bassin, perpendiculaire à la longueur lh (km).

- Indice de compacité de «Gravelius» : Cet indice (Kc) permet de comparer la forme du bassin à un cercle. Il est égal à 1 pour un bassin circulaire et croît d'autant plus que la compacité diminue.

$$Kc = 0,28 . \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :
P : périmètre stylisé du bassin (Km)
A : superficie du bassin (Km ²)

- Indice du rectangle équivalent : Il s'agit d'une transformation géométrique qui permet d'assimiler le bassin à un rectangle de même périmètre et de même superficie. L'indice du rectangle équivalent s'exprime comme suit:

$$Ir = \frac{lr}{ir}$$

$$lr = \frac{KC \cdot \sqrt{A}}{1.12}\left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)}\right)$$

Avec :
lr : la longueur du rectangle équivalent (km)
ir : la largeur du rectangle équivalent (km).
Kc : indice de compacité de Gravelius

b- Les résultats :

Les résultats obtenus par sous-bassin contrôlé par une station hydrométrique sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 1: Caractéristiques morphométriques du bassin versant de la Seille

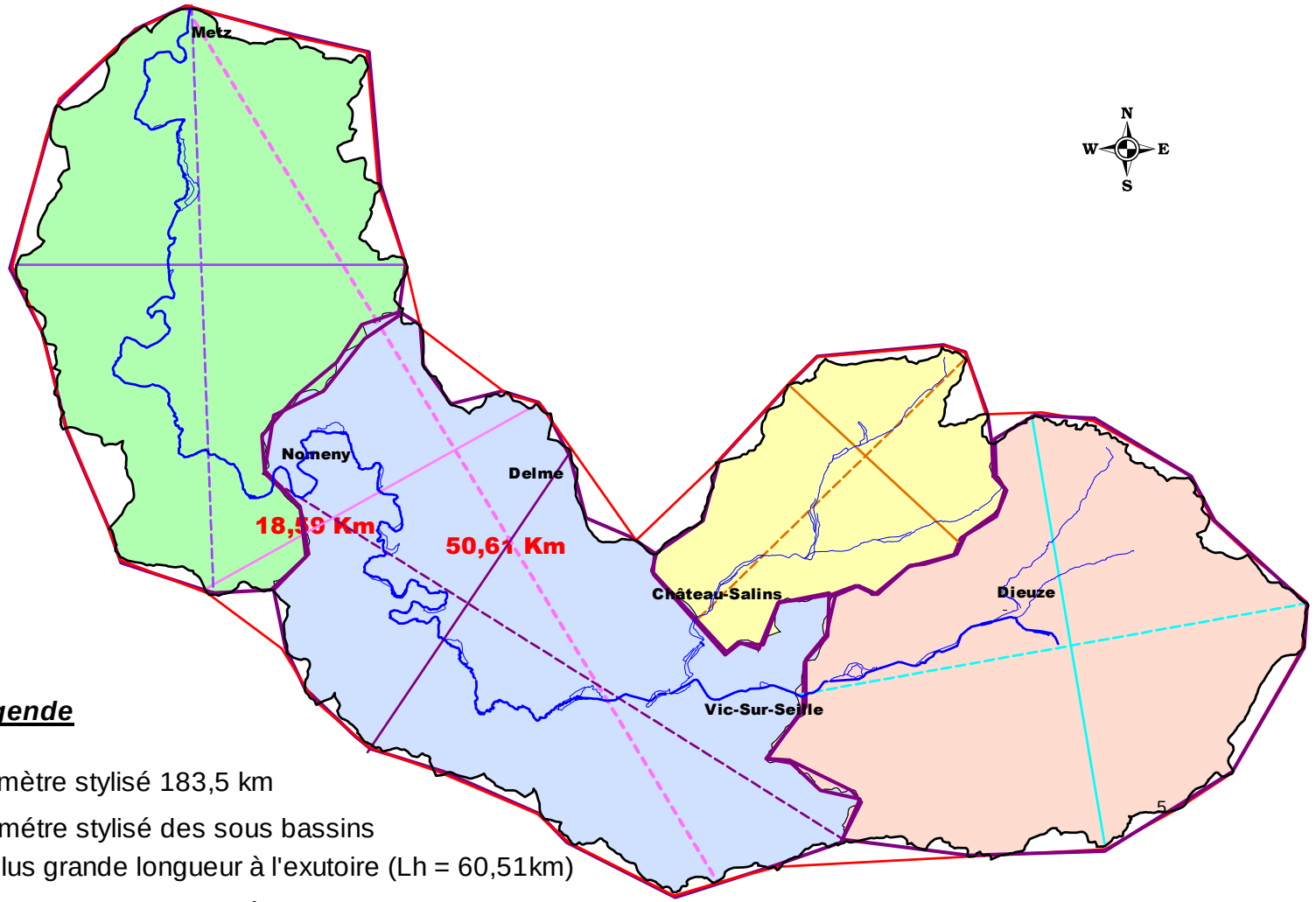
Indice de forme		**Sous-bassin de Moyen Vic**	**Sous-bassin de Château-Salins**	Bassin intermédiaire de Nomeny	Bassin intermédiaire de Metz	**L'ensemble de la Seille à Metz**
A	Superficie (km²)	348,9	145.5	424,4	345,5	1264,3
P	Périmètre (km)	79,04	51,92	103,3	80,56	232,0
Ih (km)	Plus grande longueur du bassin à l'exutoire	25,09	18,23	33,23	29,29	50,61
ih (km)	Plus grande largeur du bassin perpendiculaire à la longueur	21,68	11,40	17,99	19,02	18,59
IH	**Indice de Horton**	1,16	1,60	1,85	1,54	2,72
Kc	**Indice de compacité de Gravelius**	1,17	1,16	1,37	1,15	1,82
Lr (km)	Longueur du rectangle équivalent	25,09	18,23	33,23	29,29	50,61
Ir (km)	Largeur du rectangle équivalent	21,68	11,40	17,89	19,02	18,51
Ir	**Indice du rectangle équivalent**	1,16	1,60	1,86	1,54	2,73

L'indice d'allongement de Horton (IH), qui prend en considération les plus grandes longueur et largeur du bassin, révèle un bassin total de la Seille relativement compact (sa longueur est trois fois et demie plus grande que la largeur; lh : 50,61, ih : 18,59). Les résultats sont du même ordre pour les sous-bassins de Moyen Vic, Château-Salins, Nomeny et Metz (la longueur est une fois et demie plus longue que la largeur).

Pour l'indice de Gravelius, nous constatons que la forme géométrique de l'ensemble du bassin versant de la Seille ne ressemble en rien à un cercle. Les résultats s'éloignent peu de 1 pour les cinq entités considérées (1,17 pour Moyen Vic, 1,16 pour Château Salins, 1,37 pour Nomeny, 1,15 pour Metz, et 1,82 pour l'ensemble de la Seille), ce qui caractérise les bassins compacts.

Le périmètre stylisé dans le bassin de la Seille

Carte n° 3



Ces indices de forme sont confirmés par les données du rectangle équivalent qui montrent à nouveau que le bassin de la Seille est compact: il y n'a pas une grande différence entre les longueurs et les largeurs du bassin (1,16 pour Moyen Vic, 1,60 pour Château-Salins, 1,86 pour le sous-bassin intermédiaire de Nomeny, 1,54 pour le sous-bassin intermédiaire de Metz, et 2,73 pour l'ensemble de la Seille). Donc, l'indice du rectangle équivalent montre que ces sous-bassins sont quasiment des carrés. Quant à l'ensemble du bassin de la Seille, il a une forme allongée, ce que confirme le fort indice du rectangle équivalent. Pour conclure, ces indices de forme montrent qu'il n'existe pas de différence notable entre les sous-bassins. Ils soulignent l'homogénéité d'un bassin de forme allongé qui ressemble plutôt à un croissant

2- L'hypsométrie et système de pente du bassin versant de la Seille

L'étude de l'hypsométrie a été réalisée à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT). L'objectif de l'étude hypsométrique est de décrire le relief déterminé par l'organisation spatiale des altitudes, qui influence les variations climatiques et conditionne en particulier la vitesse de transfert de l'eau.

a- L'hypsométrie du bassin

Le bassin de la Seille a été découpé en classes d'altitude. Compte tenu du dénivelé théorique (Dt = altitude maximale - altitude minimale) de 253 m, dix classes ont été retenues avec 25,7 m d'équidistance (carte n° 4 et courbe hypsométrique).

Le tableau ci-dessous (n°2) montre la superficie de chaque classe d'altitudes ainsi que leur pourcentage. On constate que 35% des altitudes dans le bassin de la Seille se situent entre 213,4 et 239,1 m.

Tableau n°2 : Répartition hypsométrique dans le bassin de la Seille

Altitudes (m)	Superficies entre les courbes (km²)	Pourcentage %	Pourcentage cumulé %
≤ 162 – 187,7	57,6	4,6	4,6
187,7 – 213,4	272,1	21,5	26,1
213,4 – 239,1	442,6	35,0	61,1
239,1 – 264,8	267,8	21,2	82,3
264,8 – 290,5	144,8	11,5	93,7
290,5 – 316,2	53,7	4,2	98,0
316,2 – 341,9	16,46	1,3	99,3
341,9 – 367,6	5,51	0,4	99,7
367,6 – 393,3	2,85	0,2	99,9
393,3 – 419,0	0,94	0,1	100,0
Total	**1264,36**	**100**	**100**

Carte n° 4

L'hypsométrie dans le bassin de la Seille

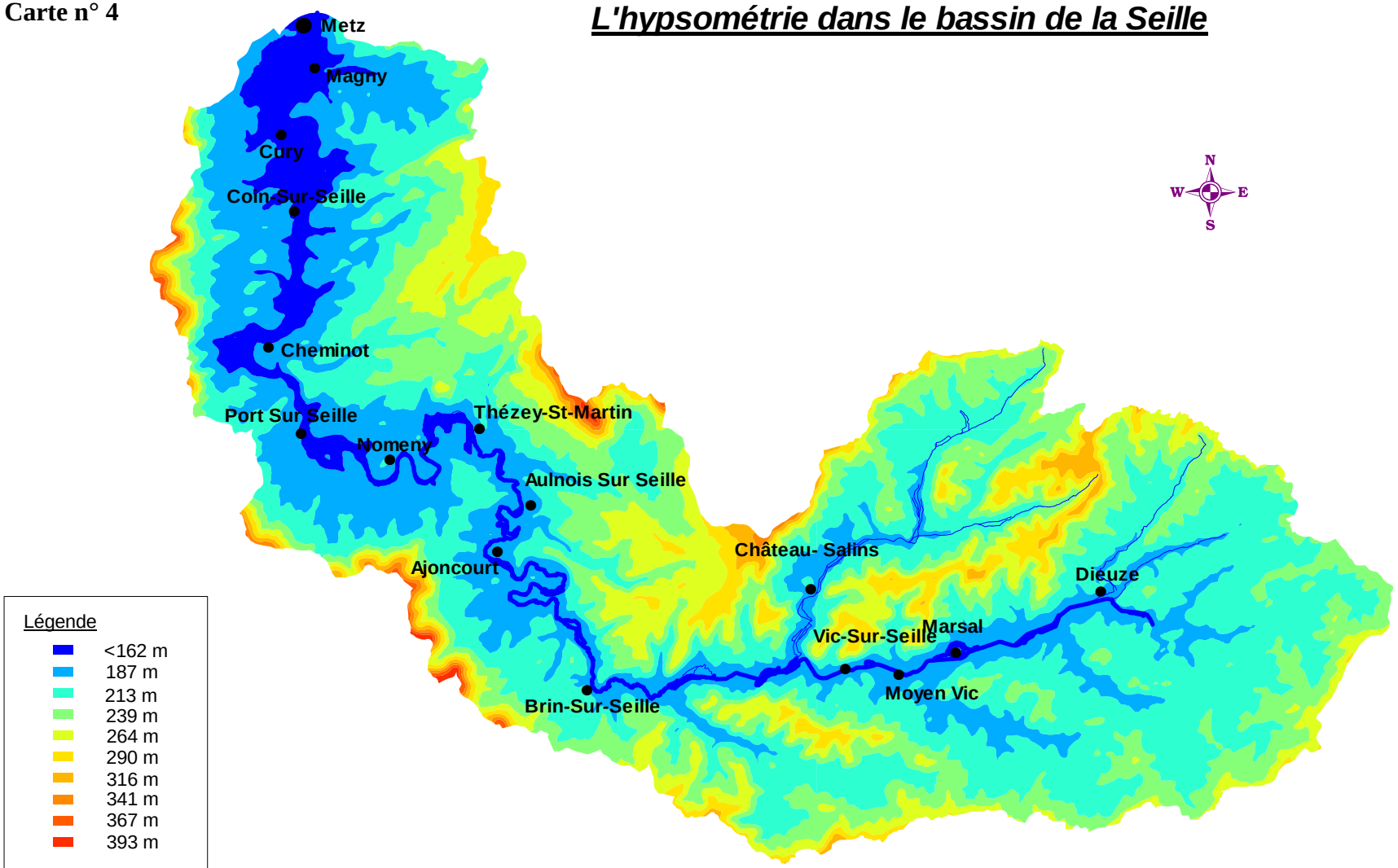
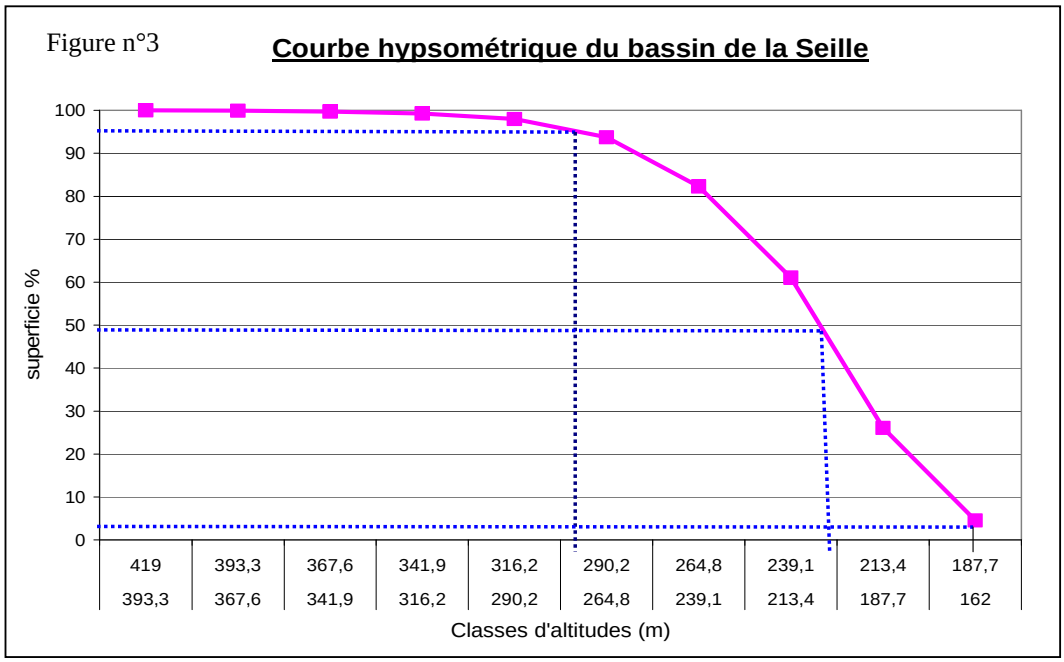
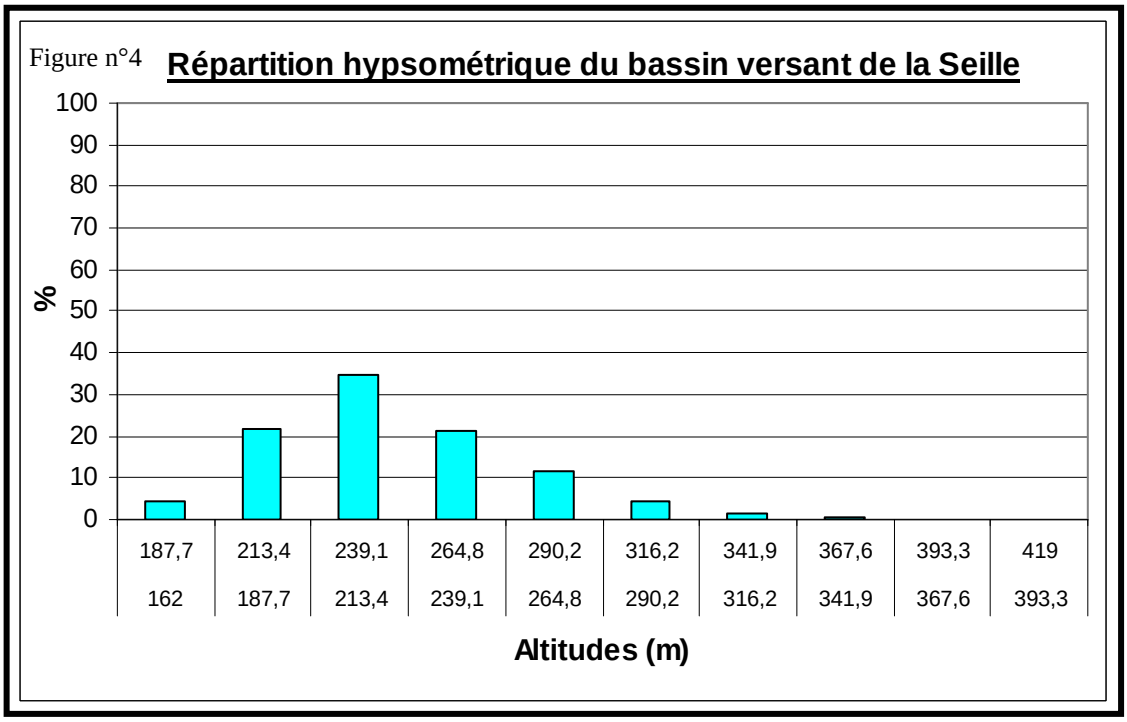


Figure n°3



L'altitude maximale est de 418 m à Villers-lès-Moivrons au sud-ouest du bassin et la minimale est de 165 m au niveau de la confluence avec la Moselle à Metz, ce qui détermine un dénivelé total de 253 m. (Dt = Altitude maximale - Altitude minimale.). La courbe hypsométrique montre que l'altitude médiane du bassin est représentée par la classe 213,4 - 239,1 (H 50%).

Figure n°4



Au final, les altitudes dans le bassin de la Seille sont peu contrastées, puisque près de 75% de la superficie du bassin est compris entre 290 et 265 m d'altitude ; c'est surtout de cette tranche d'altitudes que dépend le comportement hydrologique de la Seille.

b- Le système de pente

La pente joue un rôle fondamental sur l'écoulement de l'eau. On peut définir la pente moyenne (P) d'un bassin en utilisant le rapport de la dénivelée totale du bassin (DT) ou bien la dénivelée utile (DU) et la longueur du rectangle équivalent (Lr), Roche (1963).

$$\overline{Pt} = \frac{Dt}{Lr} \qquad ou \qquad \overline{Pu} = \frac{Du}{Lr}$$

$$Ds = \overline{Pu}.\sqrt{A}$$

H1 : altitude maximale
H2 : altitude minimale
DT : altitude maximale - Altitude minimale
DU : la classe qui présente 5% - la classe qui présente 95%
PT : la pente totale en %
PU : la pente utile en %
DS : dénivelée spécifique
Lr : la longueur du rectangle équivalent

La dénivelée spécifique est calculée à partir de l'indice de pente (PU) et de la surface du bassin (A).

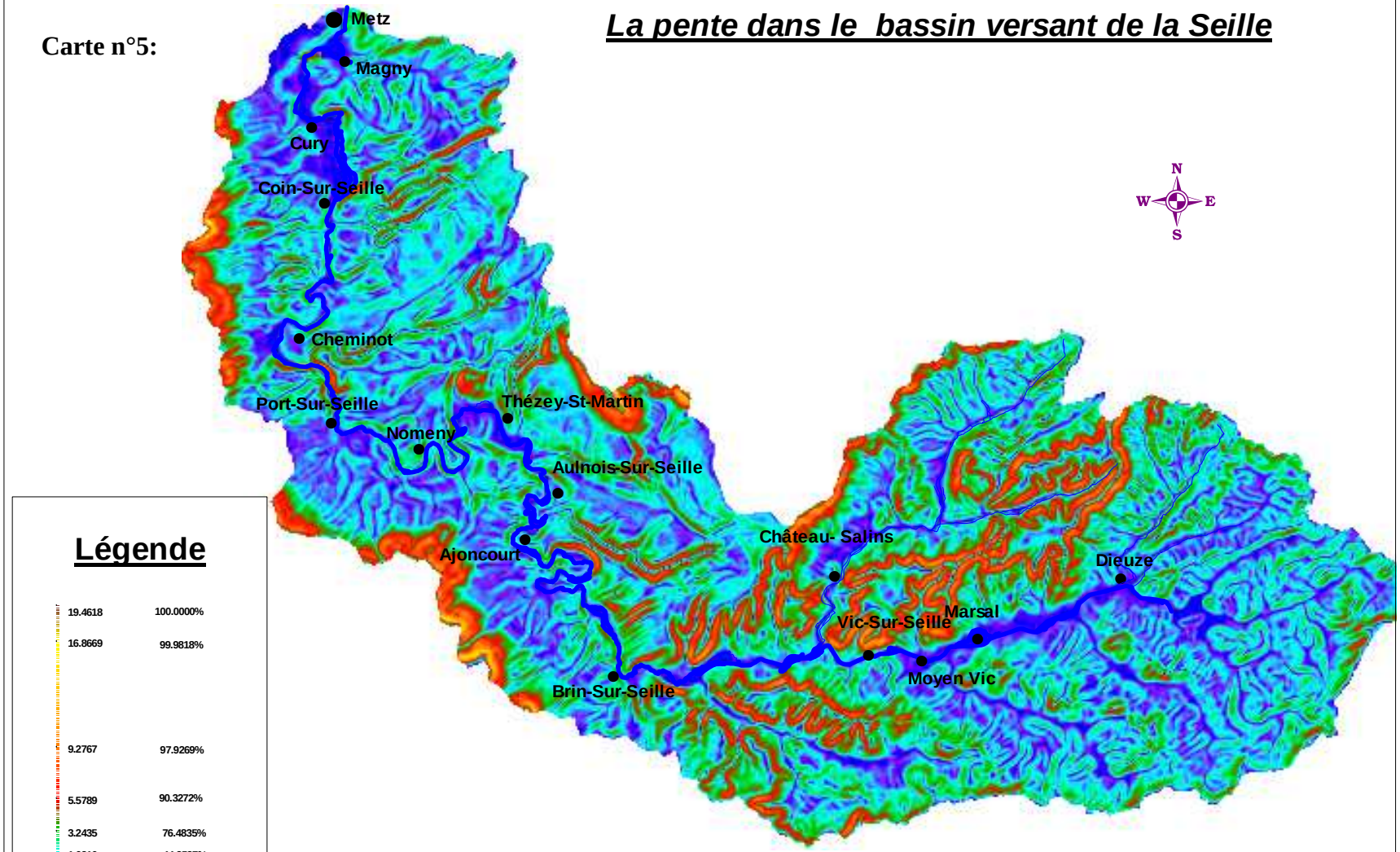
Tableau n°3 : La pente dans le bassin versant de la Seille

	Sous basin de Moyen Vic	**Sous basin de Château - Salins**	**Bassin intermédiaire de Nomeny**	**Bassin intermédiaire de Metz**	**L'ensemble du basin de la Seille**
A (Km²)	**348,9**	**145.5**	424,4	**345,5**	**1264,3**
HI (m)	337	355	418	341	418 m
H2 (m)	203	204	188	165	165 m
DT (m)	134	151	230	176	253 m
DU (m)	90,8	97,7	100,0	91,5	90,4
Lr (m)	25090	18230	33230	29290	50610
Pt (%)	0,53	0,83	0,69	0,60	0,50
PU (%)	0,36	0,54	0,30	0,31	0,18
DS (m)	6,76	6,46	6,20	5,80	6,35

D'après les résultats la pente générale du bassin de la Seille est faible (Pt: 0,50 %, Pu : 0,18 %) en accord avec l'aspect très doux du relief du bassin. Cette pente faible agit également sur la vitesse de l'écoulement de l'eau à l'intérieur du bassin. La dénivelée spécifique, est presque identique avec des faibles différences. Le sous bassin de Metz enregistre la valeur la plus faible 5,80 m. L'ensemble du bassin marque une dénivelée spécifique modeste de 6,35m. Selon les résultats obtenus on note que le relief de la Seille appartient à la classe des reliefs modérés d'après la classification de l'Orstom. L'analyse des caractéristiques morphométriques et des systèmes de pente ne montrent pas de différence significative entre les sous bassins. Il s'agit globalement de bassins compacts inscrits dans un relief modéré : les différences entre les bassins dans la relation pluie/débit, ne devraient être dues par conséquent, qu'au facteur lithologique.

Carte n°5:

La pente dans le bassin versant de la Seille



Légende

19.4618	100.0000%
16.8669	99.9818%
9.2767	97.9269%
5.5789	90.3272%
3.2435	76.4835%
1.6216	44.3537%
0.0647	1.4790%

Z-units:Degrees

II- Les composantes naturelles du domaine d'étude

Les caractéristiques géologiques agissent sur la circulation de l'eau pluviale et déterminent soit un écoulement rapide dans le cas de formations imperméables, soit une infiltration d'eau et son stockage dans le cas de formations perméables. Il est donc nécessaire d'analyser la structure géologique du bassin de la Seille puisqu'elle permettra une meilleure connaissance des potentialités des ressources en eau.

1- Les terrains du bassin de la Seille

Les terrains du bassin de la Seille appartiennent à la série sédimentaire de l'Est du Bassin Parisien. La partie amont est inscrite dans les séries du Trias, qui correspondent à deux phases sédimentaires, l'une marine et l'autre lagunaire : « L'ère secondaire débute de –245 à – 205 Ma, par une période de sédimentation détritique marine et lagunaire, le Trias au cours de laquelle un important matériel provenant de la destruction ultime des massifs cristallins hercyniens est déposé, transgressif sur la pénéplaine post-hercynienne » Mottet (1975). Après cette période marine succède une phase continentale permettant une émersion des dépôts précédents du Trias moyen. Vers l'aval, les terrains datent du Lias. « Après le dépôt des « Marnes irisées » keupériennes, une transgression, venue de l'est comme celle de la Mer germanique, gagne le bassin de Paris » Hilly et Haguenauer (1979). Cette submersion marine s'accompagne de nouveaux dépôts sédimentaires, qui correspondent aux terrains du Lias. Ces sédiments se composent essentiellement de marnes et de calcaires, tels le Calcaire à gryphées. Enfin, ces formations sont surmontées à l'aval par des affleurements de calcaires du Bajocien au niveau des buttes témoins de la cuesta de Moselle.

Les terrains du bassin versant de la Seille appartiennent donc au Trias, au Lias et au Jurassique moyen. C'est une série essentiellement marneuse et calcaire.

2- La lithostratigraphie des terrains

Les terrains qui affleurent dans le bassin versant de la Seille sont représentés sur la carte n°6 et sur l'échelle lithostratigraphique (figure n°5).

Figure n 5 : Echelle stratigraphique et lithologique du bassin versant de la Seille

Période	*Etage*	*Notation*	*Sous-étage*	*LITHOLOGIE*
JURASSIQUE	**BAJOCIEN**	J1	Moy	- Calcaires polypiers supérieurs et inférieurs
			Inf.	- Calcaires oolithiques et calcaires sableux - Marnes micacées
	ALENIEN	19		- Grès et marnes - Minerai de fer
	TOARCIEN	17-8		- Grès supraliasique
				- Argiles et marnes
				- Schistes carton
	PLIENSBACHIEN	15-6	Sup.: Domérien	- Grès médioliasique - Argiles à amalthées
	SINEMURIEN		Inf. : Carixien	
	HETTANGIEN	13-4	Sup. : Lotharingien	- Calcaires ocreux - Calcaires à gryphées
			Inf.	- Calcaires à gryphées
		11-2		
TRIAS	**RHETIEN**	t12		- Argiles de Levallois - Grès infraliasiques
	KEUPER		Sup.	- Marnes versicolores sup. - Argiles de Chanville
			Moy.	- Dolomie de Beaumont - Marnes irisées moyennes - Grès à roseaux
			Inf.	- Marnes versicolores

Source : Atlas de la lithologie et de perméabilité du bassin Rhin Meuse (1989)

* Les terrains du Lias

- Rhétien : C'est une série représentée par des « grès et schistes » d'une puissance de 25 m et qui sont parfois tendres. Ce sont des sables micacés, jaunes ou blancs. Au sommet, on trouve les Argiles de Levallois, marnes rouges à brun-rouge avec une bande gris-bleuâtre et jaune; leur épaisseur moyenne est de 8 m.

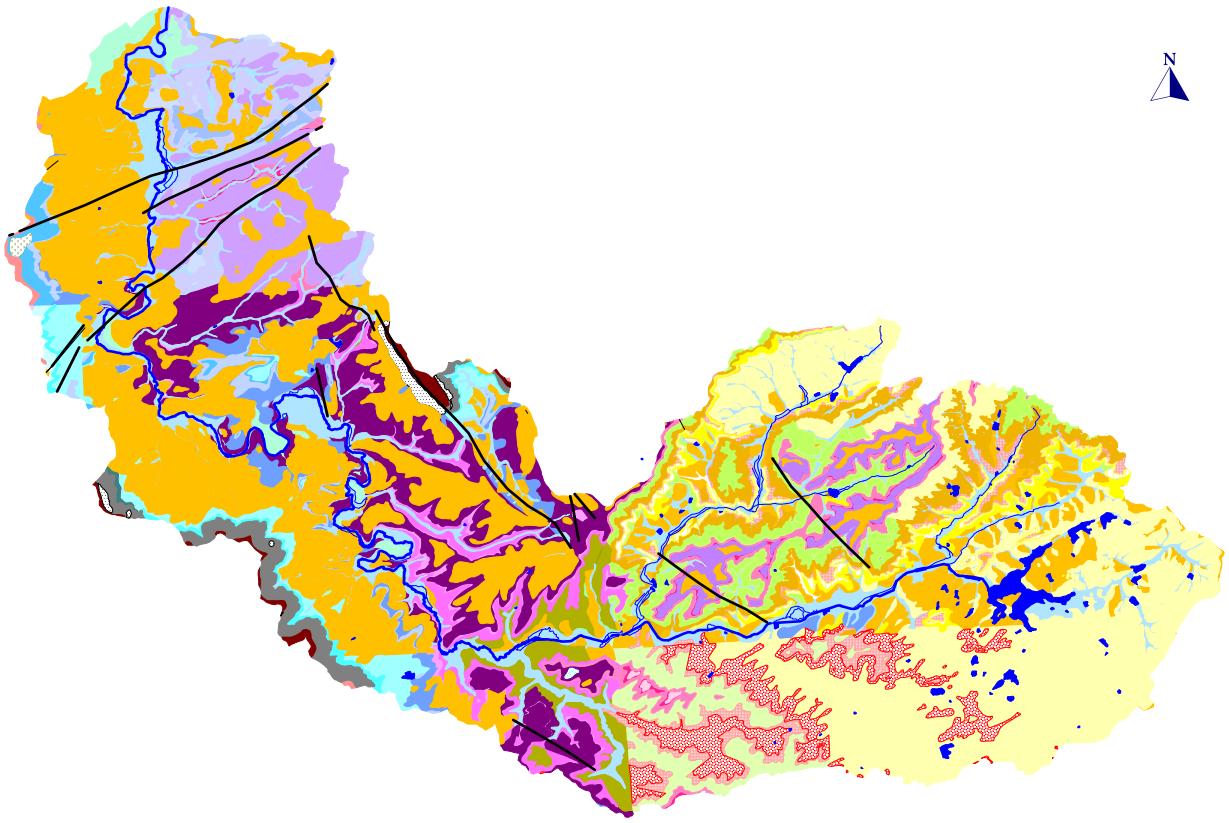
- Hettangien - Sinumérien : Cette couche atteint 25 m d'épaisseur. Ce sont des « Calcaires à gryphées » composés de bancs irréguliers de calcaire gris-bleuâtre.

- Lotharingien : C'est un sous-étage du Sinémurien, il est constitué d'« Argiles à *Promicroceras* » d'une puissance de 25 m, gris-bleu avec des niveaux de calcaire ocreux; il s'agit d'un ensemble de calcaires et marno-calcaires riches en pyrite.

- Pliensbachien : Il est constitué de marnes surmontées par des bancs de calcaire jaune-paille, à tâches roses. Parfois, l'ensemble est marno-calcaire feuilleté. Cette couche est limitée dans le bassin et n'atteint pas les 3 m d'épaisseur.

- Domérien : C'est un sous-étage du Pliensbachien : C'est une série représentée par des « Argiles à amalthées ». Ce sont des argiles plus ou moins marneuses dont l'épaisseur atteint les 90 m environ. Dans ce sous-étage, on distingue le Domérien supérieur qui se compose des « Grès médioliasiques » dont l'épaisseur atteint 15 m ; il s'agit de calcaires criblés de fossiles, de grès argileux feuilletés, micacés, à passées calcareuses et de marnes sableuses gris-bleu s'altérant en brun-roux.

Carte n°6 **la géologie dans le bassin de la Seille**



Légende

- B : Limono-Sableuses
- E : Eboulis
- FL : Limons des plateaux
- Fy : Alluvions anciennes
- Fz : Alluvions récentes
- l1-4a : Calcaires à Gryphées
- l1a : Grès Infraliasique
- l1b : Argiles de Levallois
- l2 : Calcaires à Gryphées
- l2-3a : Calcaires à Gryphées
- l3a-2 : Calcaire à Gryphées
- l3b : Argiles à promicroceras
- l3c : Calcaires Ocreux
- l4a-b : Calcaires et Marnes
- l4b : Argile à Amalteus
- l4c : Argiles à Almatheus margaritatus
- l5 : Iboulis Bajociens
- l6 : Toarcien supérieur ferrugineux
- l6a : Marnes Amaltées
- l6b : Marnes Calcaires
- l7 : Calcaires Argileux
- l7-8 : Argiles Calcaires micacées
- l8 : Grès argileux micacés
- l9 : Minerai de fer oolithique
- lj1-j1b1 : Calcaires et Marnes
- j1a : Marno-Calcaire grèseux
- LP : Limons des plateaux
- t10a : Grès Infraliasique
- t10b : Argiles de Levallois
- t7a : Marnes Irisées
- t7b : Marnes Versicolores
- t7bG : Grès à Roseaux
- t7bM : Marnes Bariolées
- t7c : Dolomies d'Elie de Beaumont
- t7d : Marnes de Chanvilles
- t7d-e :Marnes et Argiles
- t7e : Marnes Irisées
- t8b : Dolomies
- t9 : Marnes et Argiles

Réseau principal

Faille

Etangs

Source carte géologique 1/50 000

- Toarcien : Cet étage se compose de deux sous-étages. Le Toarcien inférieur est constitué de « Schistes carton » ainsi que de marnes et d'argiles sur une puissance de 90 à 100 m. Le Toarcien supérieur a une épaisseur faible. C'est une couche de minerai de fer oolithique appelé « Minette de Lorraine » Ce niveau est peu représenté et n'excède pas les 13 m d'épaisseur.

* Le Dogger :

- Aalénien : Cette couche est composée d'un niveau de fer très peu épais.
- Bajocien : Le niveau inférieur est formé par une série représentée par des « Marnes micacées », marnes sableuses avec quelques bancs calcaires, ainsi que de calcaires sableux et oolithiques. L'ensemble est épais de 35 m environ. Ensuite, le Bajocien moyen est représenté par deux niveaux : à la base il y a le calcaire sableux, c'est un calcaire oolithique terreux dont l'épaisseur est de 20 m. Le sommet se compose des Calcaires à polypiers, puis de calcaires divers, oolithiques à pseudo-oolithiques, avec récifs de polypiers et délits marneux. A la vue de cette analyse, nous pouvons noter que dans le bassin versant de la Seille affleure une alternance de couches plus ou moins résistantes à l'érosion, dont l'épaisseur est généralement de l'ordre de quelque dizaines de mètres. Leurs caractéristiques agissent sur les formes du relief et jouent un rôle important sur la répartition spatiale des niveaux aquifères, ainsi que sur la circulation d'eau.

* Les formations superficielles **:**

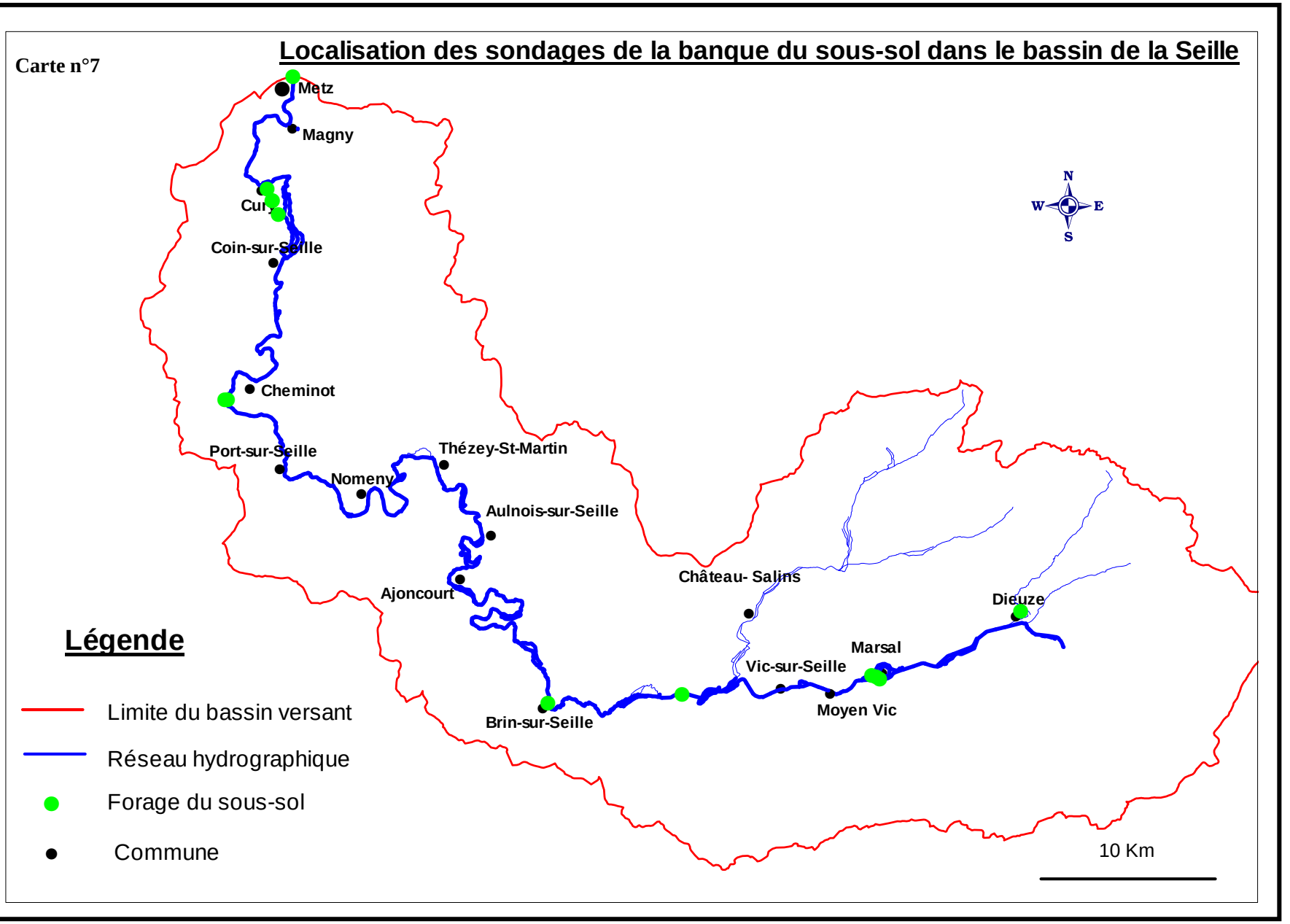
Ces formations sont essentiellement représentées par les alluvions récentes (Fz), les alluvions anciennes (Fy) et les limons des plateaux (LP).

- Limons des plateaux (LP) : Ils sont constitués d'argile - marneux caractérisés au fond de la vallée, en bordure du cours d'eau, ils sont argilo-sableux et parfois très finement sableux.
- Alluvions anciennes (Fy) : Dans la partie aval du bassin, vers la confluence de la Moselle, les alluvions anciennes de la vallée de la Seille recouvrent une surface importante. Elles sont constituées de sables et de galets de quartz, (L'Hôte, 1967).
- Alluvions récentes (Fz) : Ce sont des formations déposées par le cours d'eau depuis la fin du Quaternaire dans les fonds alluviaux actuels. Il s'agit essentiellement de limons et de sables. Elles sont relativement peu importantes dans le bassin mais peuvent constituer des aquifères qui sont en équilibre avec le réseau hydrographique.

A une échelle plus fine, nous avons consulté le site Internet du « BRGM » qui contient quelques fiches signalétiques de l'ensemble des sondages réalisés dans le bassin de la Seille. Ces sondages apportent des informations concernant les types de formations superficielles qui remplissent le fond alluvial de la vallée de la Seille. La carte n°7 présente la localisation de ces forages et la figure n°6 donne une idée sur la nature de ces formations superficielles.

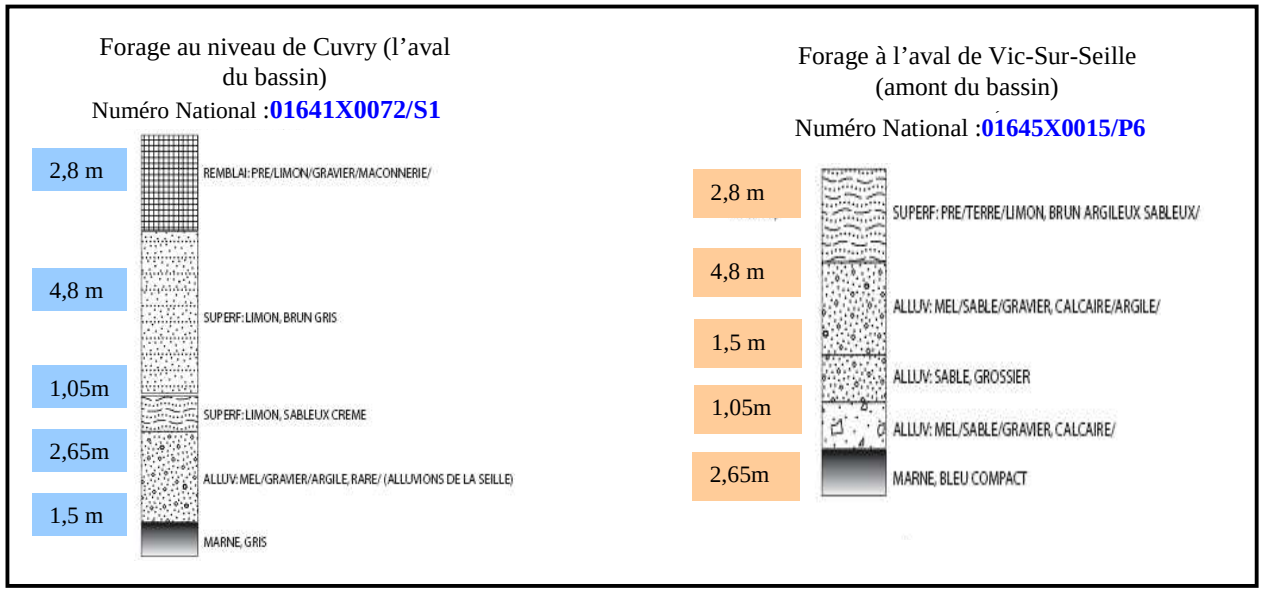
Carte n°7

Localisation des sondages de la banque du sous-sol dans le bassin de la Seille



Les sondages montrent que la plupart des formations sont des remblais qui appartiennent au Quaternaire et qui sont constitués d'argiles, de limons de sable et de graviers.

Figure n°6 : Quelques exemples de forages



Plus en détails, l'épaisseur de ces formations varie peu entre l'amont et l'aval de la Seille. Elle est de l'ordre de 7 m environ dans toute la partie aval à part à Marly où ces alluvions atteignent environ 15 m (les forages BRGM). Dans la partie amont ces alluvions ont une épaisseur d'une dizaine de mètres. En ces qui concerne la nature de ces formations superficielles qui sont proches de la surface, on découvre à l'aval des limons, bruns argileux sableux ; à l'amont ce sont des alluvions argileuses faiblement limoneuses gris à brun gris, humifères, granulaires.

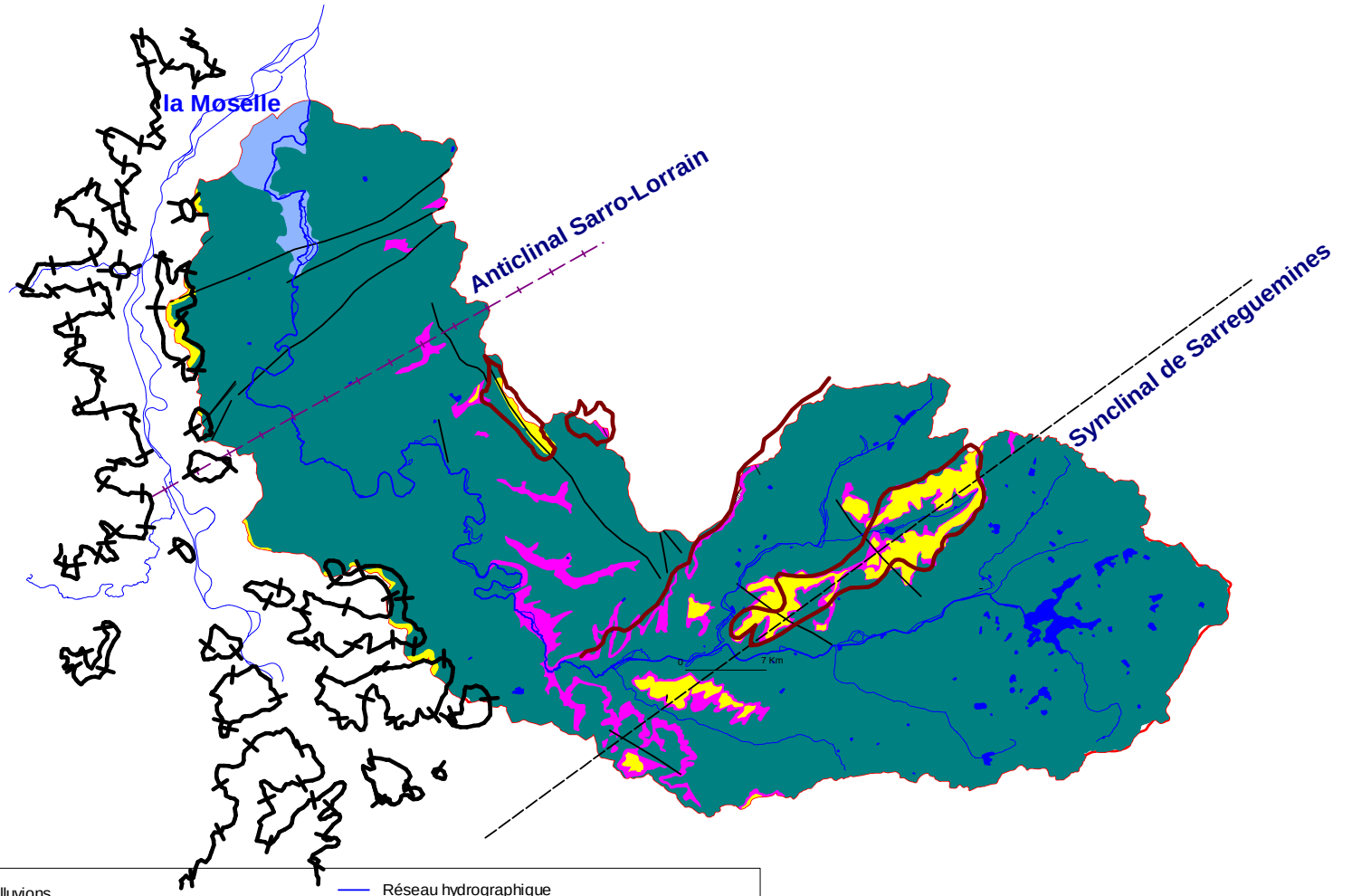
3- La tectonique

La tectonique joue un rôle fondamental dans la circulation de l'eau souterraine, ainsi que dans le développement des reliefs (carte n°8). Dans le bassin de la Seille les déformations sont en liaison avec l'évolution générale de la Lorraine. Les couches sédimentaires ont un pendage très faible, orienté vers l'ouest et le sud-ouest. Elles sont affectées par un réseau de failles et des ondulations en relation avec l'anticlinal sarro-lorrain et le synclinal de Sarreguemines. A l'aval, la faille de Metz suit grossièrement la limite septentrionale du bassin carbonifère profond. Des failles secondaires affectent le bassin de la Seille : faille de Mécleuves qui limite un fossé tectonique et petites failles de direction NNW - SSE, mais également petites failles de direction hercynienne (à Buchy, au sud de Saint-Epvre) qui sont plutôt des éclatements latéraux du grand mouvement d'effondrement de la côte de Delme.

Toutes ces déformations ont une incidence indirecte sur le réseau hydrographique. Elles peuvent guider le tracé des vallées comme à Nomeny et à Metz.

Carte n° 8:

Carte morphostructurale du bassin de la Seille



4- Les ensembles lithologiques et leur perméabilité

Les caractéristiques hydrogéologiques du substratum sont liées à l'épaisseur et à la nature lithologique qui déterminent la capacité du stockage souterrain de l'eau. Les différents niveaux ont été regroupés en classes de perméabilité, élaborées à partir d'un atlas de perméabilité établi par l'Agence de l'Eau Rhin–Meuse (AERM, 1989). La classification retient trois types de perméabilité. La carte n°9 présente les principaux affleurements par catégorie de perméabilité.

On constate une très nette prédominance des roches imperméables avec une surface d'affleurement de 73,4 % contre 21,2 % pour les roches semi-perméables. Les roches perméables ne représentent que 5,4 % de la surface du bassin.

a- Les ensembles lithologiques perméables

Ils sont représentés par trois classes : P12 (roches à perméabilité de fissures dominantes), P11 (roches à perméabilité d'interstices dominantes) et S11 pour les formations superficielles.

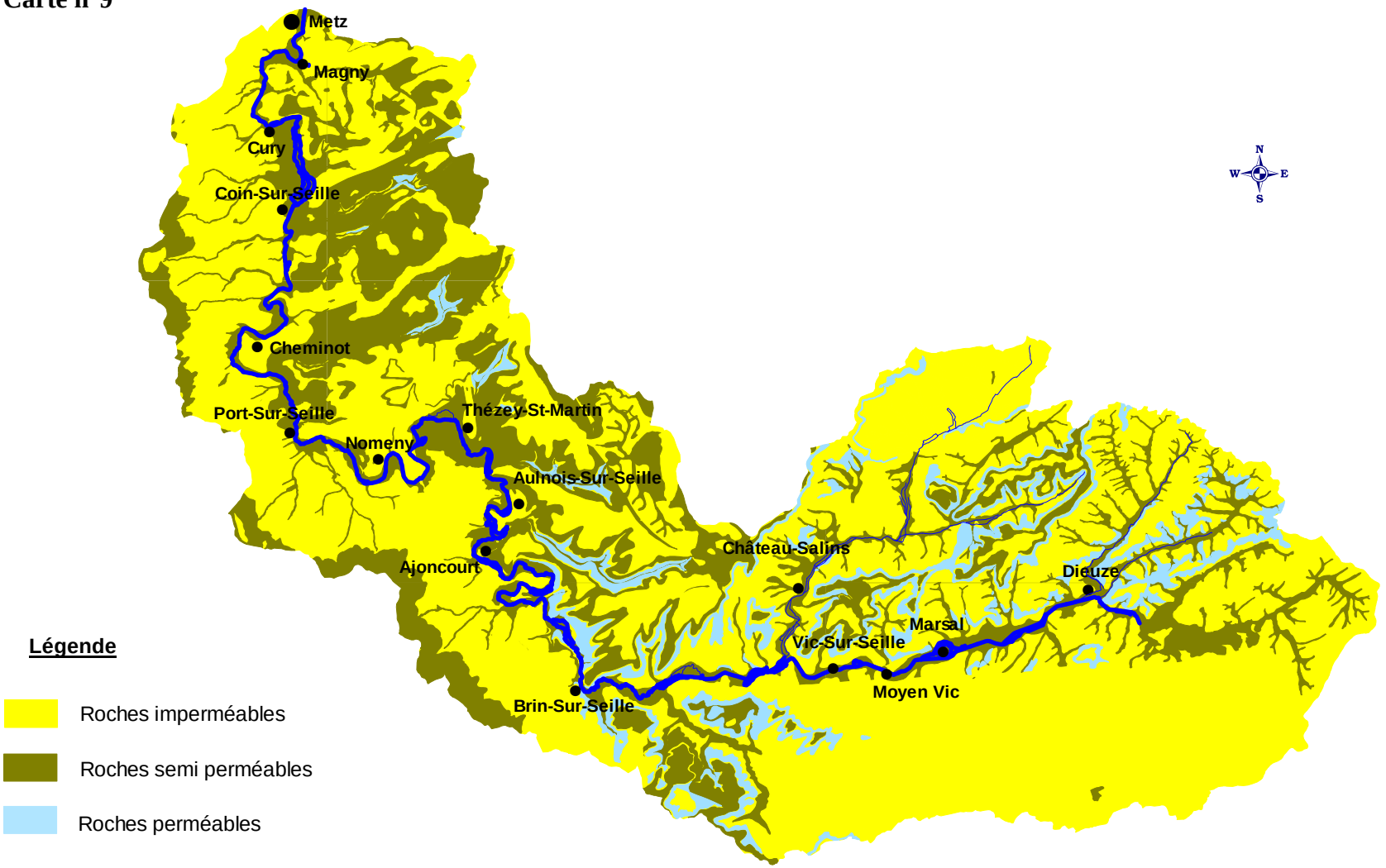
- Roches de perméabilité P11 : Cette classe est représentée par les Grès supraliasiques, les Grès médioliasiques, les Grès infraliasiques et les Grès à roseaux. Ces roches constituent des réservoirs pour le stockage de l'eau souterraine. Ces roches perméables sont principalement localisées dans la zone d'interfluve située entre les bassins de la Petite Seille et la partie amont de la Seille, où affleurent les Grès rhétiens.
- Roches de perméabilité P12 : Cette classe est représentée par les Calcaires à polypiers, les calcaires oolithiques et sableux, la Dolomie d'Elie de Beaumont. Ces terrains sont essentiellement localisés dans la partie centrale et la partie aval.
- Alluvions S11 : Ce sont des formations superficielles où des échanges d'eau de surface/eau souterraine sont possibles. Elles sont particulièrement localisées dans la partie aval du bassin.

Cette situation offre au bassin de la Seille quelques nappes qui peuvent soutenir le cours d'eau pendant la période d'étiage.

b- Les ensembles lithologiques semi-perméables

Ils sont représentés par la classe de perméabilité P 22. Ce sont des roches à perméabilité de fissures affaiblies par une fraction fine, où la présence du karst est néanmoins possible. Il s'agit des terrains marno-calcaires du Lias, en particulier les Calcaires ocreux et les Calcaires à gryphées qui occupent 21,2 % de la surface du bassin. Ces roches sont essentiellement localisées dans la partie centrale et dans quelques endroits de la partie aval, ainsi que sur les bordures sud-est du bassin.

Carte n°9 **Les ensembles lithologiques et leur perméabilité dans le bassin de la Seille**



c- Les ensembles lithologiques imperméables

Ils sont représentés par une seule classe (P31) et comprennent l'ensemble des argiles et des marnes. Ces formations lithologiques imperméables occupent la majorité des terrains du bassin (73,4 %). Il s'agit des Marnes micacées, des Argiles à amalthées, des Argiles de Levallois, de marnes versicolores et des Argiles de Chanville. Cette analyse montre une prédominance de roches imperméables (classe P31). Seul le sous-bassin de Château-Salins s'inscrit dans des terrains perméables et bénéficie d'un potentiel aquifère bien plus grand que les autres sous-bassins. Cependant, ce potentiel reste médiocre du fait de la faible épaisseur des roches gréseuses (P11) et des formations calcaires (P12). Au final, cette forte imperméabilité qui règne dans le bassin favorise essentiellement le ruissellement au détriment de l'infiltration.

5 - Les composantes pédologiques

D'après la carte pédologique publiée en 2005 par l'Institut National de la Recherche Agronomique « Unité infosol » avec la participation de plusieurs membres du CEGUM (Gille, Corbonnois et Gamez), on peut constater que le bassin de la Seille se compose de quatre types de sol.

- les sols bruns lessivés : ce sont des sols qui reposent sur des formations liasiques; ils se caractérisent par un mauvais drainage. Ils sont présentés dans la partie aval de la Seille (sous-bassin de Metz) et en quelques endroits très localisés dans les parties médiane et amont.
- les sols à gley : ils se trouvent en fond de vallée marqué par la présence d'une nappe phréatique permanente. Ils sont caractérisés par une capacité de rétention en eau très forte. Ce type de sol se trouve sur les alluvions récentes.
- les sols à pseudogley : ils sont localisés au niveau des affleurements des marnes du Keuper et sur le plateau liasique. Ce sont des sols de faible profondeur qui sont peu perméables.
- les sols salins : ce sont des sols qui se caractérisent par une texture très fermée et qui se trouvent sur les alluvions récentes sur les terrains du Keuper inférieur, au niveau de Marsal (canal de navigation des salines par exemple dans le sous-bassin de Moyen Vic).

Globalement, les profondeurs de ces sols tournent autour de 40 à 60 centimètres. La majorité (sols à gley, à pseudogley et salins) se caractérisent par une capacité de rétention d'eau importante.

Majoritairement imperméables, ils vont jouer un rôle non négligeable dans les modalités de circulation d'eau ainsi que dans l'alimentation du cours d'eau.

III- Les composantes humaines du bassin de la Seille

Le poids de la société humaine joue un rôle fondamental dans l'évolution du cours d'eau. A travers le temps, l'homme a modifié l'équilibre du cours d'eau par ses multiples interventions, ce qui a conduit à une mutation du paysage fluvial. Notre objectif est d'établir une analyse de l'occupation humaine dans le bassin.

1 - L'occupation du sol dans le bassin

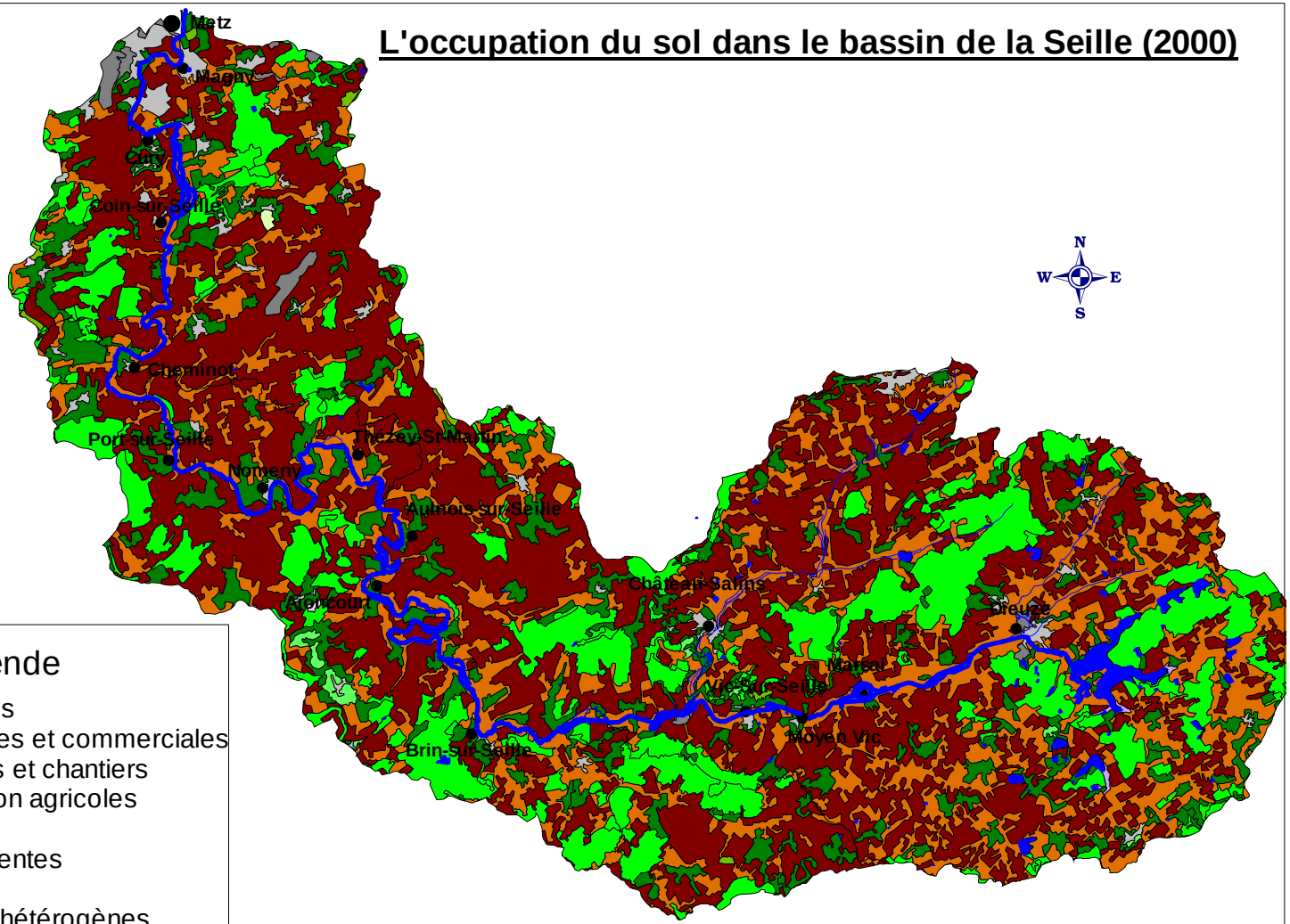
L'étude de l'occupation du sol dans le bassin de la Seille permet de mieux saisir l'organisation spatiale du bassin. A partir des données de Corine Land Cover (2000), on a pu déterminer les composantes majeures de l'occupation du sol dans l'ensemble du bassin (carte n°10). Les terrains arables occupent la majeure partie du bassin de la Seille, que ce soit à l'amont ou à l'aval. Viennent ensuite les prairies qui sont très présentes dans la partie amont

(région des étangs) et en fond de la vallée. On note aussi que les cultures permanentes occupent une surface non négligeable elles se situent loin du cours d'eau, parfois sur les versants. Les zones urbanisées sont peu étendues elles se concentrent dans la partie aval de la vallée (Marly, Magny et Metz), ces caractéristiques attestent du caractère rural du bassin.

A l'échelle des sous-bassins, on constate une différence en ce qui concerne l'occupation du sol. Le sous-bassin de Moyen Vic se distingue des autres sous-bassins par une concentration des surfaces en eaux, des prairies, des cultures permanentes. Les sous-bassins de Château-Salins et Nomeny se caractérisent par une forte occupation des terres arables. Enfin, le sous-bassin de Metz se caractérise par une concentration des zones urbaines.

Carte n°10

L'occupation du sol dans le bassin de la Seille (2000)



Légende

- Zones urbanisées
- Zones industrielles et commerciales
- Mines,décharges et chantiers
- Espaces verts,non agricoles
- Terres arables
- Cultures permanentes
- Prairies
- Zones agricoles hétérogènes
- Forêts
- Milieux à végétation arbustive
- Zones humides
- Surface en eau

SOURCE: CORINE LAND COVER (2000)

2- La population dans le bassin de la Seille :

Le bassin de la Seille est un bassin rural qui regroupe 163 communes. La population a connu une évolution croissante pendant ce dernier siècle. En 1962 il y avait 48900 habitants, puis 49497 habitants en 1968, pour atteindre 53226 habitants en 1975. L'augmentation de la population s'accélère ensuite puisqu'à la fin des années 80 le nombre d'habitants s'élevait à 180 000. Au dernier recensement de 1999, le nombre d'habitants du bassin de la Seille est de 255 812. D'après ce même recensement de 1999, dans la partie amont du bassin la commune de Dieuze est la commune la plus peuplée avec 3612 habitants. Dans la partie médiane du bassin, la commune de Nomeny constitue la plus importante agglomération avec une population de 1082 habitants. Enfin, dans la partie aval du bassin du fait de la ville de Metz la population qui atteint les 220 317 habitants.

Tableau n°4 : Répartition des communes par taille

	< 2000 habitants	2000-5000 habitants	5000-10 000 habitants	> 10 000 habitants
Nombre de communes	152	3	0	2

Référence : INSEE

D'un point de vue communal, sur 163 communes qui existent dans le bassin, 152 possèdent moins de 2000 habitants et seulement deux communes ont une population qui dépasse les 10 000 habitants (Marly et Magny). Quel rôle joue cette population dans l'évolution du paysage fluvial.

3- Les activités liées au cours d'eau

Elles détermineront le rôle important de la Seille dans l'économie locale.

a- Activité historique : exploitation du sel :

Jusqu'au milieu du XIXème siècle, l'activité principale des habitants du bassin de la Seille semble avoir été l'exploitation du sel par évaporation des eaux salées de certaines sources, surtout dans les régions de Vic-sur-Seille, Dieuze, Château-Salins et Marsal. La salinité de la rivière est due à la traversée des terrains du Keuper. Cette activité a créé une industrie liée à l'extraction du sel, qui est extrêmement ancienne puisqu'elle date au moins de l'antiquité. D'ailleurs, le nom de la « Seille » est dérivé de cette activité locale. Afin de faciliter l'exploitation du sel dans le bassin, les riverains ont multiplié leurs interventions. Les plus importantes ont conduit à la rectification du tracé pour faciliter la navigation dans ces zones exploitées, afin de transporter ce sel.

Aujourd'hui, toute la partie amont garde les marques de ces rectifications qui ont perturbé l'écoulement de la rivière. C'est donc l'enjeu économique qui est à l'origine de ces changements de tracé de la Seille.

b- Activité actuelle : l'agriculture et l'élevage

Le bassin de la Seille est surtout rural : l'élevage et l'agriculture constituent les activités principales de l'économie locale.

Tableau n°5 : Occupation du sol en % de la superficie du bassin

Terrains	Terrains artificialisés	Terrains agricoles	Forêts et milieux semi-naturels	Zones humides	Surfaces en eaux
Surface %	3,44	78,82	16,97	0,07	0,7

Référence : Corine Land Cover 2000

Le tableau n°5 éclaire cette situation : les surfaces agricoles labourées et les prairies représentent 78,82 %. Dans le bassin, les enjeux essentiels de la gestion sont ainsi le rapport avec l'agriculture.

IV- L'identification de l'hydrosystème et le découpage du milieu en zones homogènes

L'hydrosystème se compose de plusieurs systèmes qui fonctionnent à différentes échelles : un premier système qui correspond à l'échelle du bassin versant, un deuxième système qui correspond à la vallée et enfin un troisième système qui correspond au cours d'eau. L'analyse de chaque niveau permet de comprendre les mécanismes du fonctionnement de chaque système. A chaque échelle il existe des différences internes. Nous proposons d'identifier les découpages possibles qui seront étudiés plus tard pour les deux premières échelles : le bassin versant et la vallée. Le découpage du cours d'eau sera abordé dans la troisième partie de la thèse.

1- A l'échelle du bassin versant

A cette échelle deux découpages sont possibles, en se basant sur les stations hydrométriques et en différenciant les régions naturelles.

a- Découpage en régions naturelles

Le bassin de la Seille est situé en bordure orientale du Bassin Parisien où les couches sédimentaires sont légèrement inclinées vers l'Ouest. On distingue généralement trois ensembles morphologiques dans le bassin de la Seille (carte n°8).

- Le Saulnois et la région des Etangs : C'est dans cette région que la Seille prend sa source. Le substratum géologique est composé de marnes versicolores du Trias supérieur. De fait, cette région présente une zone de relief peu marquée, dégagée dans ces terrains marneux et argileux du Trias supérieur.
- Le plateau liasique : Il représente la bordure occidentale du plateau Lorrain. Ce plateau est dégagé dans les marnes et Calcaires à gryphées. La Seille y dessine de nombreux méandres.
-La dépression orthoclinale : Dans cette zone, la Seille coule au pied des buttes témoins de la Côte de Moselle (calcaire bajocien). Elle se caractérise par un tracé peu sinueux.

b-Découpage en sous-bassins

Leurs principales caractéristiques morphométriques ont déjà été présentées. Ils sont au nombre de quatre délimités par des stations hydrométriques (carte n°11) :

*** Le sous-bassin de Moyen Vic : il se trouve à l'amont dans la région des Etangs et du Saulnois. Situé à l'est du bassin de la Seille, il présente une surface de 348,9 km². C'est dans cette zone que la Seille prend sa source. Dans le sous-bassin de Moyen Vic, la Seille est dirigée vers le sud-ouest. D'une longueur de 15,40 km, elle est contrôlée à l'exutoire par une station hydrométrique implantée à Moyen Vic. Le débit moyen à cette station est de l'ordre de 3,52 m³/s (1986 - 2004).

*** Le sous-bassin de Château-Salins : situé au nord du bassin de la Seille, la Petite Seille draine un sous-bassin de 145,5 km² et a une longueur de 22,3 km, son axe d'allongement à une direction nord-sud. La Petite Seille est un affluent de rive droite de la Seille. La pente totale est de l'ordre de 0,53 %. Le débit moyen à la station de Château-Salins est de l'ordre de 1,30 m³/s (1986 – 2004).

*** Le Bassin intermédiaire de Nomeny : il se trouve au centre du bassin de la Seille et a un allongement d'orientation SE - NO. La Seille traverse le plateau liasique possède une longueur de 74,75 km et draine une superficie de 424,4 km². Dans cette zone, elle dessine plusieurs méandres dont les plus importants sont ceux de Nomeny. La pente totale est de l'ordre de 0,69 %. Les débits de la Seille mesurés à la station de Nomeny présentent un module de 8,19 m³/s (1986 – 2004).

*** Bassin intermédiaire de Metz : à Metz, la Seille conflue en rive droite avec la Moselle. Il se trouve à l'aval de Nomeny est draine une superficie de 345,5 km². Dans cette zone, la Seille a un tracé rectiligne avec peu de sinuosité. La pente totale est de l'ordre de 0,60 %.

*** Le bassin de la Seille à Metz : il draine une superficie de 1264,3 km² et a une longueur de 120 km. Le bassin de la Seille est allongé selon une orientation SSE - NNO. La pente longitudinale est faible à cause des multiples interventions dans le cours d'eau (raisons économiques et lutte contre les inondations). Celle des affluents est nettement supérieure à celle du réseau principal. La pente totale est de l'ordre de 0,50 %. La proximité des buttes témoins de la Côte de Moselle peut expliquer ce constat. Le débit de la Seille à Metz est de l'ordre de 10.35 m3/s (1986 - 2004).

Carte n° 11

Localisation des sous-bassins de la Seille



2- A l'échelle de la vallée

A l'échelle de la vallée, la Seille a été découpée en trois parties, amont, médiane et aval (carte n°12) selon les grands ensembles de relief qui agissent sur la configuration de la vallée et du fond alluvial.

*** La partie amont de la vallée :

Elle s'étend de l'étang du Lindre jusqu'à Brin/Seille, la vallée est évasée et quasi plaine délimitée par des versants peu marqués en rive gauche (Keuper) et nets en rive droite (grès rhétien). Cette partie correspond à la zone des Etangs et à la zone du Saulnois (découpage précédent). La Seille a une longueur de 15,40 km, elle reçoit de nombreux affluents dont le plus important est la Petite Seille. La pente longitudinale a une moyenne de 3,8 ‰. (Résultats des profils en travers) ; elle détermine un écoulement rapide des eaux de pluie. Le chenal profond de 50 cm a un tracé rectiligne entretenu par de nombreuses actions d'aménagements. Les hauteurs des berges sont très contrastées, elles varient selon les secteurs : elles sont faibles à l'amont (< 1,5 m) et importantes à l'aval (> 2,5 m). Le lit majeur est large, avec un maximum de 1,47 km au niveau de Marsal. Quant à l'occupation du sol, cette zone est entièrement dévolue aux prairies sauf à Dieuze où l'on découvre une zone urbanisée. La Seille coule ici sur les argiles et marnes du Keuper, les Grès rhétiens, les marnes de Levallois, les Calcaires à gryphées. Les actions anthropiques qui ont modifié les conditions de l'écoulement sont déjà anciennes. La Seille porte encore les marques des anciens aménagements (tracé rectiligne). Aujourd'hui, ces actions se sont multipliées, caractérisées par des digues de protection contre les inondations installées au niveau des villages. Une canalisation au niveau de Marsal partage les eaux de la Seille entre la Vieille Seille et le canal.

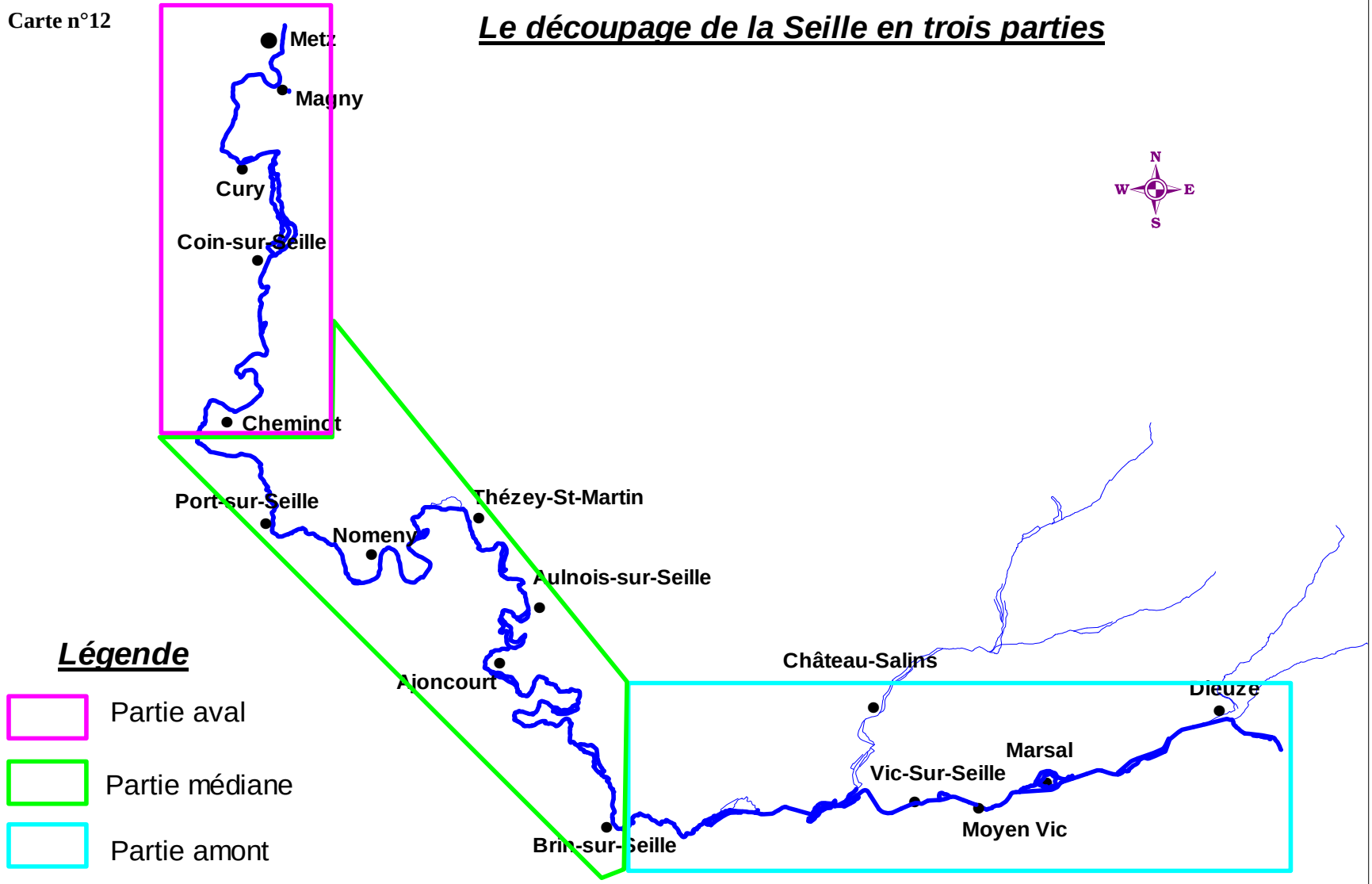
*** La partie médiane de la vallée :

Cette zone s'étend de Brin/Seille à Morville-sur-Seille, la vallée est profonde est strictement limitée par des versants dont les pentes marquées sont armées par la stratigraphie calcaire et marno-calcaire du Lias moyen. La longueur de la Seille est de 48 km. Elle correspond au plateau liasique. Le tracé est un peu plus naturel, il décrit une série de sinuosité, avec des grandes boucles à Pettoncourt, Aboncourt et Nomeny. La Seille coule sur les marnes du Keuper et les Grès rhétiens. L'altitude varie entre 199 m en amont et 186 m en aval. La pente est faible, environ 0,3 %. La largeur du cours d'eau varie entre 12 et 20 m environ et la profondeur moyenne du chenal est assez faible (< 80 cm). Les berges sont hautes et les versants jouent un rôle de digues de protection empêchant l'étalement des flux. La Seille traverse une zone entièrement rurale caractérisée par les prairies et des champs cultivés. Le lit mineur semble suivre la morphologie de la vallée, encaissé dans les berges argilo-limoneuses. Les lits de débordements sont étroits à l'image du lit mineur, seules les plus grandes crues submergent tout le lit majeur.

Dans cette zone l'emprise humaine est moins forte, avec quelques interventions anciennes très limitées dans le secteur de Nomeny. Les types d'aménagements dominants sont les enrochements et la protection végétale. Aujourd'hui, le recul des prairies et l'avancement des terres labourées témoignent d'une circulation d'eau dans le lit majeur assez peu fréquente.

Carte n°12

Le découpage de la Seille en trois parties



*** La partie aval de la vallée :

La partie aval s'étend de Morville-sur-Seille jusqu'à Marly, appartenant à une zone de dépression orthoclinale. La vallée est à nouveau large de près de 1500 m dans les marnes du Lias supérieur. La Seille a une longueur de 32,2 km et reçoit de nombreux affluents. Le tracé est rectiligne et alterne avec des tronçons légèrement sinueux et coule au pied de la Côte de Moselle. Dans cette partie, les altitudes sont faibles, comprises entre 165 et 250 m. La largeur de la Seille est de 20 m environ avec une profondeur très faible; le lit décrit de grands méandres avec un état des berges stables dans l'ensemble. La pente moyenne est très faible (0,4 %). La Seille coule dans une large plaine d'inondation à l'aval (Coin/Seille, Pournoy-la-Chétive, Coin-lès-Cuvry, Cuvry et Marly) et moins large à l'amont de cette zone (Cheminot, Sillegny, Pommérieux, Loiville). Au sein de cette zone, la dynamique fluviale est influencée par la géomorphologie de la vallée et les conditions favorables de l'écoulement : l'augmentation des quantités écoulées, l'élargissement du fond alluvial, et la rapidité de la vitesse d'écoulement. Le tracé de la Seille a été la cible de nombreuses actions de calibrage, et aussi plusieurs actions de modifications, qu'elles soient anciennes ou récentes (enrochement des berges, protection végétale, redressement de certains méandres, élargissement du lit, …). Toutes ces actions d'aménagement visent à lutter contre les inondations, dont la protection de l'agglomération messine est l'objectif primordial. A cause de toutes ces actions anthropiques, cette zone a connu de grandes mutations dans le lit majeur qui se caractérisent par une extension des espaces construits, surtout au niveau de Marly.

CONCLUSION :

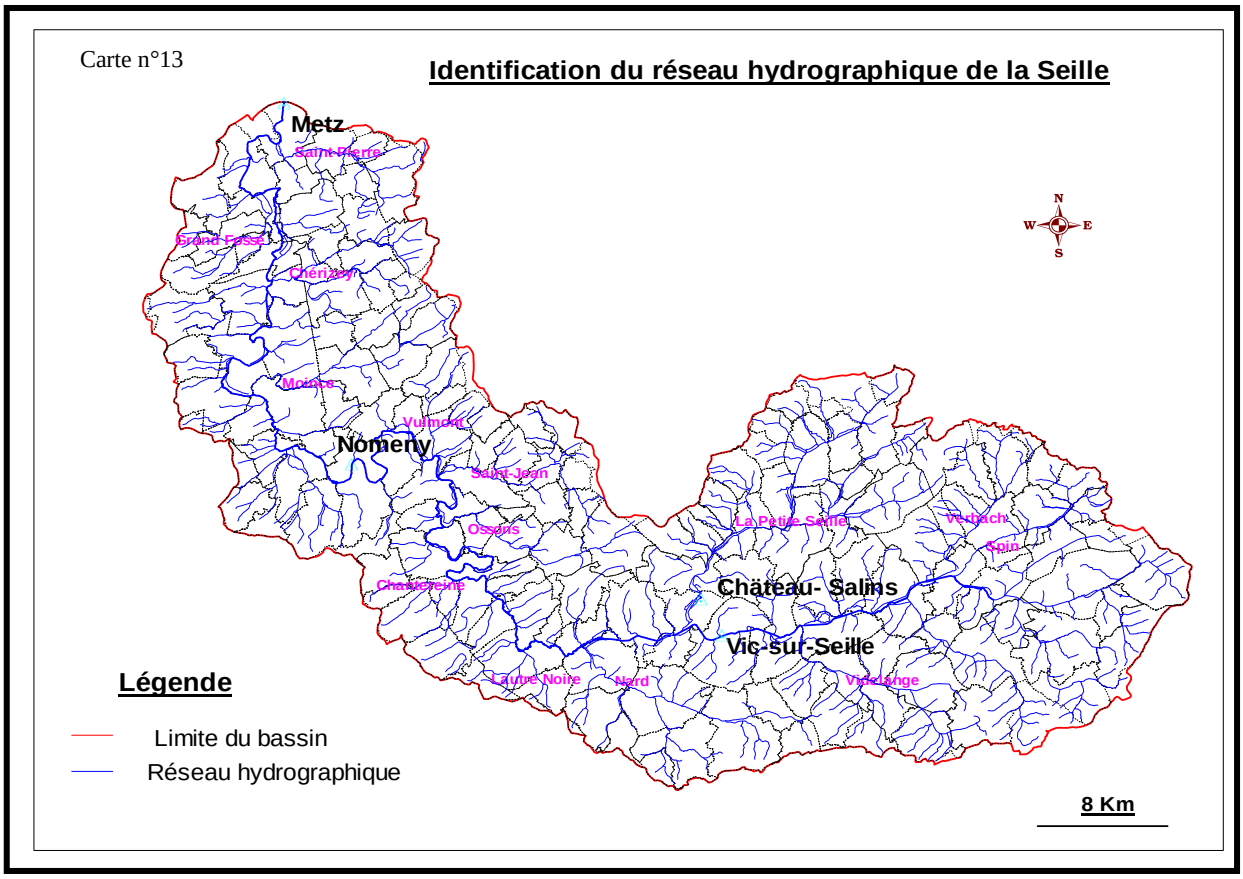
Pour conclure, cette étude a montré que le bassin de la Seille comprend différentes régions naturelles. Les caractéristiques morphométriques et des systèmes de pente montrent une faible différence interne entre les sous-bassins. Il s'agit des sous-bassins compacts inscrits dans un relief modéré. La Seille coule sur des terrains majoritairement imperméables avec une surface d'affleurement de 73,4 % contre 21,2 % pour les roches semi-perméables. Les roches permeables ne représentent que 5,4 % de la surface du bassin. La majorité de ces terrains favorise essentiellement le ruissellement au détriment de l'infiltration. Cette situation va jouer un rôle non négligeable dans les modalités de circulation d'eau ainsi que dans l'alimentation du cours d'eau. Les enjeux économiques sont à l'origine de la majorité des interventions menées sur le cours d'eau car les activités des riverains sont attachées au cours d'eau (exploitation du sel, agriculture et élevage). Ces facteurs naturels et humains ont des influences sur les modalités des écoulements dans l'ensemble du bassin. Les caractéristiques du réseau hydrographique ainsi que l'emplacement des stations hydrométriques qui permettent de contrôler les débits dans chaque région, peuvent nous apporter les premières réponses sur les conditions d'écoulement de la Seille.

***Chapitre 2* : L'écoulement de l'eau dans le bassin de la Seille**

L'eau transite par différents réservoirs représentés principalement par des réservoirs superficiels qui correspondent dans le bassin de la Seille au réseau hydrographique et à l'étang de Lindre. Il existe aussi différents réservoirs souterrains par lesquels les transferts d'eau sont plus ou moins rapides.

I- Le réseau hydrographique

Il s'agit de présenter quelques facteurs déterminants dans l'organisation du réseau hydrographique, la densité de drainage et les profils en long.



1- Les caractéristiques du tracé

L'état actuel du réseau hydrographique résulte d'une longue évolution géomorphologique. Le substratum se compose essentiellement d'argiles et de marnes, ce qui génère un réseau hydrographique assez dense. La salinité du cours d'eau est due à la traversée des terrains du Keuper comportant des évaporites. Le développement du réseau hydrographique de la Seille est différent suivant la région naturelle drainée. Dans la région des Etangs et du Saulnois, la Seille coule d'est en ouest. Elle a la particularité d'avoir un tracé presque rectiligne jusque Brin-sur-Seille en raison d'actions anthropiques qui ont modifié complètement le tracé. Dans la partie médiane, à partir de Brin-sur-Seille, l'écoulement prend une direction générale SE - NO. Le tracé est très sinueux avec une succession de grands et petits méandres. Ces méandres très rapprochés, avec une amplitude très importante pour les grands méandres, sont encaissés dans les calcaires et les grès du Lias inférieur. A l'aval, à

partir de Port-sur-Seille, le cours d'eau a un tracé orthoclinal. On observe des sinuosités plus libres en alternance avec un tracé rectiligne. Vers l'aval du bassin, le tracé devient moins sinueux et recoupe plusieurs accidents tectoniques. Dans cette partie, la Seille est très surveillée, en témoigne le nombre important d'aménagements observés sur le cours d'eau. Le système hydrographique est très perturbé par les interventions humaines.

2- Les affluents

Vu la nature imperméable du bassin de la Seille qui favorise le ruissellement plutôt que l'infiltration, la Seille reçoit de nombreux affluents dont le plus important est la Petite Seille. Du coté de la Seille amont qui regroupe la région des Etangs et la région du Saulnois, le réseau hydrographique se caractérise par des affluents assez courts, souvent temporaires. Dans cette zone, les affluents les plus importants se trouvent en rive droite (Verbach, Spin et Petite Seille). En rive gauche, ils sont moins nombreux et plus courts (Videlange, Nard et Lautre Noire). Dans la partie médiane, les affluents sont moins nombreux. Les plus importants sont en rive droite : Blanche Fontaine, les ruisseaux des Ossons, Saint Jean, Vulmont et Moince. En rive gauche, le plus important est le ruisseau de Chantereine. A l'aval, la Seille reçoit de nombreux affluents relativement courts, dont les plus importants sont les ruisseaux de Chérizey et de Saint Pierre en rive droite, ainsi que le ruisseau du Grand Fossé en rive gauche. La majorité de ces affluents sont pérennes et alimentés essentiellement par les précipitations. Il est clair que ces affluents vont jouer un rôle important dans l'alimentation de la Seille, surtout dans la partie aval. Ils contribuent au gonflement des débits du cours d'eau lors de la période des hautes eaux ce qui conduit à une accélération de l'érosion fluviale. Ce type d'alimentation provoque parfois des montées rapides des débits qui conduisent aux inondations. On peut donc dire que le bassin bénéficie d'un soutien non négligeable de ces axes d'écoulement secondaires dans l'alimentation du réseau principal. Cependant, compte tenu des données disponibles (pas de station hydrométrique sauf sur la Petite Seille), leur comportement ne pourra pas être étudié spécifiquement.

3- La densité de drainage et la fréquence du chenal

La densité de drainage d'un bassin est un paramètre reflétant son écoulement, la stabilité du réseau hydrographique et le type de ruissellement de surface (Llamas, 1993). Cette densité est représentée par un indice de concentration plus ou moins rapide des écoulements, qui permet d'apprécier les possibilités d'évacuation de l'eau (eaux de surface et souterraines). La densité (Dd) est le rapport entre la longueur totale des drains et la surface du bassin versant concerné. La fréquence de chenal (F) est le rapport entre le nombre total de drains d'un réseau et la surface du bassin versant concernée (tableau n°6):

$$Dd = \frac{\sum tx\ (km)}{A\ (km^2)} \qquad F = \frac{\sum nx}{A\ (km^2)}$$

Tableau n°6: La densité de drainage du bassin versant de la Seille

B.V	Surface en km² des sous-bassins versants	Longueur du réseau (t x) (km)	Nombre de cours d'eau	Densité de drainage (km / km²)	Fréquence des chenaux (F)
La Seille à Moyen Vic	348,9	15,40	263	0,04	0,75
La Petite Seille à Château-Salins	145,5	22,3	125	0,15	0,85
La Seille à Nomeny	918,8	74,75	283	0,08	0,30
L'ensemble de la Seille	1264,3	117,91	872	0,09	0,68

La densité de drainage est conditionnée par la nature des roches affleurantes et la pente, Gardiner 1995. A l'échelle du bassin de la Seille, la densité de drainage (Dd) est faible (0,09), tandis qu'elle atteint 0,15 pour la Petite Seille. Malgré le fait que la Petite Seille draine un pourcentage plus grand de terrains perméables, la densité de drainage est plus importante que celle de la Seille qui draine des terrains majoritairement imperméables. Ce contraste de perméabilité entre les deux bassins s'exprime encore d'avantage par la fréquence des chenaux : F est respectivement, pour la Seille et la Petite Seille, de 0,68 et 0,85. Cette situation peut être expliquée par le nombre important de drains qui se trouvent à l'amont du bassin. La différence de lithologie des bassins de la Seille et de la Petite Seille entraîne donc une différence dans la structure du réseau hydrographique.

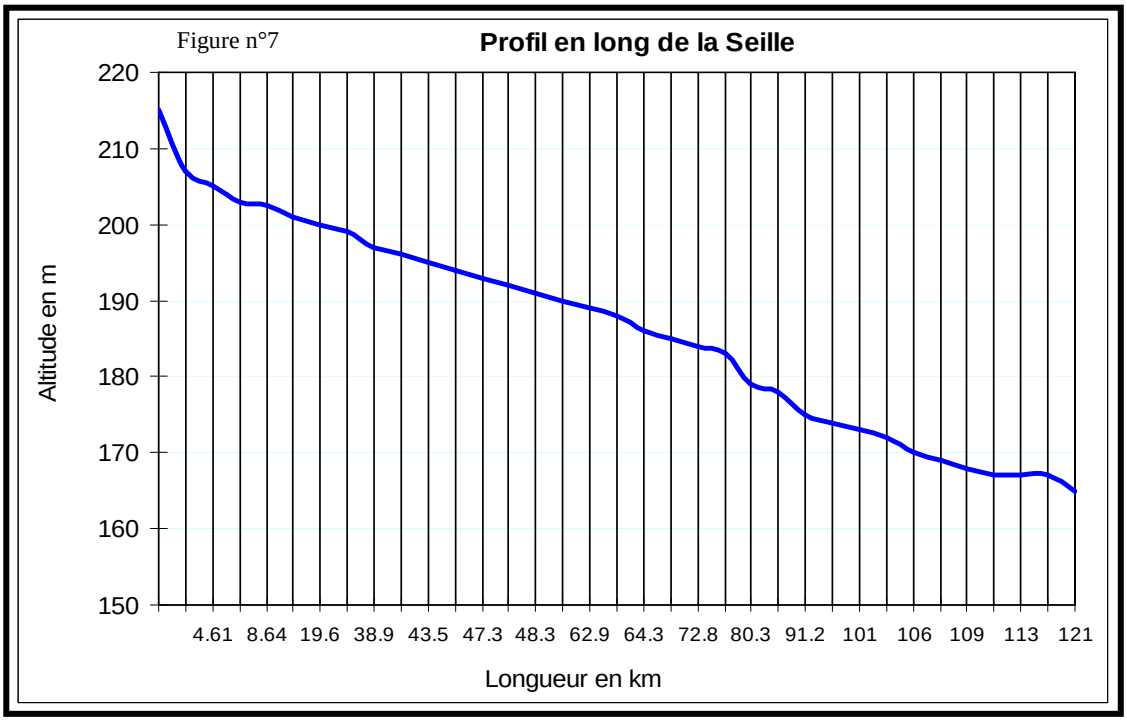
4- Les profils en long

Le profil en long permet d'établir la relation entre l'altitude d'un cours d'eau et la distance parcourue depuis la source. Il permet aussi de discerner les modifications de valeurs de pente. Le profil en long d'une rivière est souvent approché pour déterminer l'équilibre entre la capacité de transport d'une part, le volume et le calibre de la charge solide en transit d'autre part, (Bravard et Petit, 1997). Nous avons réalisé deux profils en long, pour le cours d'eau principal et pour la Petite Seille à partir des cartes topographiques à 1/25 000.

- Le profil de la Seille:

Le profil en long de la Seille (figure n°7), sur 120 km, est concave à l'amont et présente une succession de ruptures de pente à l'aval. La Seille amont jusqu'où Brin-sur-Seille présente une pente globale de 0,38 ‰.

Figure n°7



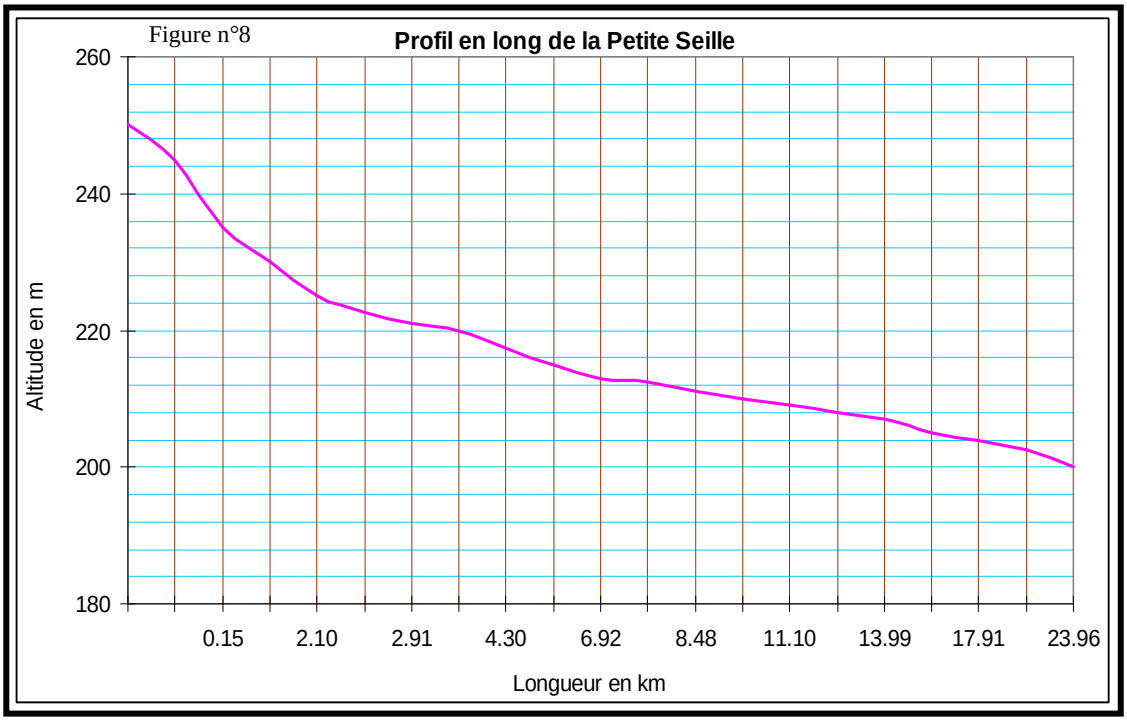
* La partie amont s'inscrit dans des roches imperméables et présente une pente forte de 0,77 ‰; l'abaissement de pente se fait de façon régulière vers l'aval. * La partie médiane, où la Seille coule sur des terrains majoritairement imperméables, enregistre une pente faible de l'ordre de 0,2 ‰.

* Dans la partie aval, la pente longitudinale diminue progressivement pour atteindre 0,18 ‰. Les ruptures de pente visible dans cette partie sont certainement d'origine anthropique. Au final, la longueur du talweg est de 120 km, tandis ce que le coefficient de sinuosité est de 62 %.

- Le profil de la Petite Seille:

Le profil en long de la Petite Seille (figure n°8) court sur 24 km et présente une pente globale de 0,37 ‰.

Figure n°8



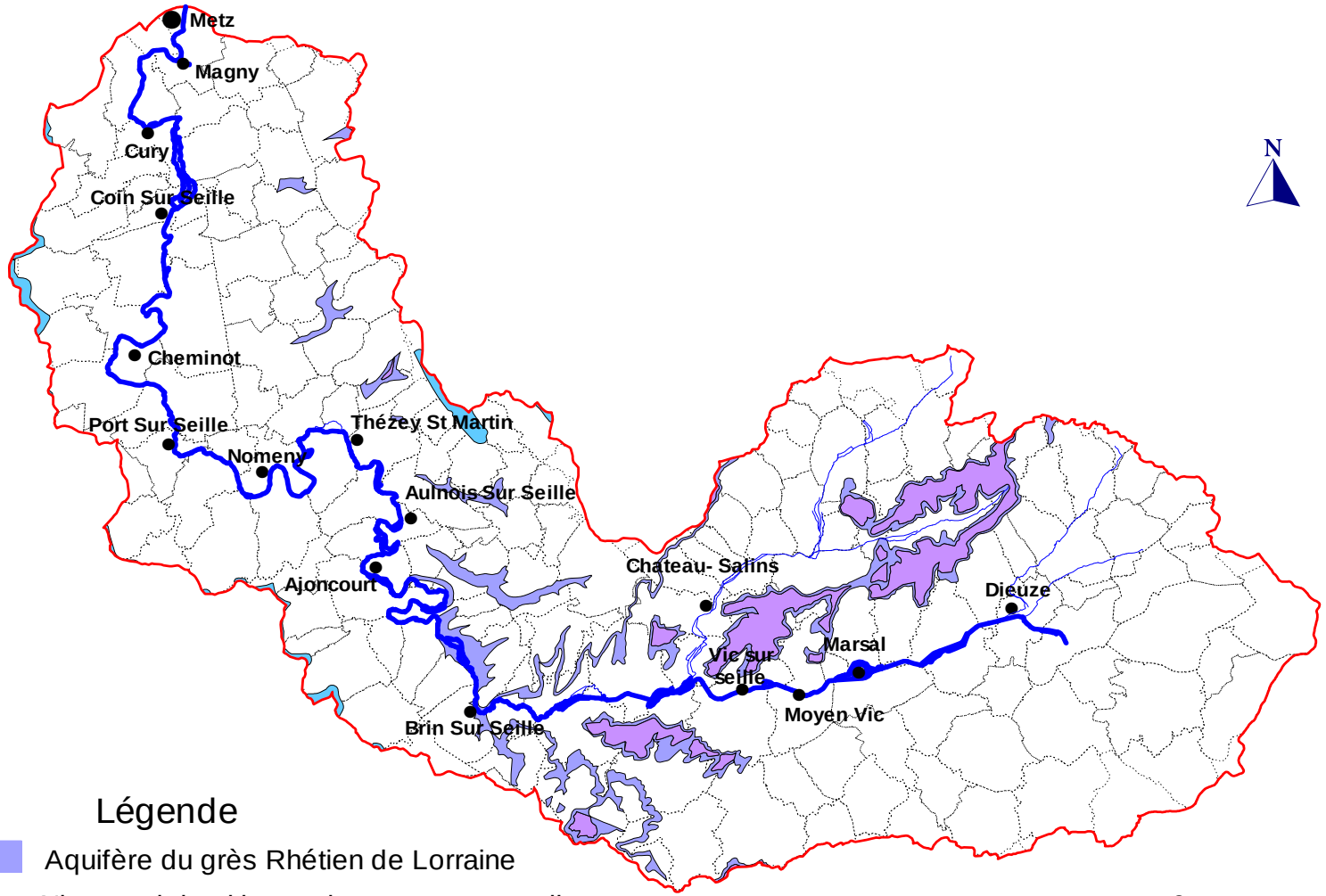
Dans le détail, la partie amont enregistre une pente de 0,6 ‰, la partie médiane une pente de 0,11 ‰ et à l'aval la pente ne dépasse pas les 0,06 ‰. La longueur du talweg de la Petite Seille n'atteint pas 24 km. En ce qui concerne le coefficient de sinuosité, il est de l'ordre de 61 %. Le profil en long de la Petite Seille est caractéristique des cours d'eau du Plateau lorrain. Le réseau hydrographique est très influencé par le substratum du bassin, qui conduit à une diversité de ses caractéristiques (profil en long, hiérarchisation du réseau, densité de drainage, …).

II- Les réserves d'eaux souterraines

En abordant les écoulements souterrains on rappelle que la majorité des terrains du bassin de la Seille est imperméable, ce qui signifie des réserves souterraines réduites. Néanmoins, il existe des nappes souterraines dans les grès, les marnes – calcaires et dans les calcaires, (Corbonnois, 1996). Ces nappes soutiennent les débits pendant la période des étiages ; « les aquifères jouent un rôle de régulation naturelle. En cas d'irrégularités pluviométriques durables, les débits sont régulés par l'apport souterrain » (Ardillier-Carras, 1997). La carte hydrogéologique n°14 permet de localiser la ressource en eau souterraine ainsi que sa restitution au réseau hydrographique.

Carte n°14

Localisation des aquifères dans le bassin de la Seille



Les nappes des grès : Les Grès à roseaux constituent des aquifères à faible profondeur. Les Grès rhétiens présentent une qualité chimique moyenne.

Les nappes des Marnes irisées : elles sont localisées dans la partie amont de la Seille et surtout au niveau de Château-Salins et à l'amont de Moyen Vic. Ces nappes se caractérisent par une salinité très forte car l'eau traverse un niveau de gypse à l'origine d'une minéralisation très élevée. Ces nappes sont peu épaisses, avec une faible profondeur. Leur soutien à l'écoulement fluvial est donc très limité.

Les nappes des calcaires : les aquifères du Sinémurien (Calcaire à gryphées) sont peu exploités et caractérisés par une faible épaisseur et un faible rendement. Les aquifères de Dogger ne concernent qu'une surface très limitée dans le bassin.

Les alluvions : elles présentent des réservoirs locaux de faible étendue. Situées en bordure du cours d'eau, elles sont argilo-sableuses, parfois constituées de limons très finement sableux. Globalement, ces formations sont caractérisées par une faible épaisseur et représentent un faible réservoir.

D'un point de vue hydrogéologique, les nappes du bassin de la Seille constituent une ressource en eau à considérer. Malheureusement, leurs faibles capacités restent un handicap dans l'alimentation du cours d'eau et surtout lors de la période d'étiage.

III- L'étang du Lindre

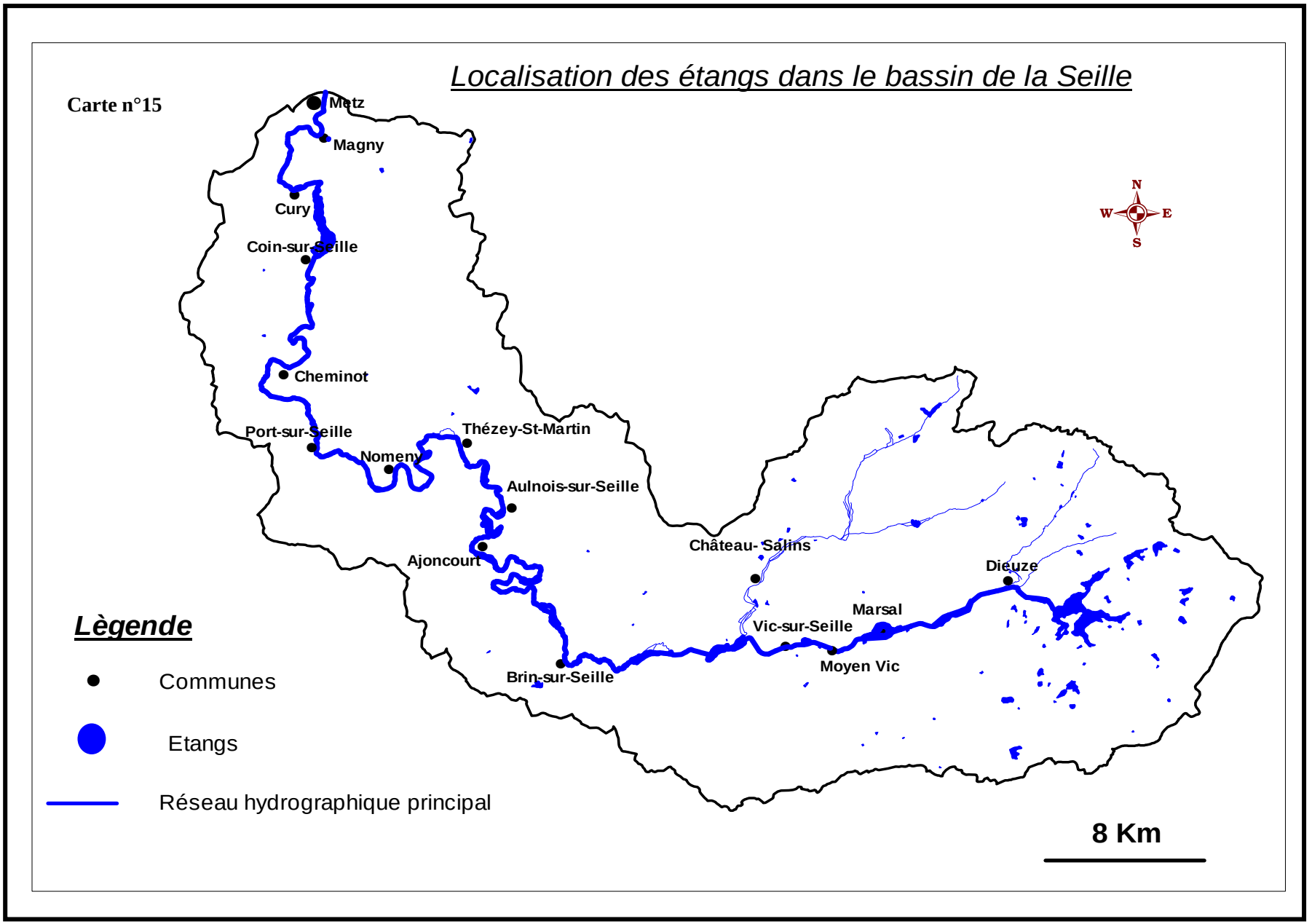
La Lorraine fait partie des régions françaises riches en étangs. Ces étangs d'origine anthropique représentent des réservoirs superficiels destinés à l'alimentation du cours d'eau, mais aussi à la pisciculture. La nature du substratum du bassin de la Seille est très favorable à la création des étangs. D'après l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, il existe 134 étangs dans la région Lorraine. Parmi les plus importants, on trouve l'étang de Lindre où la Seille prend sa source. Les vidanges et remplissages de cet étang perturbent le fonctionnement hydrologique de la rivière. L'objectif de cette section est d'identifier le domaine du Lindre et de déterminer son rôle dans l'alimentation du cours d'eau.

1-Présentation du domaine du Lindre

Le domaine du Lindre est situé au sud-est du département de la Moselle, à l'amont du bassin de la Seille (Carte n°15). Il appartient au « Pays des étangs ». L'agriculture, la pisciculture et l'élevage constituent les principales activités des habitants du domaine du Lindre.

L'étang de Lindre possède une superficie de 620 ha et une profondeur moyenne de 5 m ; sa contenance est d'environ 13 millions de mètres cube d'eau (Grysan, 1999). Sa forme est caractérisée par trois cornées : la cornée de Zommange, la cornée de Guermange et la cornée d'Assenoncourt. Les terrains encaissants sont essentiellement imperméables, puisque l'étang est entièrement situé sur les marnes du Keuper inférieur qui favorisent l'apparition des zones marécageuses. L'étang de Lindre dispose de deux exutoires principaux : un exutoire qui représente la source de la Seille et une autre sortie qui alimente le bassin de pisciculture et rejoint la Seille.

Le domaine du Lindre présente un complexe écologique de zone humide d'apparence sauvage, avec une diversité floristique et faunistique remarquable. En ce qui concerne la couverture végétale, le domaine est très riche en forêts qui sont exploitées de façon intensive par l'Office Nationale des Forêts.


Localisation des étangs dans le bassin de la Seille
Carte n°15
Metz
Magny
Cury
Coin-sur-Seille
Cheminot
Port-sur-Seille
Thézey-St-Martin
Nomeny
Aulnois-sur-Seille
Ajoncourt
Château- Salins
Dieuze
Marsal
Vic-sur-Seille
Moyen Vic
Brin-sur-Seille
N
W
E
S
Lègende
Communes
Etangs
Réseau hydrographique principal
8 Km

2-L'histoire de l'étang du Lindre

Le dépouillement des anciens documents et la bibliographie actuelle ont permis d'avoir quelques informations sur l'histoire de l'étang de Lindre. Dans la bibliographie historique, la création de cet étang reste imprécise. Toutefois, les premiers étangs du Saulnois sont réalisés pour l'exploitation du sel, d'après Masson (1842). En tous cas, la carte de Cassini (1760-1789) et les plans du cadastre napoléonien permettent de confirmer l'existence de l'étang de Lindre au XVIIIème siècle. Les documents historiques racontent plusieurs hypothèses sur la création de l'étang de Lindre, qui reste purement économique et stratégique. Selon quelques auteurs, l'étang de Lindre serait né de la réunion de plusieurs petits étangs, (Reichland, 1975). Selon Van Verveke (1903), l'exploitation du sel dans la région aurait pu provoquer, par un effondrement propice, l'apparition d'un grand étang. Certains auteurs parlent d'une existence naturelle de l'étang, tandis que d'autres leurs attribuent une origine strictement artificielle. Les documents des archives départementales témoignent que l'étang de Lindre a suscité l'admiration et l'intérêt de toutes les populations et les régimes qui se sont succédés au cours de l'histoire. Le domaine de Lindre a été une propriété privée, et a changé de propriétaire plusieurs fois. C'est en 1976 que l'étang a été acheté par le Conseil Général de la Moselle, avec des aides du ministère de l'environnement et de l'établissement public régional, dont le but est de créer une exploitation de pisciculture expérimentale.

3- L'exploitation de l'étang du Lindre

« L'étang de Lindre présente un intérêt écologique, un endroit touristique, ainsi qu'une diversité floristique et faunistique remarquable. L'étang de Lindre demeure le seul étang lorrain que la civilisation industrielle n'a pas encore trop gravement endommagé » (Richard, 1975). Au-delà de cet aspect touristique, l'étang de Lindre fut un étang pour l'exploitation piscicole (Heintz, 1998). D'ailleurs, il est très poissonneux grâce à la bonne qualité de l'eau (Schontz, 2004). Il contient de nombreuses variétés de poissons : carpe, poisson blanc, roussaille, tanche, brochet, … mais la réputation de l'étang vient de la carpe miroir. La pêche intervient au début de l'automne grâce à une vidange par des fossés creusés au fond de l'étang. En définitive, c'est un « étang barrage » dont la pisciculture reste l'activité principale.

4-L'influence de l'étang du Lindre sur l'écoulement de la Seille (vidange et remplissage)

D'après la littérature, la vidange de l'étang de Lindre se fait d'une façon triennale, soit deux années en eau durant lesquelles la production des poissons est très intensive, puis une année en culture, qui est la période de « l'assec » (Masson, 1842), (Richard, 1975). Durant cette période, les terrains sont divisés en lots et les cultivateurs versent une somme d'argent pour louer la terre. Les cultures principales sont le blé, l'orge et le chanvre. Dès que les récoltes s'achèvent, les digues de l'étang sont refermées, l'étang commence à se remplir et le rempoissonnement s'effectue à nouveau par lâchers. Aujourd'hui, la vidange se fait chaque année et dure 3 mois. A priori, la période de vidange démarre mi-septembre. Le choix de cette date n'est pas arbitraire, mais est caractérisé par des conditions climatiques idéales : le mois de septembre est situé entre la fin de la période chaude et le début de la période froide. Cette vidange se fait en 6 semaines. D'ailleurs, durant le mois de septembre les vannes ne sont pas complètement ouvertes, c'est à partir du mois d'octobre que commence la vidange proprement dite. Pendant la période de vidange, on distingue deux phases : la première concerne essentiellement l'évacuation progressive d'eau dans la Seille, tandis que la deuxième phase concerne l'exploitation piscicole,

Le remplissage de l'étang de Lindre est très variable. Il est essentiellement lié aux conditions climatiques. Par exemple en 1996, le remplissage de l'étang a demandé 6 mois à cause du déficit pluviométrique. Au contraire, en 1998 la durée de remplissage a été très

courte en raison des conditions pluviométriques très favorables. Ces deux actions de vidange et de remplissage modifient l'écosystème naturel et agissent sur le fonctionnement hydrologique de la Seille, (S.R.AE.L, 1986), (Grisan, 1999).

5- L'alimentation de l'étang du Lindre et son influence sur les débits de la Seille

Au vu du climat lorrain, le domaine de Lindre est caractérisé par une pluviométrie abondante durant toute l'année (environ 800 mm au total). Les températures sont faibles à très faibles pendant la période hivernale. Du fait de l'abondance pluviométrique au cours de l'année et des températures peu élevées durant la période hivernale, le potentiel hydrique reste en général positif. Pendant la période estivale, le domaine du Lindre enregistre un déficit hydrique, qui est essentiellement dû à l'intensité de l'évaporation. Les précipitations constituent la ressource en eau de l'étang. L'étang de Lindre reçoit un apport des ruisseaux de Speck de Nolweiher et de Zébourg. Son fonctionnement fait partie du régime de la Seille, ce qui est la raison pour laquelle nous ne devons pas négliger son rôle dans le fonctionnement hydrologique du cours d'eau. L'étude réalisée par Grisan (1999) a montré les influences de l'étang de Lindre sur la Seille. Elle est malgré tout discrète surtout du contrôle du vidange (adaptation des débits relâchés par l'étang aux conditions climatiques) et du remplissage (période hivernale pluvieuse). Au terme de cette étude nous constatons que le domaine du Lindre offre un milieu écologique particulièrement riche par ces eaux superficielles, ces forêts, la pêche, l'agriculture et l'élevage. L'existence de cet étang à l'amont du bassin permet une bonne alimentation du cours d'eau et perturbe le système d'écoulement. Son soutien détermine des influences anthropiques importantes.

Conclusion

L'étude de l'écoulement du bassin de la Seille représente une première étape de l'analyse du fonctionnement hydrologique. L'organisation du réseau hydrographique et la densité de drainage sont des indices susceptibles d'expliquer les modalités de l'écoulement dans le bassin. En outre, l'analyse des aquifères permet de situer les nappes dans le bassin de la Seille, qui garantit l'alimentation du cours d'eau pendant la période d'étiage. Enfin l'existence de l'étang de Lindre à l'amont du bassin présente un avantage précieux dans l'alimentation du cours d'eau. L'originalité réside dans l'existence d'un réseau hydrographique bien développé, affluent de la Moselle, soutenu par quelques nappes gréseuses et très influencé par l'étang de Lindre.

Le problème qui se pose est de déterminer les périodes d'écoulement qui dépendent surtout des conditions climatiques, alors que les types d'écoulements sont fonction du substratum du bassin.

Conclusion générale de la première partie

Au cours de cette première partie, nous sommes arrivés à une description des trois composantes qui influencent la dynamique fluviale. Du point de vue des conditions naturelles, le bassin de la Seille a une forme relativement « en croissant », qui s'inscrit dans un relief modéré avec peu de dénivelés et des pentes douces. Les terrains quasiment imperméables favorisent le ruissellement sur l'infiltration. Du point de vue des conditions humaines, la population de la Seille a connu une augmentation notable dans les trente dernières années, surtout à l'aval. La plupart des activités des riverains de la Seille rurales et sont attachées au cours d'eau (l'exploitation du sel, l'élevage et l'agriculture).

L'étude des diverses composantes du bassin de la Seille a permis de discerner une organisation interne en trois parties.

* La partie amont de la Seille, qui correspond à la région des Etangs et du Saulnois, se situe dans les sous-bassins de Moyen Vic et de Château-Salins, et se distingue par une grande concentration des eaux de surface (les étangs et les affluents) et des réserves souterraines (la principale réserve souterraine se trouve dans cette zone). Les altitudes les plus importantes dans le bassin se situent dans cette région, caractérisée par des pentes importantes. L'occupation du sol est dominée par les prairies et les cultures. La Seille coule sur des roches majoritairement semi-perméables.

* La partie médiane, qui correspond au plateau liasique et qui se situe dans le sous-bassin de Nomeny, se caractérise par une faible concentration humaine. Les altitudes sont plus faibles et les pentes aussi. La Seille coule sur des terrains majoritairement imperméables. Cette partie est recouverte d'un vaste ensemble de prairies et de pâturages ainsi que de quelques cultures qui se situent sur les versants.

* La partie aval de la Seille, qui correspond à une zone de dépression subséquente, se situe dans le sous-bassin de Metz. Elle se caractérise par une concentration humaine importante. Les altitudes les plus faibles du bassin se trouvent ici. La Seille coule sur des terrains imperméables. L'occupation du sol est dominée par une concentration des zones urbaines qui s'étendent au fond de la vallée inondable.

L'identification du contexte physique de la Seille est une phase préalable, nécessaire et importante pour saisir les processus morphogènes en rapport avec le cours d'eau. En effet, les différences internes déterminées au sein du bassin vont se faire ressentir sur le fonctionnement hydrodynamique.

Introduction générale de la deuxième partie

Une étude hydrologique antérieure réalisée par L'Hôte (1967) a montré que le bassin de la Seille bénéficie de précipitations de l'ordre de 735 mm en moyenne annuelle pour la période 1924 - 1965. Le module de la Seille était de 8,2 m3/s à la station de Metz, pour les deux années 1965 et 1966. Un des objectifs est d'actualiser cette étude hydrologique et de répondre à la problématique posée auparavant, à savoir déterminer le fonctionnement hydrologique de la Seille influencé par les actions anthropiques. Les résultats de cette étude permettent de comprendre les processus dynamiques qui sont l'origine de l'évolution du lit fluviale. Cette partie comprend deux chapitres :

- Le premier aborde le fonctionnement hydrologique moyen de la Seille. Il a pour but une étude des apports pluviométriques qui alimentent le système « hydrologique ». Nous essayons d'identifier les hétérogénéités spatiales et temporelles qui affectent ces pluies. Les températures représentent, par l'évapotranspiration, les pertes en eau du bassin. Leur analyse permet de réaliser un bilan hydrique. Celui-ci mis en regard des variations du débit moyen qui permet ensuite de réaliser un bilan hydrologique. Le but est de quantifier les volumes d'eau dans les différents compartiments du cycle de l'eau au fil de l'année.

- Le deuxième chapitre traite du fonctionnement hydrologique extrême de la Seille qui est l'origine de toutes les interventions mener sur le cours durant la période contemporaine. Les crues accélèrent l'érosion fluviale, les étiages ont un impact sur la vie aquatique ou à l'alimentation en eau des installations humaines. Au niveau environnemental, ces événements (crue et étiage) peuvent modifier l'état du cours d'eau et conduire à des conséquences dramatiques. Nous analyserons ces deux phénomènes afin de comprendre, leur genèse, leur fréquence et leurs conséquences sur le cours d'eau. Nous nous intéresserons aussi à l'influence des actions anthropiques sur le fonctionnement hydrodynamique de la Seille pendant ces périodes extrêmes.

Chapitre 3 : Les apports d'eau d'origine climatique dans le bassin de la Seille

Le bassin de la Seille est soumis à un climat océanique, avec une tendance continentale, comme la majeure partie de la Lorraine (Pagney, 1988), (Frécaut, 1982). Ce climat est réputé par sa variabilité qui résulte de la succession au cours de l'année de types de temps contrastés. Les influences océaniques déterminent un temps humide avec des hauteurs de précipitations élevées marquées parfois par des périodes de gel durable en saison froide (Corbonnois, 1996). Certains types de temps anticycloniques continentaux stables peuvent entraîner des sécheresses hivernales ou estivales d'une durée d'une à plusieurs semaines. En année moyenne, le climat Lorrain est caractérisé par des précipitations relativement bien réparties tout au long de l'année, avec un maximum au début de la saison hivernale. Les températures moyennes mensuelles sont proches de zéro en janvier et de 19 °c en juillet. Liée à ces caractéristiques, l'agressivité érosive de ce climat au cours de l'année est différente selon les saisons : - pendant la saison hivernale (novembre – avril) les apports pluviométriques favorisent l'érosion hydrique liée à une faible évaporation – pendant la saison estivale (mai – septembre), l'évapotranspiration importante liée à la montée de la température crée un déficit hydrique. Globalement, l'abondance pluviométrique reste le facteur explicatif principal des écoulements. Mais nous proposons, avant le traitement de ces données, de mener une critique préalable des données. Le déroulement de ce travail se fera en deux phases : analyse des apports pluviométriques et ensuite étude des écoulements dans le bassin de la Seille. Nous commençons d'abord par la présentation des stations de mesures et la critique des données.

I- Présentation des stations étudiées et critiques des données

1- Présentation des stations

a- Les stations pluviométriques

Cinq stations pluviométriques sont dispersées dans le bassin versant mais pour procéder à une répartition spatiale des précipitations, nous avons sélectionné d'autres stations qui entourent le bassin de la Seille. Le choix a été guidé par deux éléments importants (tableau n°7) :

- La situation de la station par rapport au bassin ;
- La longueur de la chronique de données.

On dispose ainsi de seize stations qui présentent une même chronique 1971 - 2004. En plus la station de Augny- Metz qui démarre en 1950 servira à l'analyse de la variabilité des précipitations sur une plus longue période (52 ans).

Carte n°16:

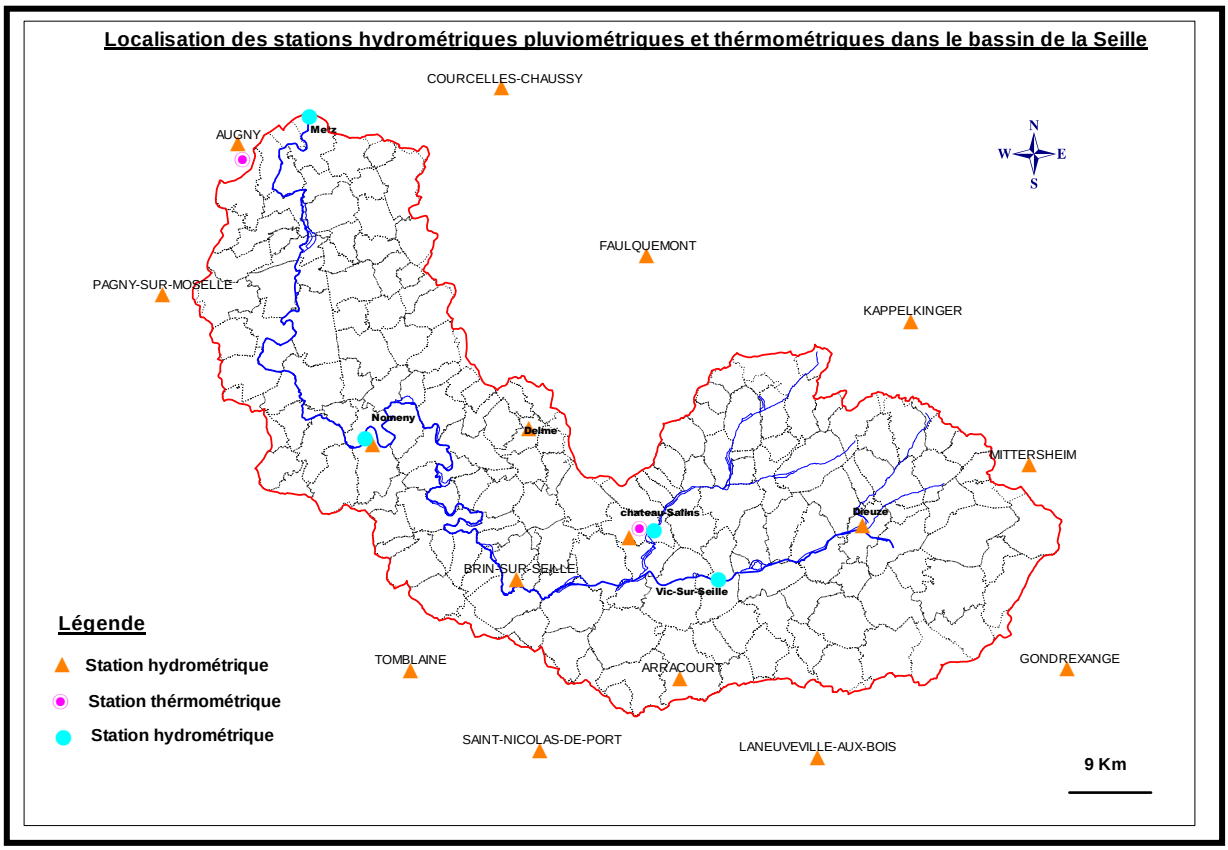


Tableau n°7: Coordonnées des stations utilisées

Stations	Altitudes (m)	Lambert X	Lambert Y étendu
Les stations dans le bassin			
Arracourt	244	908.3	2421.4
Dieuze	316	922.4	2432.6
Delme	238	896.7	2440.2
Nomeny	208	885.9	2438.5
Augny- Metz	190	876.1	2460.5
Brin/seille	205	895.2	2428.3
Château-Salins	298	904.6	2431.7
Les stations autour du Bassin			
Pagny-Sur-Moselle	174	870.6	2449.5
Courcelles-Chaussy	225	895.3	2464.6
Faulquemont	268	911.3	2458.6
Kappelkinger	223	934.6	2451.7
Saint-Nicolas	225	892.0	2410.4
Tomblaine	212	886.0	2416.9
La Neuville-Aux-Bois	240	917.8	2409.9
Metterscheim	233	937.0	2436.5
Gondrexange	264	938.0	2419.8

b- Les stations thermométriques

Les températures sont mesurées aux stations de Augny (Metz) et Château–Salins.

Tableau n° 8: Les stations thermométriques du bassin versant de la Seille

Stations	Altitudes (m)	Lambert X (Km)	Lambert Y Etendu	Période d'étude
Augny - Metz	190	876,1	2460,5	1945 - 2004
Château - Salins	210	905,6	2433,4	1971 - 2004

c- Les stations hydrométriques

Quatre stations hydrométriques équipées d'une échelle limnimétrique et d'un limnigraphe, gérées par la DIREN mesurent les débits de la Seille et la Petite Seille (l'affluent le plus important de la Seille). Le tableau n°9 présente les caractéristiques de ces stations.

Tableau n°9: Les stations hydrométriques du bassin de la Seille

Cours d'eau	**Station**	**Date de mise en service**	**Surface du bassin contrôlée (Km²)**	**Altitude de l'exutoire (m)**	**Cordonnées Lambert étendu**	
					x	**y**
La Seille	Moyen Vic	Avril 1968	348,9	199	910.989	2428.627
La Petite Seille	Château-Salins	Août 1968	145.5	203	906,150	2432.450
La Seille	Nomeny	Septembre 1968	918,8	180	885.450	2439.250
La Seille	Metz	Octobre 1964	1264.3	163	881.350	2462.750

LES STATIONS HYDROMETRIQUES DU BASSIN DE LA SEILLE



Photo n° 1: Station de Moyen Vic située sur la Seille



Photo n° 2: Station de Nomeny située sur la Seille



Photo n° 3: Station de Chateau Salins située sur la Petite Seille



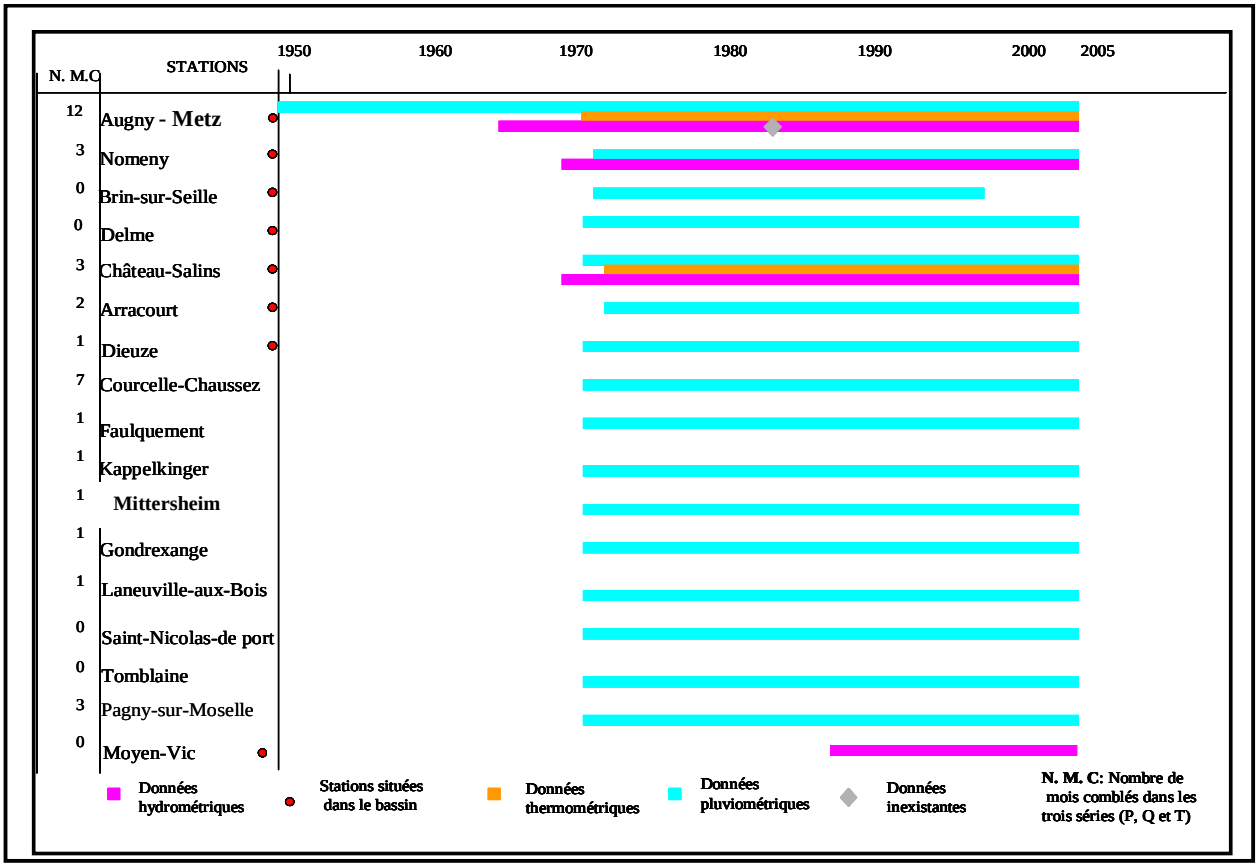
Photo n° 4 : Station de (Lothaire) Metz située sur la Seille

2- le choix de la chronique

a-Critères de choix

Le choix d'une chronique est une étape importante pour mener une étude hydro - climatologique. Les stations sélectionnées sont au nombre de 21 (15 stations pluviométriques, 4 hydrométriques et 2 thermométriques).

Figure n°9: Chronogramme des stations pluviométriques, thermométriques et hydrométriques utilisées



Il n'est pas évident de trouver une longue chronique de données commune aux 21 stations retenues. De plus, la plupart des observations sont affectées de lacunes.

b - Les périodes retenues

L'analyse statistique nécessite des séries longues et homogènes afin d'avoir de bons résultats. Pour l'étude hydrologique, on a retenu trois séries de données en fonction de trois objectifs :

- d'abord la première série caractérisée par une longue chronique de données (P, Q et T), ne concerne que la station de Metz (1945, 1950 et 1965 – 2004) ; l'objectif principal est de déterminer les tendances générales de la variabilité des trois facteurs dans un cadre régional et de s'informer sur les situations extrêmes.
- une deuxième série ne concerne que les stations qui sont dans le bassin de la Seille (stations pluviométriques, hydrométriques et thermométriques) pour la période commune aux stations hydrométriques 1986 - 2004 (19 ans), l'intérêt est de mener une investigation plus détaillée sur la variabilité des facteurs climatiques et hydrologiques dans le bassin et de réaliser un bilan hydrologique.
- enfin, pour l'étude hydrologique des extrêmes on a retenu toutes les données y compris la chronique 1971 - 2004 afin d'avoir toutes les informations sur les crues et les étiages de la Seille.

3- Critiques des données

Il s'agit de vérifier la cohérence des données les unes par rapport aux autres et de combler les courtes lacunes d'observations (reconstitution des valeurs mensuelles). La méthode adoptée est celle de la corrélation, (Dubreuil, 1974), le coefficient de détermination (r^2) juge de sa qualité et l'équation de la droite de corrélation est utilisée pour combler les lacunes. Pour cela, nous avons retenu la période 1971 – 2004, une période commune pour l'ensemble des stations, afin d'avoir des séries de données un peu plus longues.

a- Comblement des lacunes :

Il est possible qu'une erreur humaine ou une défaillance matérielle perturbe les mesures ; cette perturbation provoque des lacunes dans les séries mesurées. Seules les données de températures sont complètes. Entre deux stations, tant que r^2 est supérieur à 70%, la corrélation peut être considérée comme satisfaisante ; à plus de 80% la corrélation est bonne. La corrélation est réalisée mois par mois.

1-1 Données pluviométriques

L'application de la méthode donne les résultats suivants :

Tableau n°10 : La corrélation pluviométrique mensuelle du bassin de la Seille (1971-2004)

	Station	Périodes manquantes		Station corrélée	R^2
		Année	Mois		
Les stations qui se trouvent dans le bassin de la Seille	Dieuze	1974	Décembre	Arracourt	**84**
	Dieuze	1989	Avril	Metterscheim	**94**
	Nomeny	1985	Septembre	Delme	**88**
	Nomeny	1990	Juin	Delme	**81**
	Nomeny	2002	Décembre	Delme	**86**
	Château-Salins	1999	Février	Dieuze	**94**
	Château-Salins	1999	Mars	Delme	**97**
	Château-Salins	2002	Décembre	Nomeny	**92**
Les stations qui entourent le bassin de la Seille	Gondrexange	2002	Décembre	Arracourt	**88**
	Laneuville	1990	Août	Tomblaine	**70**
	Kappelkinger	2002	Décembre	Augny	**94**
	Faulquemont	2002	Décembre	Château-Salins	**96**
	Mittersheim	1972	Octobre	Château-Salins	**94**
	Mittersheim	2002	Décembre	Château-Salins	**96**
	Arracourt	1971	Janvier	Château-Salins	**92**
	Arracourt	1971	Février	Gondrexange	**89**
	Pagny/Moselle	1972	Novembre	Augny	**42**
	Pagny/Moselle	1991	Juin	Augny	**65**
	Courcelles-Chaussy	1989	Mai	Augny	**84**
	Courcelles-Chaussy	1990	Septembre	Faulquemont	**88**
	Courcelles-Chaussy	1990	Novembre	Augny	**91**
	Courcelles-Chaussy	1991	Avril	Pagny/Moselle	**91**
	Courcelles-Chaussy	1991	Juin	Augny	**64**
	Courcelles-Chaussy	1999	Janvier	Faulquemont	**93**
	Courcelles-Chaussy	1999	Février	Augny	**91**
	Courcelles-Chaussy	1999	Mars	Pagny/Moselle	**96**
	Courcelles-Chaussy	2002	Décembre	Metterscheim	**94**

Nous constatons d'après les valeurs de r^2 que la corrélation pluviométrique est généralement satisfaisante (tableau n°10). Le coefficient dépasse 80%. D'ailleurs, sur 27 corrélations effectuées sur le bassin de la Seille, 16 ont un coefficient de détermination qui dépasse 90% et 8 corrélations ont un coefficient qui dépasse 80%. On note également que

seule une corrélation a un coefficient inférieur à 60% (Pagny/ Moselle et Augny). Nous retiendrons l'ensemble de ces corrélations pour combler les lacunes des données traitées.

1-2 Données hydrométriques

Les résultats des corrélations figurent sur le tableau n°11:

Tableau n°11: La corrélation hydrométrique mensuelle du bassin de la Seille (1971-2004)

Stations	**Périodes Manquantes**		**Station Corrélée**	**R^2**
	Année	*Mois*		
Château-Salins	1973	Octobre	Nomeny	**86**
Château-Salins	1974	Septembre	Nomeny	**74**
Metz	1982	Octobre	Nomeny	**94**
Metz	1983	Janvier	Nomeny	**94**
Metz	1983	Février	Nomeny	**91**
Metz	1983	Mars	Nomeny	**98**
Metz	1983	Avril	Nomeny	**91**
Metz	1983	Mai	Nomeny	**99**
Metz	1983	Juin	Nomeny	**96**
Metz	1983	Juillet	Nomeny	**97**
Metz	1983	Août	Nomeny	**82**
Metz	1983	Septembre	Nomeny	**87**

Sur quatre stations retenues, deux, Metz et Château -Salins, contiennent des lacunes et ont été corrélées avec la station de Nomeny. Seule l'année 1983 a demandé une reconstitution de 9 mois. Les coefficients obtenus permettent de juger ces données généralement bonnes. En effet, sur 12 corrélations, 8 ont un coefficient de détermination qui dépassent les 90%.

b- Corrélation entre les stations

Pour valider les résultats des corrélations nous proposons une deuxième corrélation mais cette fois entre les stations. Le but est de tester l'homogénéité de ces données par rapport aux données d'autres stations.

1-1 Stations pluviométriques

Les résultats obtenus sont très satisfaisants (tableau n°12).

Tableau n°12: La corrélation entre les stations pluviométriques (1971-2004)

Stations pluviométriques	**La station corrélé**	**La matrice de corrélation**
Château-Salins	Delme	**R^2=** 90
Delme	Tomblaine	**R^2=** 83
Tomblaine	Saint-Nicolas	**R^2=** 80
Gondrexange	Metterscheim	**R^2=** 88
Metterscheim	Kappelkinger	**R^2=** 88
Kappelkinger	Faulquemont	**R^2=** 90
Laneuville	Château-Salins	**R^2=** 83
Dieuze	Kappelkinger	**R^2=** 82
Augny	Courcelles-Chaussy	**R^2=** 81
Pagny-Sur-Moselle	Augny	**R^2=** 90

Sur 10 corrélations, 9 ont un coefficient de détermination supérieur à 80%, ce qui permet de souligner que les données de ces stations sont homogènes.

1-2 Stations hydrométriques

Le tableau n°13 présente les résultats obtenus :

Tableau n°13: La corrélation entre les stations hydrométriques (1971-2004)

Station	Station corrélée	Matrice de corrélation
Moyen Vic	Nomeny	R^2= 89
Château-Salins	Nomeny	R^2= 89
Metz	Château-Salins	R^2= 93
Nomeny	Metz	R^2= 95

Là aussi, les corrélations sont très bonnes car sur les quatre corrélations, les coefficients sont supérieurs ou égaux à 80%.

Conclusion : Les résultats de cette critique de données fournissent des chroniques de qualité satisfaisante, comme le démontrent les coefficients de r^2 toujours élevés. Ces données peuvent aussi être utilisées pour l'analyse ultérieure sans réelle réserve à l'échelle annuelle et mensuelle. En revanche, l'étude des données journalières devra être menée avec une grande vigilance, en particulier pour les périodes reconstituées qui dans la mesure du possible seront écartées de l'analyse détaillée. Mais, ces analyses concernent surtout la période 1986 - 2004 pour laquelle les lacunes sont rares.

II- Les apports pluviométriques dans le bassin de la Seille

L'objectif de cette partie est de quantifier les lames d'eau précipitées susceptibles d'alimenter le bassin, le cours d'eau et les nappes souterraines, de déterminer ensuite la variabilité temporelle et spatiale de ces apports d'eau durant les périodes retenues, et enfin de déterminer et d'identifier les régions pluviométriques. D'un point de vue méthodologique, la démarche adoptée comprend deux étapes :

- La première concerne un traitement des données pluviométriques de la station de Metz 1950 - 2004. Le but est d'extraire des renseignements sur la variabilité des pluies dans le bassin, tout en identifiant les situations majeures et les caractéristiques des situations extrêmes (volumes atteints, fréquences d'apparition).
- La deuxième ne concerne que le traitement des stations pluviométriques du bassin de la Seille pour une période qui s'étend de 1986 à 2004. L'intérêt est de déterminer les régions pluviométriques dans le bassin de la Seille ainsi que le régime pluviométrique.

1- La pluviométrie à l'échelle annuelle

Comme dit auparavant, l'analyse des précipitations annuelles a pour objectif de déterminer les variations temporelles, ainsi que d'extraire l'information climatique apportée par l'échantillon pluviométrique. Il arrive souvent que les hauteurs des précipitations annuelles soient relativement différentes et soumises à des variabilités spatiales. On va essayer de détecter cette variabilité à partir de deux chroniques différentes : 1950 - 2004 et 1986 - 2004.

a- Mise au point des caractéristiques pluviométriques de la station de Metz 1950 - 2004

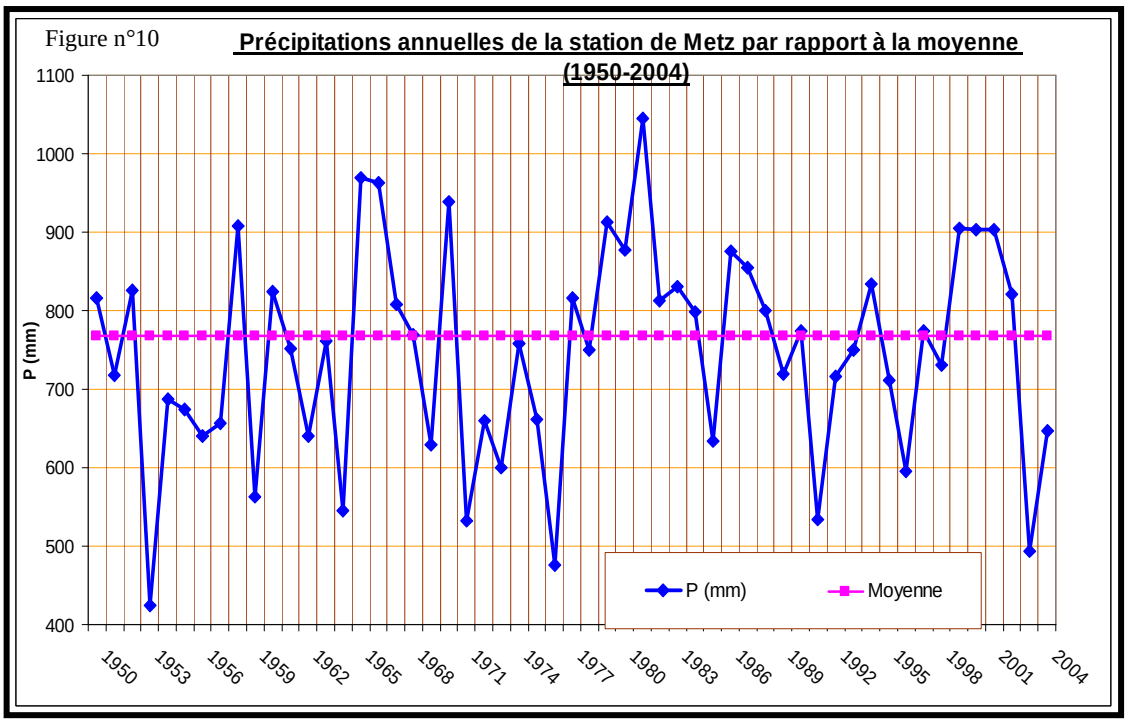
La moyenne des pluies annuelles, soit 746 mm masque la variabilité des pluies d'une année à l'autre. En théorie, nous avons essayé de présenter toutes les données de la chronique par rapport à la moyenne (746 mm) afin de détecter des contrastes.

Tableau n°14: La variation des pluies moyennes (1950 - 2004) de la station de Metz

Station	Pluie Moyenne	Ecart – type	Coefficient de variation %
METZ	746	136	18

Sur un échantillon de 52 ans, 25 années dépassent la moyenne, tandis ce que 27 années sont en dessous de la moyenne.

Figure n°10



Cette variabilité est analysée par la méthode de CUSUM qui permet notamment de mettre en évidence les tendances sèches ou humides dans la chronique retenue 1950 - 2004.

b- Traitement de la chronique (1950 - 2004) par la méthode de CUSUM

La méthode de CUSUM (François, Gille et Zumstein 1993) est une méthode statistique qui a pour objectif de déterminer l'hétérogénéité interne de la série étudiée en se fondant sur la définition d'un intervalle de confiance (bande passante Cjx).
La méthode de CUSUM repose sur le calcul de :

$$Cj = \sum_{j=1}^{N} \left(Xj - \overline{X} \right)$$

En effet, le calcul de la bande passante se fait à partir de :

$$\mathrm{Cjx} = \pm \mathrm{S}\left(\frac{\mathrm{u}\sqrt{\mathrm{N}}}{4} + \frac{\mathrm{u}^2}{2\sqrt{2}} + \frac{\mathrm{u}^3}{8\sqrt{\mathrm{N}}} \right)$$

S : Ecart- type
N : Nombre de valeur dans la série
u : Variable de Gauss (pour une probabilité choisie de 95 %, soit u fixé à 1.96).

Les valeurs calculées de Cj ont permis de fixer le rail de l'homogénéité qui prend en considération la variation de l'écart type et de la moyenne. Il apparaît qu'il y a 95 chances sur 100 de se tromper à déclarer la série homogène. Au final, on note l'hétérogénéité de la série par l'alternance de séquences sèches et humides.

Figure n°11

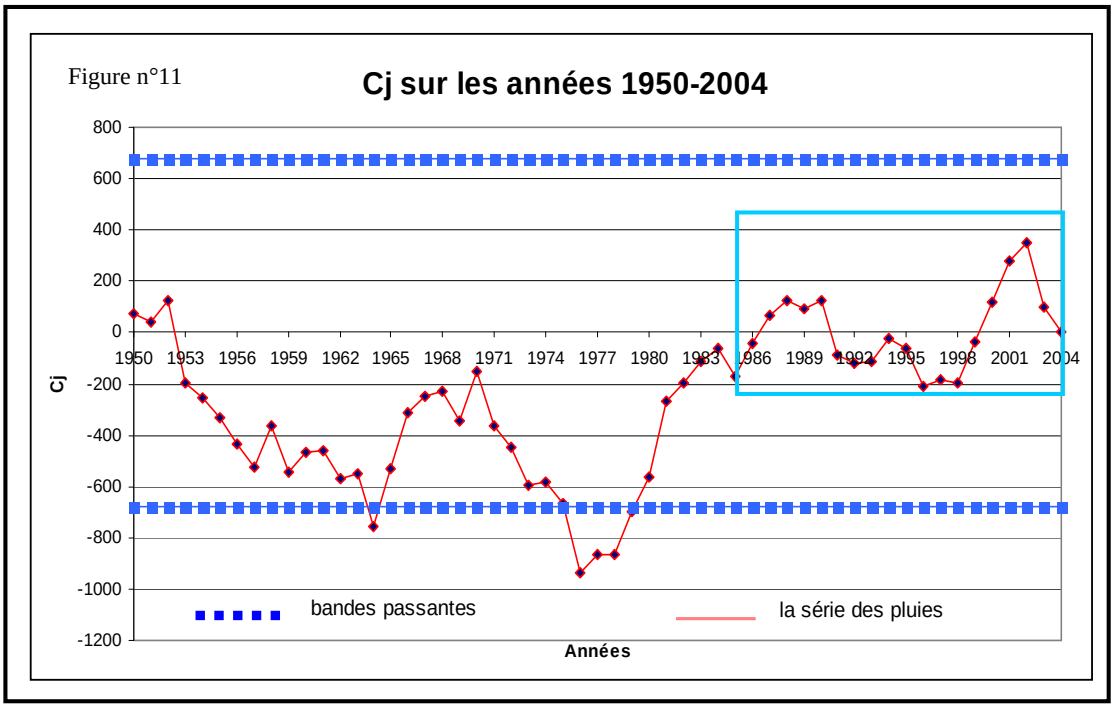


Tableau n°15: Découpage de la chronique des pluies de la Seille 1950 - 2004 en périodes homogènes

Période	Moyenne mm	Ecart – Type	Nombre d'année	Diagnostic
1950 - 1964	696	122	15	Série homogène sèche
1965 - 1970	846	124	6	Série homogène humide
1971 - 1976	615	92	6	Série homogène sèche
1977 - 1988	834	93	12	Série homogène humide
1989 - 2004	738	121	16	Série homogène moyenne

Deux séries ont une tendance « sèche », 1950 – 1964 et 1971 – 1976, dont les moyennes sont inférieures à 700 mm et deux séries ont une tendance « humide », 1965 - 1970 et 1977 – 1988, avec des moyennes supérieures à 800 mm. Enfin, il existe maintenant une série « intermédiaire », très proche de la moyenne de la période avec 738 mm depuis 1989. Par rapport à ces résultats on peut situer la période 1986 – 2004. Cette série retenue a une tendance « moyenne », les années les plus humides 1999, 2000 et 2001 ne sont que les sixièmes plus humides de la chronique. En revanche, 2003 est la troisième valeur la plus sèche de la chronique 1950 - 2004. Cette chronique contient donc de manière générale des années dites « humides » et « sèches », ce qui donne un bon échantillon d'étude.

c- Etude des précipitations annuelles à la station de Metz (1950 - 2004)

Il existe plusieurs types de lois permettant d'effectuer le traitement statistique. Pour le bassin de la Seille, le choix a été fixé sur la loi normale de Gauss, car c'est la loi qui convient aux milieux caractérisés par un régime de pluie océanique, ou tempérée humide des façades occidentales des continents, (Dubreuil, 1974).

1-1 L'application de la loi normale aux pluies moyennes annuelles

L'étude des pluies fréquentielles caractéristiques passe d'abord par l'arrangement des valeurs de pluies par ordre croissant en donnant à chaque variable son rang dans la série. Ensuite nous calculerons les fréquences expérientielles à partir de la formule suivante :

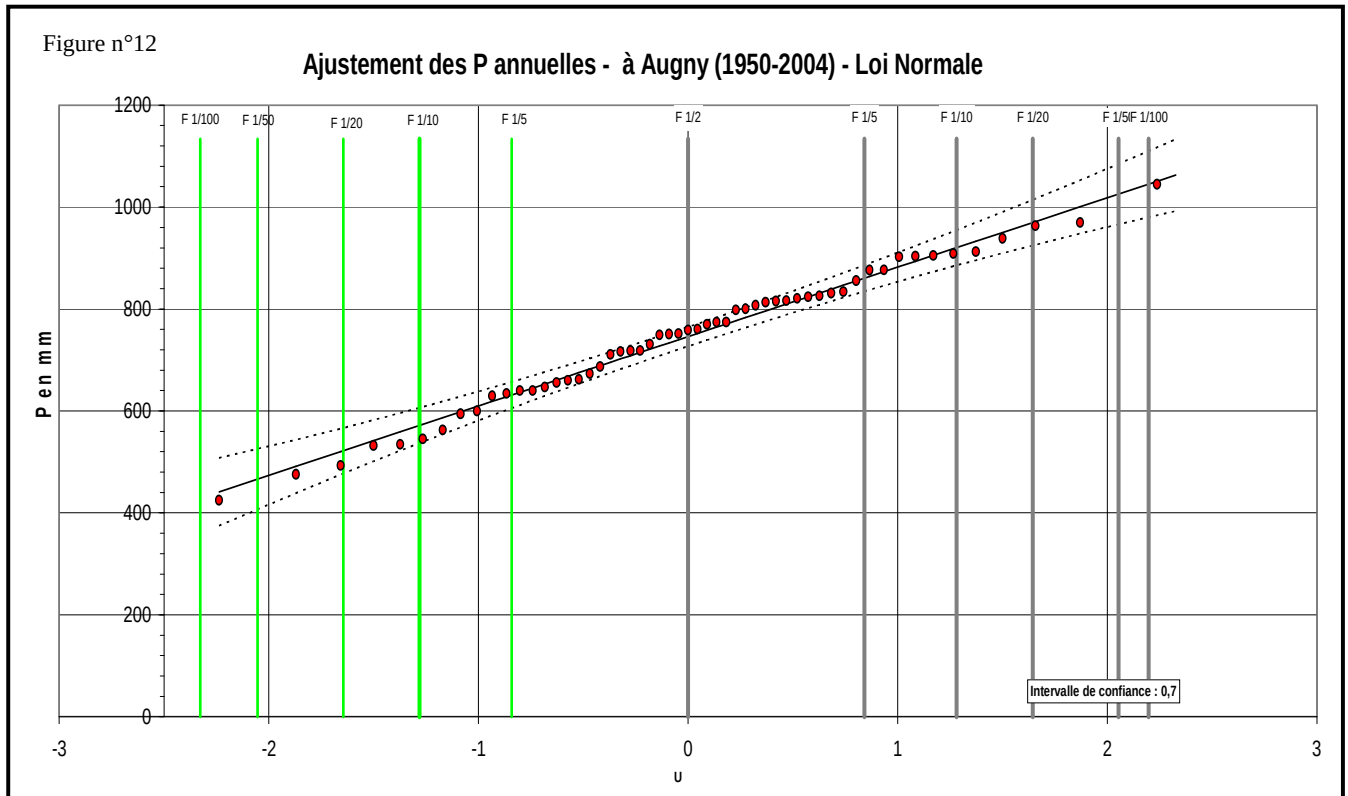
F = (r- 0.3) / (N+ 0.4) Avec : r : le rang de chaque valeur. N : l'effectif de l'échantillon

Les totaux annuels enregistrés sont reportés sur la figure n°12 en fonction des fréquences obtenues. En termes de résultats, l'ajustement linéaire permet de conclure à un type de distribution gaussien.

Tableau n°16: Caractéristiques de l'ajustement des pluies moyennes annuelles de la Seille à Metz 1950 - 2004

	Station de Metz				
	Moyenne	Médiane	Ecart- type	C. variation	C. d'asymétrie
La Seille à Metz	746	759 m3/s	136 m3/s	18 %	-0.24

Figure n°12



On note une bonne distribution des points autour de la droite, y compris les années extrêmes : l'année la plus « sèche » de l'échantillon, 1953, avec 425 mm (vers la gauche) et l'année la plus humide, 1981, avec 1044.6 mm (vers la droite).

1-2 Calcul des périodes de retour

Le calcul de la détermination des fréquences d'apparition des P annuelles fournit des indications intéressantes pour la décision en matière d'aménagement. Le tableau ci-dessous présente les résultats.

Tableau n°17: Les précipitations annuelles fréquentielles de la Seille 1950 - 2004

	« Vers le sec »					1/2	« Vers l'humide »				
Fréquence	**1/100**	**1/50**	**1/20**	**1/10**	**1/5**		**1/5**	**1/10**	**1/20**	**1/50**	**1/100**
Temps de retour	**100 ans**	**50 ans**	**20 ans**	**10 ans**	**5 ans**	**2 ans**	**5 ans**	**10 ans**	**20 ans**	**50 ans**	**100 ans**
La Seille à Metz	**429**	**466**	**521**	**571**	**631**	**746**	**860**	**920**	**970**	**1025**	**1062**

Les résultats obtenus montrent que la moyenne de la période 1950 – 2004 (746 mm) correspond à une fréquence ½. L'écart pluviométrique entre une année humide de fréquence 1/5 et une année sèche de même fréquence atteint 229 mm et il augmente avec les autres fréquences. Pour les valeurs extrêmes de la chronique d'étude, l'année la plus humide 1981 (1044.6 mm) a une durée de retour de 71 ans, ce qui est cohérent ; pour l'année la plus sèche, 1953 (425 mm), le temps de retour serait de 107 ans, mais cette année n'est pas connue des autres stations comme une année extrême... Ce temps de retour et le montant pluviométrique sont donc d'une fiabilité à confirmer.

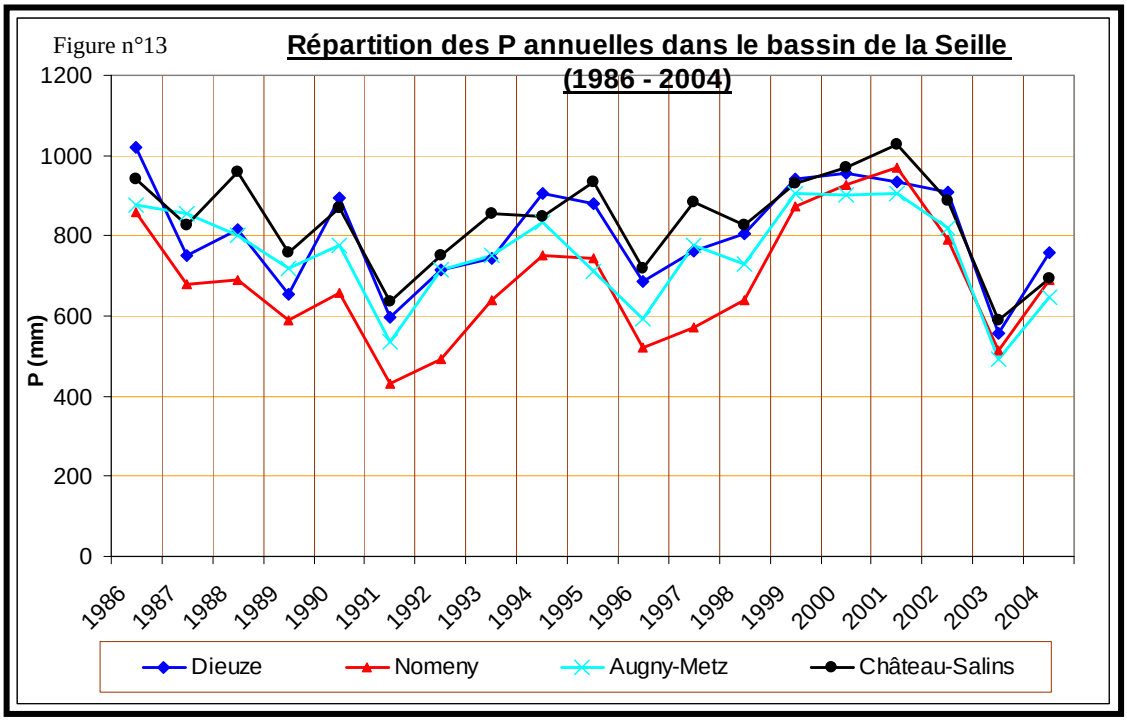
d - Les entrées pluviométriques du bassin 1986 - 2004

L'objectif est d'analyser la variabilité pluviométrique de la série expérimentale 1986 – 2004 et aussi de mettre en évidence la variabilité annuelle. (Tableau n°18 et figure n°13).

Tableau n° 18: Variation des pluies moyennes (1986 - 2004) du bassin versant de la Seille

B.V	**A (Km²)**	**P moyenne (mm)**	**Ecart –type**	**C. de variation**
Metz	1269.3	755	121	16
Dieuze	371	805	129	16
Nomeny	923	686	151	22
Château-Salins	155.8	837	119	14

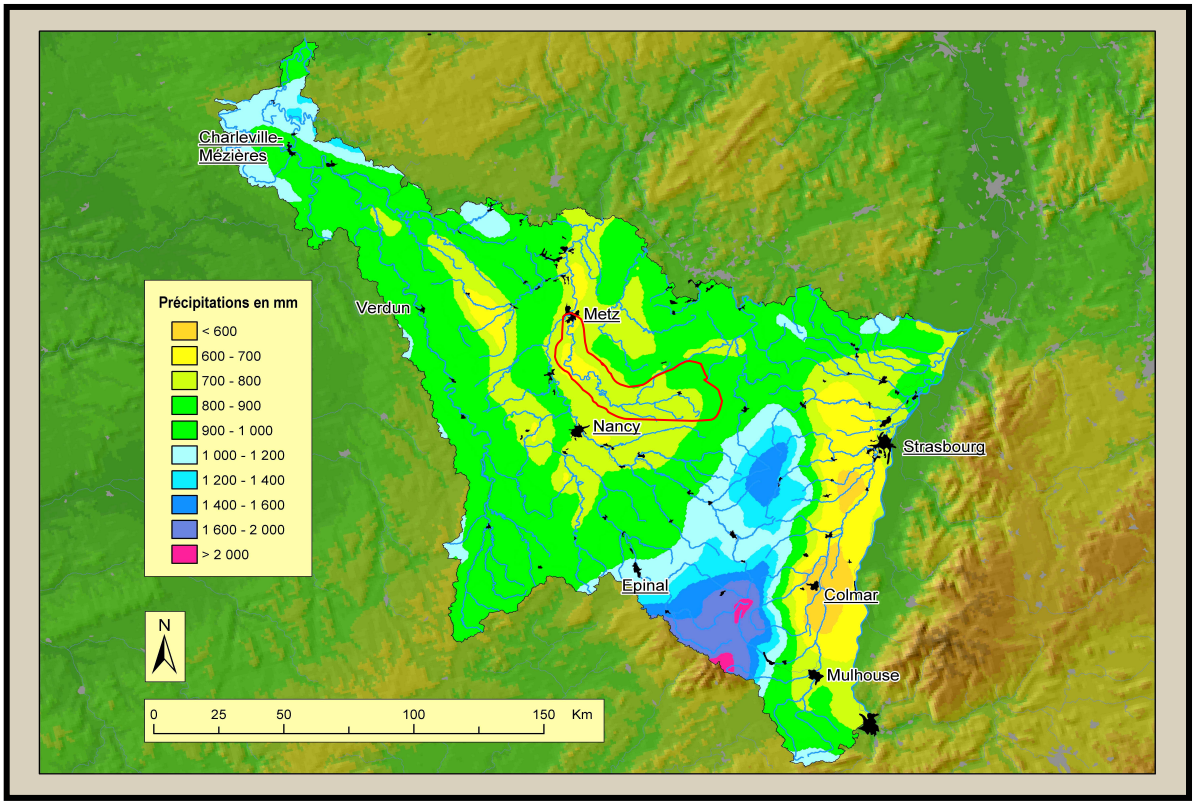
Figure n°13



L'amont du bassin est bien arrosé avec des hauteurs pluviométriques qui dépassent les 800 mm. L'intérieur du bassin avec la station de Nomeny, enregistre les pluies les plus faibles de la série. A l'aval, la station de Metz-Frescaty se positionne avec des hauteurs

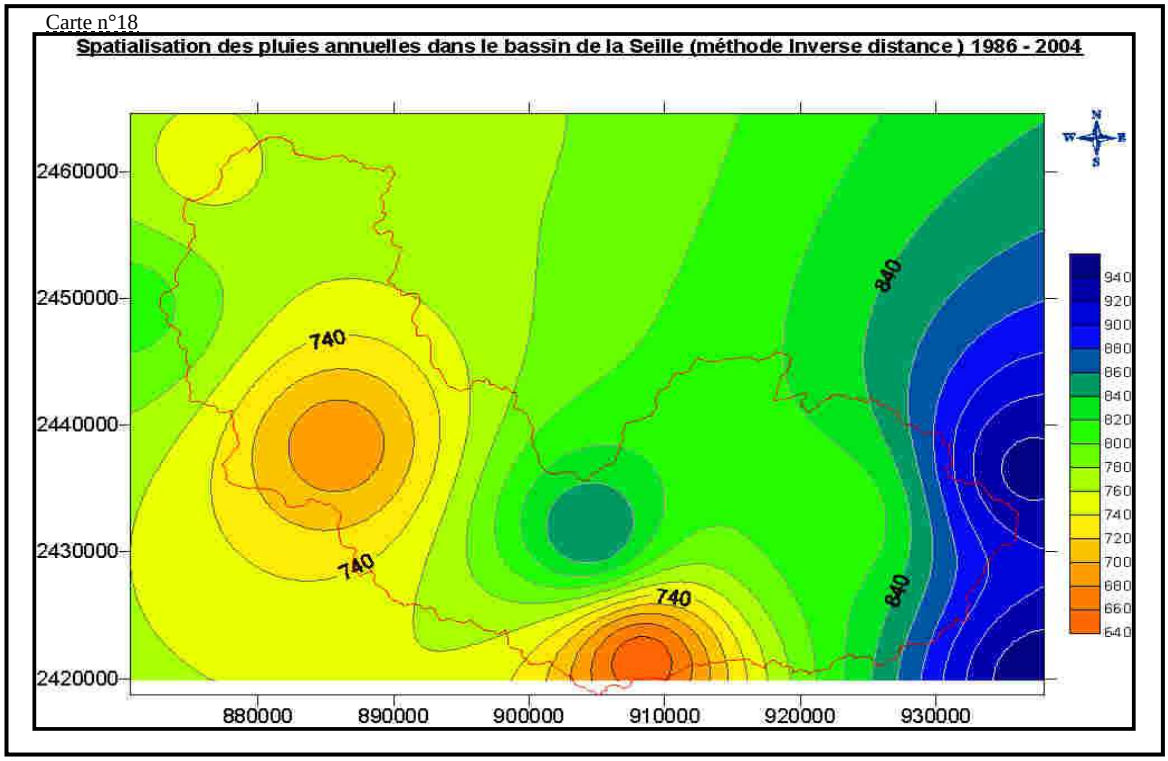
pluviométriques moyennes de 755 mm, très proches de celles de la période 1950 - 2004 (746 mm). Ainsi constate-t-on, à partir de la carte n°17, que le bassin de la Seille correspond à une zone parmi les moins arrosées du Nord Est de la France, située en position d'abri, à l'Est de la cuesta de Moselle et encore assez loin des Vosges pluvieuses.

Carte n°17: Spatialisation des P et localisation du bassin de la Seille dans son contexte régional 1971-1990 (d'après CEGUM)



A l'intérieur du bassin, les P moyennes annuelles ont été spatialisées à partir de la méthode des inverses distances sur le logiciel « Surfer ».

Carte n°18



Cette spatialisation confirme que l'amont du bassin est plus arrosé que l'aval. Le sous-bassin intermédiaire de Nomeny est le moins pluvieux. Nous avons réalisé un tableau qui regroupe différentes périodes, connues par des études antérieures (1924 -1965), ou en cours (1950 - 2004, 1971 - 2004, 1986 - 2004). On constate que les hauteurs pluviométriques connaissent une légère variation.

Tableau n°19 : Chroniques des précipitations annuelles de la Seille 1924- 2004

B.V	P moyenne (mm) 1924-1938 et 1946–1965	P moyenne (mm) 195O- 2004	P moyennes (mm) 1971- 2004	P moyennes (mm) 1986- 2004
Metz	697	746	761	755
Moyen Vic			794	805
Nomeny			774	686
Château-Salins			797	837

En comparant ces résultats à ceux obtenus pour la période 1924 - 1965 (L'Hôte, 1967) on constate que l'écart entre la moyenne de cette période et celle de 1986 - 2004 est de 58 mm. La période 1924-1965 a la même moyenne que la période classée « sèche » 1950-1964 lors de l'analyse par le CUSUM. Ce qui veut dire que le bassin de la Seille semble avoir connu une augmentation pluviométrique non négligeable, avant de connaître une certaine stabilité sur les quelques cinquante dernières années, marquées par une relative régularité de la succession de séquences sèches et humides.

2- La pluviométrie à l'échelle mensuelle

L'objectif de ce chapitre, est d'appréhender les entrées pluviométriques mensuelles dans le bassin, de déterminer les fluctuations du volume des précipitations au cours de l'année. Ces précipitations mensuelles sont nécessaires à la réalisation des bilans hydrologiques. L'analyse s'attache dans un premier lieu à définir les variations pluviométriques des deux périodes retenues. Elle va permettre de déterminer la durée de la période de recharge des réserves qui représentent la ressource hydrologique essentielle pour l'alimentation du réseau hydrographique.

a- Les variations mensuelles de la longue chronique pour la station de Metz (1950-2004)

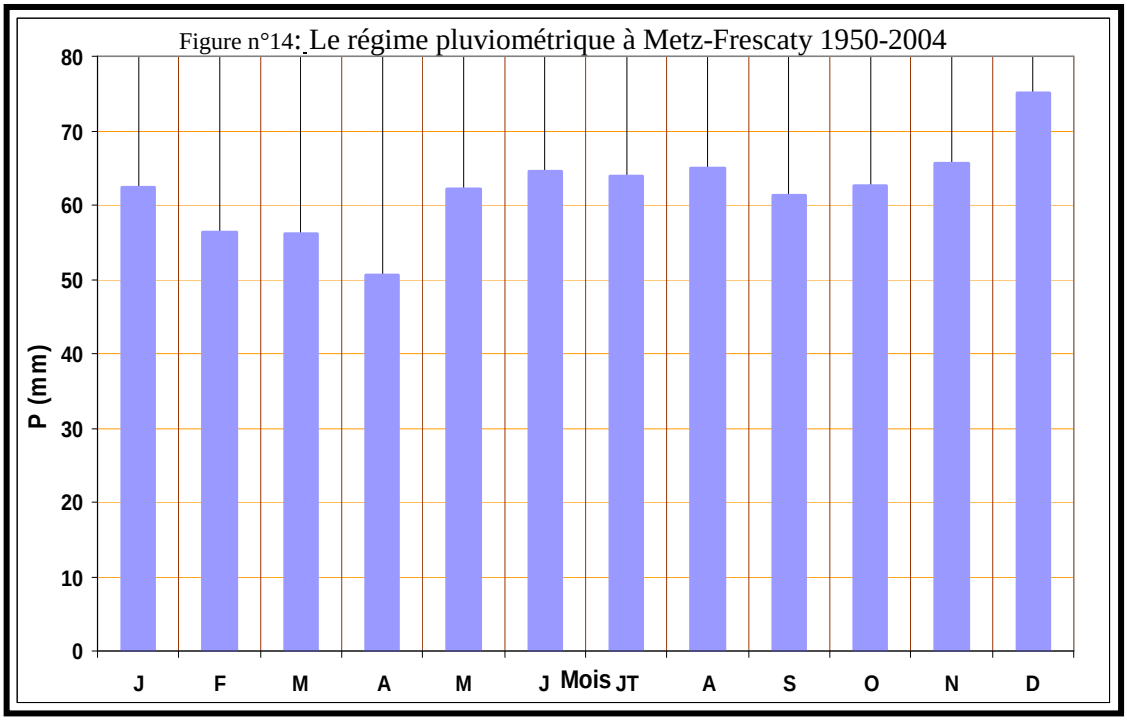
L'analyse des précipitations mensuelles démontre la quasi permanence des précipitations durant l'année, avec une variabilité relativement modérée. Ceci est une caractéristique du climat lorrain, identifié par un régime pluviométrique océanique, susceptible de connaître régulièrement des épisodes météorologiques continentaux (Frécaut, 1983).

Tableau n°20: Précipitations moyennes mensuelles des pluies de la station de Metz (1950 - 2004)

	J	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**JT**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**	**Lame d'eau écoulée**
P (mm)	62	56	56	50	62	65	64	65	61	63	66	75	
Ecart -type	29.5	38.4	32.8	30.9	28.9	35.5	31.8	36.6	33.3	39.8	34.8	44.5	**724**
C. variation %	2.0	1.5	1.7	1.6	2.2	1.9	2.0	1.8	1.9	1.6	1.9	1.7	

La figure n°14, présente les valeurs enregistrées à la station. On note que les mois d'été ont des hauteurs de précipitations plus élevées (juin, juillet et août avec des moyennes qui dépassent les 60mm). Globalement, l'automne est un petit peu plus arrosé (maximum en décembre, 75 mm) et le printemps un peu plus sec (minimum en avril, 50 mm).

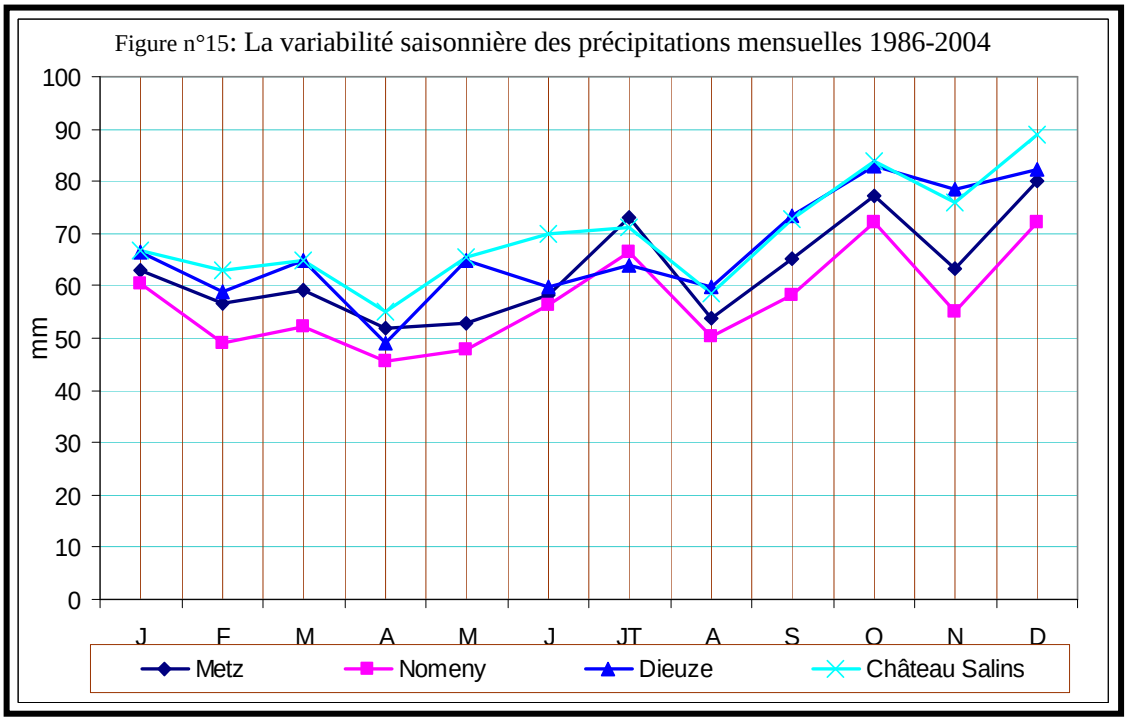
Figure n°14: Le régime pluviométrique à Metz-Frescaty 1950-2004



b- Confirmation de la variabilité pluviométrique saisonnière 1986-2004

Restons dans l'analyse pluviométrique en changeant l'échelle temporelle (1986-2004). Les résultats obtenus semblent donc bien suivre la même tendance climatique observée auparavant : une faible variation mensuelle avec un automne un peu plus pluvieux (et le pic en décembre), le printemps restant légèrement moins arrosé (minimum en avril). Les résultats sont visibles sur le graphique n°15.

Figure n°15: La variabilité saisonnière des précipitations mensuelles 1986-2004



Compte tenu de cette étude, où l'on voit que le bassin reçoit des pluies toute l'année, c'est donc l'évaporation qui va déterminer les différences saisonnières.

c- Estimation de la pluviométrie moyenne dans le bassin de la Seille

Afin de déterminer les hauteurs d'eau précipitées dans chaque sous-bassin Moyen Vic, Nomeny et Château-Salins pour le calcul du bilan hydrologique, nous avons spatialisé les précipitations mensuelles de la période 1986 - 2004.

1-1 Les méthodes d'estimation des pluies

Récemment, plusieurs méthodes de spatialisation des pluies ont été développées. Le progrès rapide est lié à l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) qui sont essentiellement basés sur l'utilisation d'un MNT. Un grand nombre d'auteurs ont proposé diverses méthodes de spatialisation des pluies. Ces méthodes sont « regroupées en trois catégories : les interpolateurs simples, les modèles statistiques et les méthodes géostatistiques multi variées » (Nejjari, 2002). Etant donné que le domaine d'étude est caractérisé par un faible contraste topographique, et que les hauteurs d'eau ne varient par trop, nous avons retenu les méthodes de spatialisation simples. Les méthodes les plus souvent utilisées sont : la méthode du Gradient Pluviométrique, la méthode de Isohyètes et la méthode de Thiessen.

*La méthode du Gradient Pluviométrique : Cette méthode consiste à mettre en relation les volumes précipités avec l'altitude du poste pluviométrique. Nous obtenons un nuage de point, dont les caractéristiques sont exprimées par une droite de régression. Le problème qui se pose pour le bassin de la Seille est que les altitudes ne sont pas assez contrastées pour faire apparaître une tendance. La méthode du gradient pluviométrique ne peut donc apporter aucun résultat.

* La méthode des Isohyètes : « *Une courbe isohyètes est le lieu géométrique des points sur lesquels il est tombé la même hauteur de pluies pendant une période déterminée* » **(**Roche, 1963). L'avantage de la méthode des isohyètes est qu'elle tient compte de la distance et de la pluviométrie de la période considérée (on peut en outre y intégrer les effets du relief). Son inconvénient vient du fait qu'il faut tracer des isohyètes pour chaque période. Néanmoins, mise en œuvre de façon automatique, elle donne des résultats très proches de ceux de Thiessen.

* La méthode de Thiessen (1911) : La méthode de Thiessen est la méthode la plus simple. Elle est définie comme « une méthode arithmétique dans laquelle on attribue à chaque pluviométrie un poids proportionnel à une zone d'influence présumée, tel qu'un point situé dans cette zone soit plus près, en distance horizontale, du pluviomètre correspondant que de toute autre pluviométrie » (Roche, 1963). Pour appliquer cette méthode on suivra (Remenieras, 1986), qui explique : **«** *Au milieu de chacune des droites qui lient les stations, on élève les médiatrices dont les intersections déterminent des polygones. En général, on calcule la surface du polygone élémentaire ainsi affectée à chaque station en 'pour cent' de la surface totale du bassin, c'est ce pourcentage qui sert de coefficient de pondération propre à chaque station* **».**

Dans les régions à faible contraste hypsométrique et quelle que soit la méthode employée, les résultats obtenus dépendent de la bonne application de la méthode retenue, de la fiabilité des mesures et surtout de la densité des stations.

1-2 L'application de la méthode de Thiessen

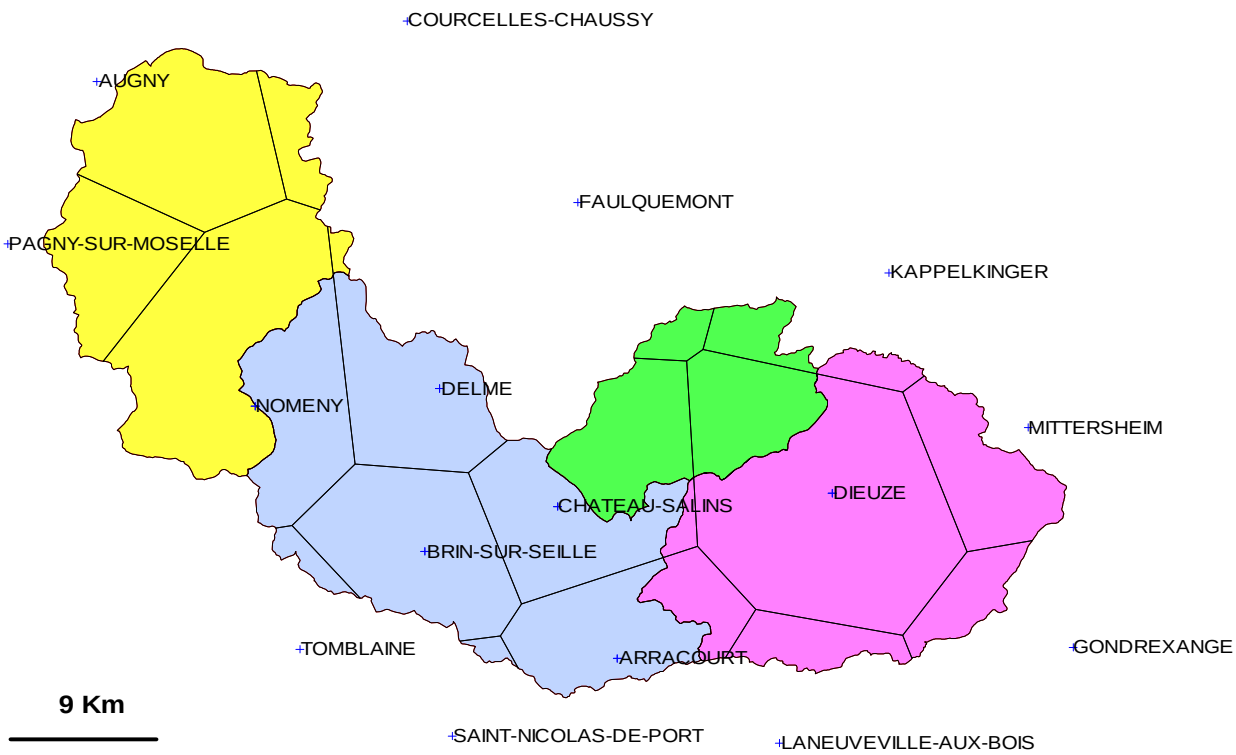
L'application des différentes méthodes de spatialisation donne des résultats presque identiques. Le choix s'est aussi fixé sur la méthode de Thiessen pour estimer la pluie moyenne du bassin car son application peut être réalisée par ordinateur (Logiciel Mapainfo). La carte n°19 présente les résultats de la méthode de Thiessen sur les sous bassins de la Seille ainsi que sur l'ensemble de la Seille. Après avoir calculé la surface des polygones de chaque station (A1), nous avons pu appliquer la formule de Thiessen pour calculer la pluie moyenne du bassin. La formule est la suivante avec :

$$\overline{P} = \frac{P1 * A1 + P2 * A2 .... Pn * An}{S}$$

P : Pluies calculées pour le bassin
P1 : Précipitations du poste
A1 : Surface du polygone
S : Surface totale du bassin

Cette méthode a été appliquée pour la spatialisation des pluies dans le bassin de la Seille pour la période 1986 - 2004.

Carte n°19: **Spatialisation des pluies dans le bassin de la Seille (méthode de Thiessen 1986-2004)**



1-3 La spatialisation des pluies mensuelles 1986 - 2004

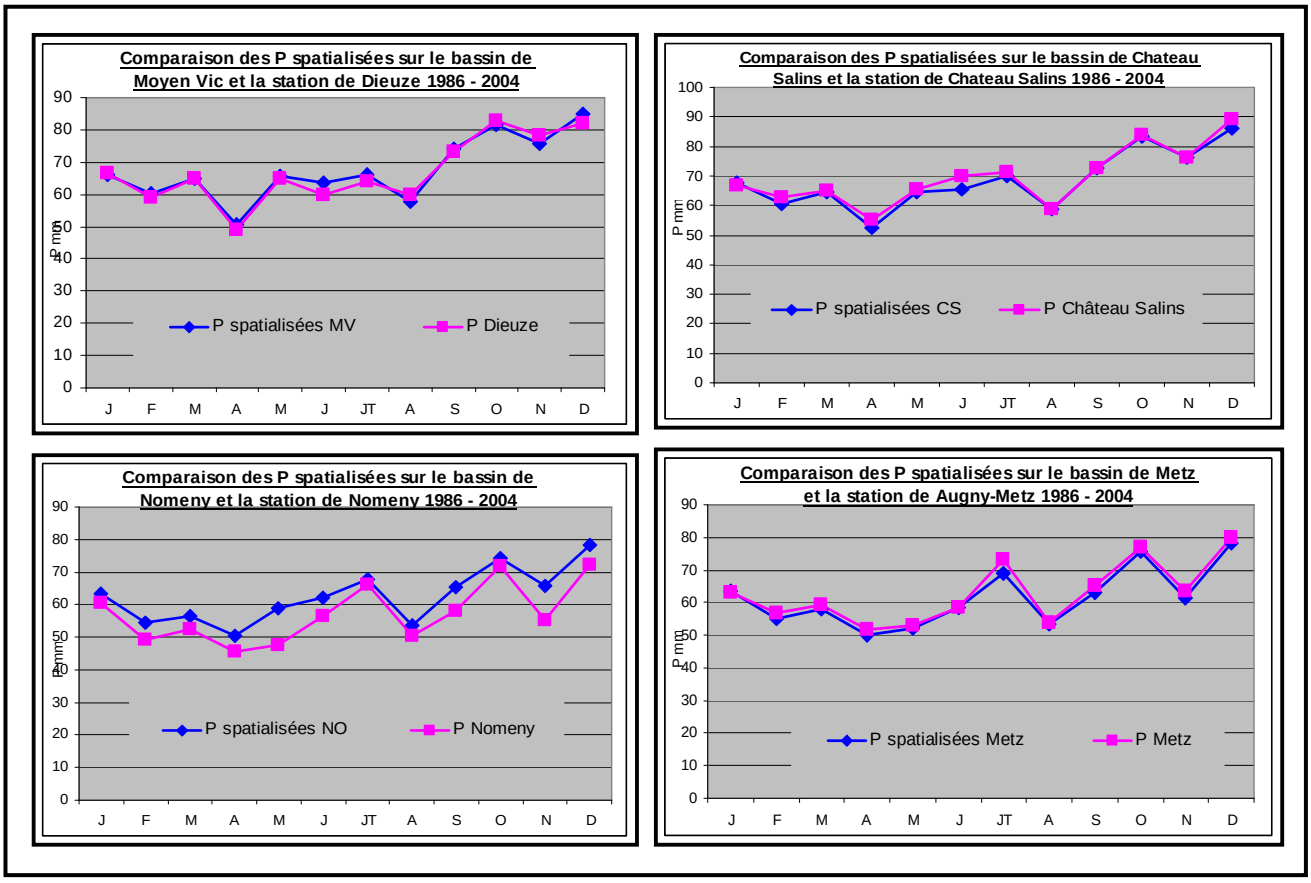
Le tableau contient les résultats des pluies spatialisées dans l'ensemble du bassin de la Seille. Les résultats caractérisés par un faible contraste (tableau n°21) entre les sous bassins, montrent une légère décroissance des précipitations, amont – aval. L'écart le plus élevé entre les bassins versants atteint 85 mm (Château Salins : bassin intermédiaire). Si l'on compare avec les valeurs que proposait (L'Hôte, 1967) dans sa thèse, on note un écart significatif : l'auteur avait estimé, par la méthode des isohyètes, une moyenne de 735 mm pour l'ensemble du bassin versant, en s'appuyant sur une vingtaine d'années d'observation entre 1945 et 1965.

Tableau n°21: Précipitations moyennes mensuelles calculées d'après la méthode de Thiessen 1986 - 2004

	Les Précipitations pondérées 1986 - 2004					
	Sous bassin de Moyen -Vic	Sous bassin de Château-Salins	Bassin intermédiaire de Nomeny	Bassin de Nomeny	Bassin intermédiaire de Metz	L'ensemble du bassin de la Seille à Metz
Surface	**348,9**	**145,5**	**424,4**	**92 3**	**345,5**	**1264.3**
Janvier	66	**68**	**64**	**66**	**64**	**65**
Février	60	**61**	**54**	**59**	**55**	**57**
Mars	65	**65**	**57**	**62**	**58**	**61**
Avril	51	**52**	**50**	**52**	**50**	**51**
Mai	66	**65**	**59**	**63**	**52**	**60**
Juin	64	**66**	**62**	**66**	**58**	**63**
Juillet	66	**70**	**68**	**69**	**69**	**69**
Août	58	**59**	**54**	**58**	**53**	**56**
Septembre	74	**73**	**65**	**71**	**63**	**69**
Octobre	82	**84**	**74**	**81**	**76**	**78**
Novembre	76	**76**	**66**	**73**	**61**	**69**
Décembre	85	**86**	**78**	**84**	**78**	**82**
Total	**812**	**825**	**751**	**804**	**738**	**780**

On retrouve l'augmentation signalée plus haut, de la pluviosité depuis une cinquantaine d'années. On peut affiner cette analyse en comparant ces précipitations mensuelles spatialisées à celles des stations qui se trouvent dans le bassin. Le graphique n°16 résume cette comparaison et montre une très faible différence entre ces précipitations spatialisées et celles des stations. En termes de montant annuel, la différence la plus importante, 118 mm, est constatée à Nomeny, le poste le plus sec du bassin de la Seille (écart de 804 à 686, soit à peu près 15 %), vérifiant l'utilité des précipitations reconstituées par bassin pour l'analyse

Figure n°16: Comparaison des pluies spatialisées et des pluies des stations 1986-2004



hydrologique.

On retient que globalement, les stations pluviométriques retenues dans l'analyse pluviométrique restent représentatives du bassin de la Seille.

Conclusion : D'après les résultats obtenus, les précipitations dans le bassin de la Seille sont caractérisées par une variabilité spatio-temporelle modérée. A propos de la variabilité spatiale, le domaine d'étude est situé dans un contexte climatique homogène. Il bénéficie de précipitations moyennes comprises entre 738 mm et 823 mm. La partie amont du bassin est plus arrosée que la partie aval, tandis que la partie médiane (bassin intermédiaire de Nomeny) est la partie la plus sèche. A l'échelle temporelle, les précipitations annuelles peuvent varier assez fortement d'une année à l'autre. Au niveau saisonnier, le domaine d'étude reçoit des précipitations durant toute l'année, ne laissant apparaître qu'un automne plus pluvieux et un printemps un peu moins arrosé.

3- Les variations de températures dans le bassin de la Seille

La température influence l'écoulement à travers l'ETP qui va réellement dessiner les caractéristiques saisonnières hydrologiques. Afin de déterminer le régime de température de la Seille nous avons mené une analyse à l'échelle annuelle et à l'échelle mensuelle pour les deux stations de Metz et Château-Salins. La démarche adoptée comprend deux étapes : la première est l'analyse des données de la longue chronique (1945 - 2004) de la station de référence (Metz), le but est d'identifier les tendances thermiques générales du bassin de la Seille ; la deuxième étape concerne l'analyse de la série expérimentale à partir des deux stations du bassin (Metz et Château-Salins) pour une période d'étude de 19 ans (1986 - 2004). L'objectif est de replacer cette série expérimentale dans la longue chronique pour tester son homogénéité d'une part, et d'autre part pour repérer les variations du régime dans le temps.

a- La température à l'échelle annuelle

D'une année à l'autre les températures annuelles du bassin de la Seille connaissent une faible variabilité. La moyenne annuelle de la chronique est de 10,18°C.

Tableau n°22: Températures moyennes mensuelles de la station de Metz 1945 - 2004

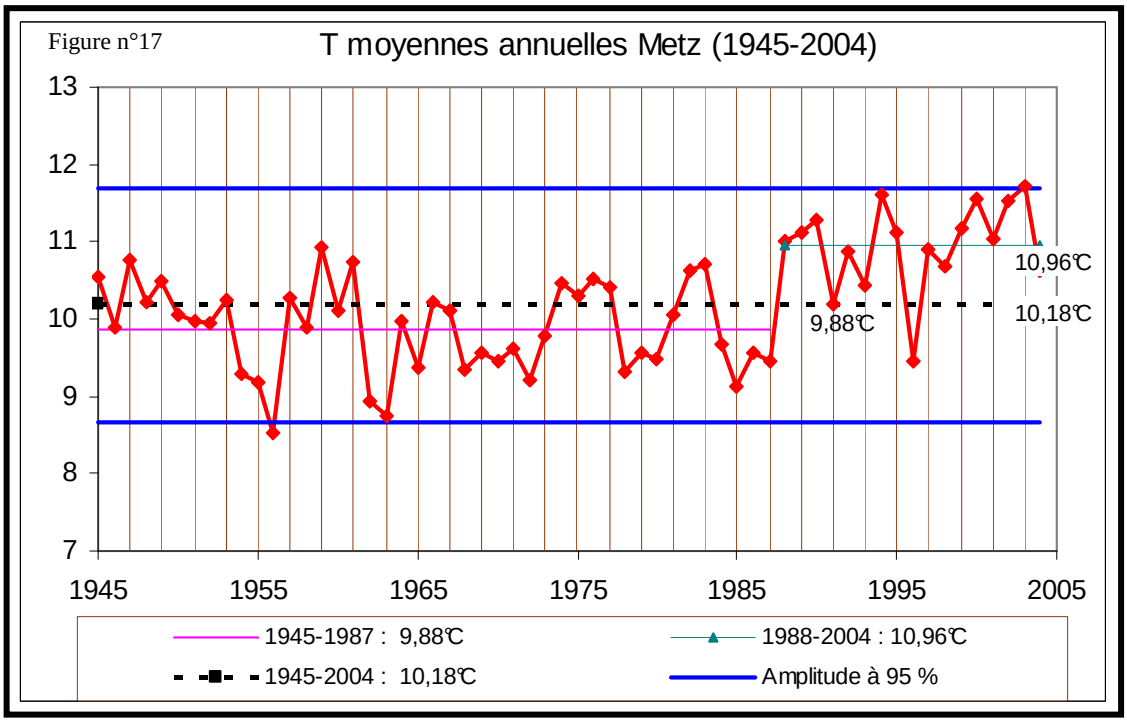
Station	**T moyenne °C**	**Ecart - type**	**Coefficient de variation**
METZ	10,18	0,76	7,4 %

L'analyse de la chronique thermique par rapport à la moyenne révèle que sur les 60 années étudiées, la plupart des années supérieures à la moyenne sont des années récentes : comme le montre le graphique, en effet, sur les 17 dernières années, seule l'année 1996 est inférieure à la moyenne. Il est donc, intéressant d'appliquer la méthode de CUSUM à cette chronique où se distinguent finalement deux périodes très bien identifiées.

Tableau n°23: Découpage de la chronique des températures 1945 - 2004 en périodes homogènes

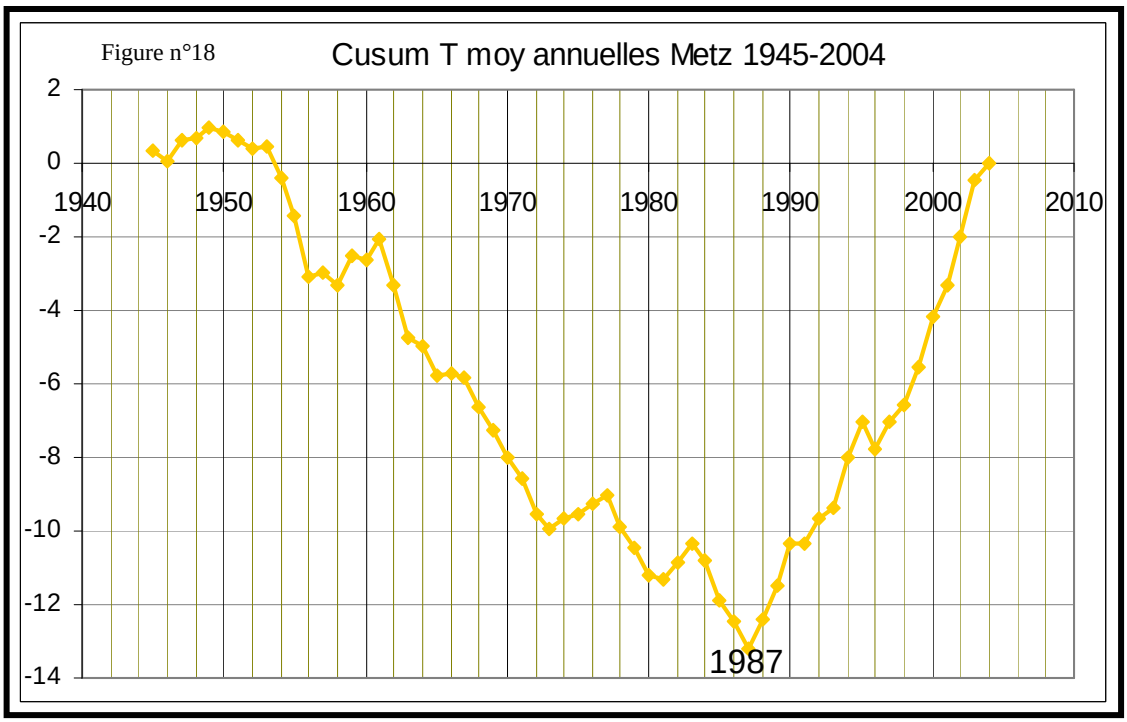
Période	Moyenne °C	Ecart – type	Nombre d'années	Diagnostic
1945 - 2004	10,18	0,76	60	Série hétérogène
1945 - 1987	9,88	0,58	43	Sous-série froide homogène
1988 - 2004	10,96	0,57	17	Sous-série chaude homogène

Figure n°17



Les deux sous-séries montrent grossièrement un écart d'un 1,1 °C, ce qui est important pour les températures annuelles, notamment au regard de l'amplitude de la chronique à 95 % ($\pm 2\sigma$) qui est de 3,0 °C (et 2,3°C seulement pour l'amplitude des 2 sous-séries). Il est intéressant de constater que le réchauffement climatique planétaire dont on se préoccupe tant actuellement semble se traduire en Lorraine par un brutal saut de moyennes et non par une tendance. Le CUSUM de températures permet de situer la chronique 1986 - 2004 par rapport à la longue chronique 1945 - 2004 : bien que la série expérimentale 1986 - 2004 contienne des années très contrastées (exemple : 1986 et 2003), elle est significativement différente de la chronique précédente puisque elle correspond presque exclusivement à la sous-série chaude 1988 - 2004. L'approche hydrologique sur 1986 - 2004 (à cause de l'ETP) ne peut donc être considérée comme représentative de la période antérieure.

Figure n°18



b- Les tendances générales de la période (1986 - 2004)

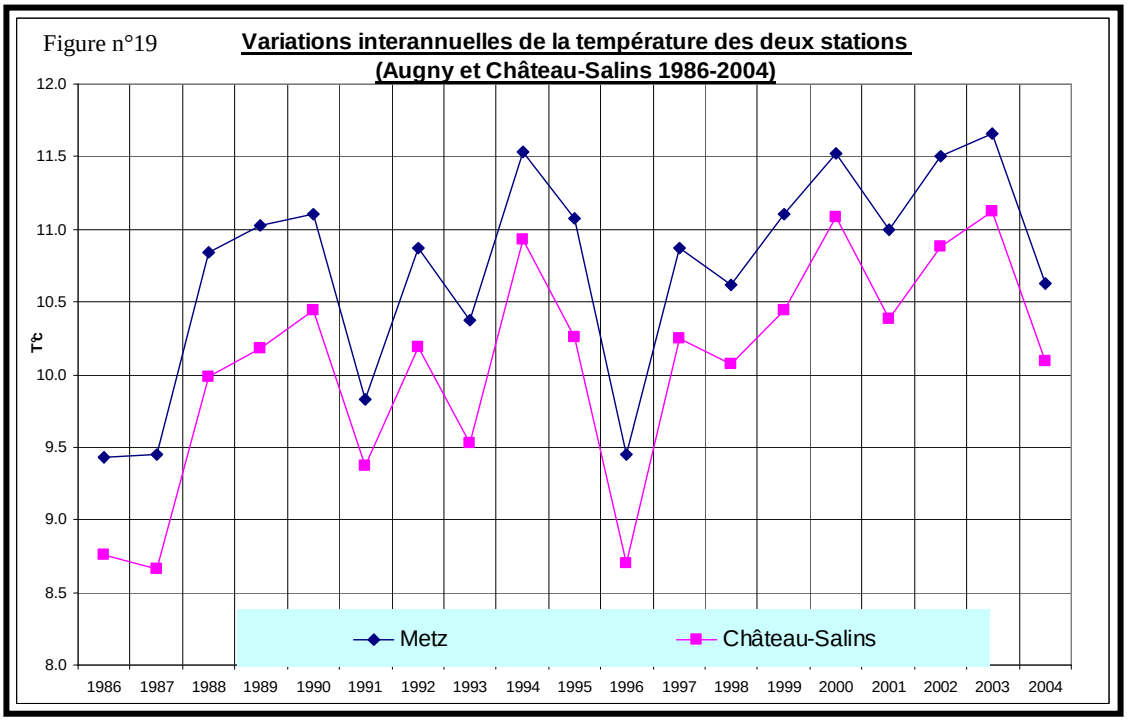
La moyenne annuelle de la station de Metz est de 10,81°C tandis ce que la moyenne de Château-Salins est de 10,07 °C

Tableau n° 24 : Variation des températures moyennes (1986 - 2004) de la station de Metz

Station	Température moyenne	Ecart -type	Coefficient de variation %
Metz	10,81	0,70	6,5
Château-Salins	10,07	0,76	7,5

Sur les 19 années d'observations, ces valeurs sont fortement variables (2,7 et 2,5 °C d'écart entre les années extrêmes 1987 et 2003)

Figure n°19



Les températures moyennes sont plus variables d'une année à l'autre et peu variables d'une station à l'autre avec un écart constant de moins de 1°C.

Tableau n°25: Températures annuelles moyennes pour différentes chroniques

Station	1891 -1950 (L'Hôte 1967)	1951-2004	1945-1987	1986- 2004
Metz	9,8	10,17	9,88	10,81
Château-Salins	9,7	-	-	10,07

En résumé de l'aperçu thermique annuel du bassin de la Seille, nous avons cherché dans la bibliographie les anciennes études réalisées sur la Seille afin de déterminer l'évolution thermique dans le bassin. Il semble que ces résultats confirment une montée des températures depuis 1891, (L'Hôte, 1967), jusqu'en 2004. En tenant compte de cette évolution on constate que l'écart entre la moyenne de la période 1891 - 1950 et celui de 1986 - 2004 indique une augmentation thermique de 1°C. On note aussi une faible variabilité spatiale entre les deux stations de Metz et Château-Salins.

c - Le régime mensuel de températures

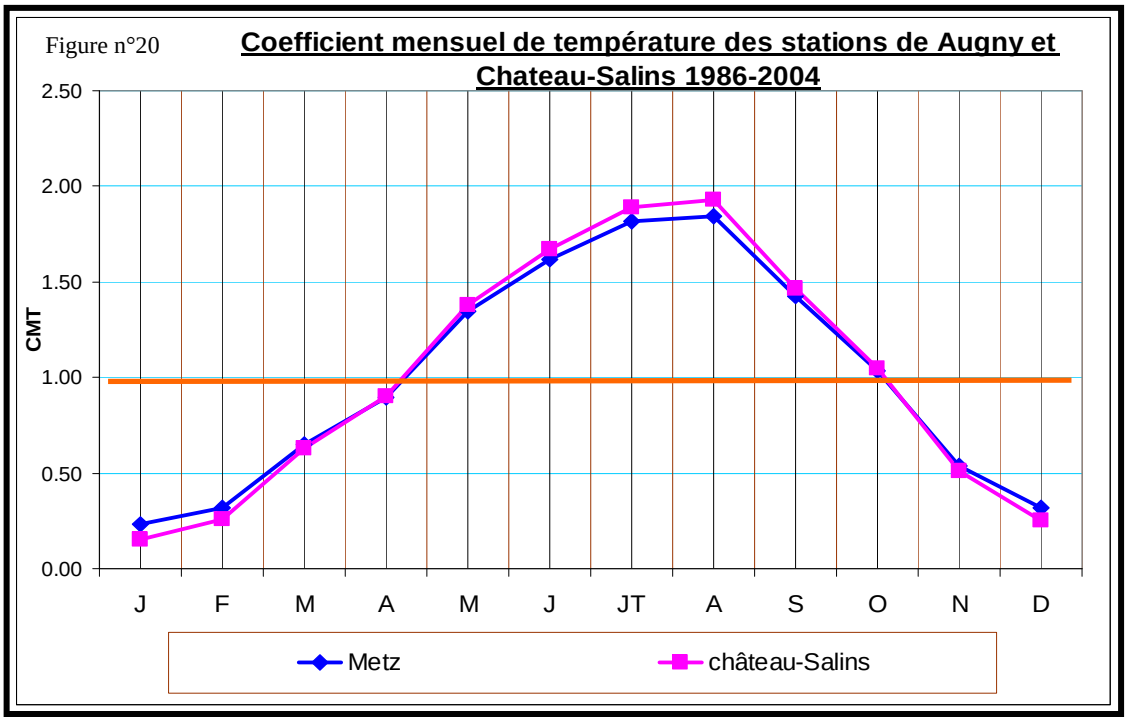
L'intérêt de ce chapitre est de connaître le facteur thermique de l'ETP. A l'échelle mensuelle, les températures connaissent le contraste saisonnier des stations du climat océanique avec, cependant, une variabilité accrue des mois d'hiver (janvier et février, écart-type plus fort de 50 à 70%), en raison d'influences continentales sensibles.

Tableau n° 26 : Températures moyennes mensuelles et leurs variabilités à Metz

	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	M.A
T moyenne 1945-2004	**1.5**	**2.9**	**6.3**	**9.5**	**13.6**	**16.8**	**18.8**	**18.5**	**15.2**	**10.5**	**5.5**	**2.7**	10.18
Ecart-type	2.4	2.9	1.8	1.4	1.5	1.4	1.7	1.5	1.5	1.4	1.6	1.9	0.8
T moyenne 1986-2004	2.1	3.2	6.5	9.3	13.8	16.9	19.1	19.0	15.1	10.6	5.5	3.2	10.3
Ecart-type	2.4	2.4	1.8	1.1	1.5	1.5	1.7	1.6	1.5	1.4	1.8	1.6	0.8

A la station de Metz l'amplitude thermique moyenne annuelle est de 17 °C (2,1°C en janvier et de 19.1°C en juillet). Cela confirme l'influence continentale du climat Lorrain. Ces valeurs de températures conservent les mêmes caractères constatés dans la période (1986 - 2004). La représentation graphique des températures moyennes mensuelles (graphique n°20), montre un parallélisme des températures aux deux stations pour la période 1986 - 2004.

Figure n°20



On peut pratiquer un découpage saisonnier des températures mensuelles : sur le graphique, les valeurs nettement supérieures à 1 représentent la saison chaude, tandis que les valeurs proches ou inférieures à 1 représentent la saison froide.

La saison froide : Cette saison démarre au mois d'octobre jusqu'au mois de mars. Le mois d'avril reste le mois le plus froid dans la région avec 2,4°C pour la station de Château-Salins et 2,1°C pour la station de Metz. Cette période permet parfois une transformation de l'eau de la forme liquide à la forme solide, ce qui permet d'avoir une imperméabilisation du sol par le gel.

La saison chaude : Au cours de cette période de 5 mois, la montée des températures (jusqu'à peu près 20°C) favorise la transpiration des végétaux et l'évaporation et crée un déficit en eau. Par rapport à notre objectif « la dynamique fluviale » l'érosion restera peu importante et pourra se manifester exceptionnellement lors des pluies orageuses.

4 - L'évapotranspiration dans le bassin de la Seille

L'ETP représente la quantité totale d'eau évaporée. Ce terme regroupe l'évapotranspiration physique (du sol, de la surface d'eau…) et la transpiration des végétaux. Comme nous l'avons vu précédemment le bassin de la Seille reçoit des précipitations durant toute l'année. Mais toute cette eau n'est pas utilisable puisque une partie est prélevée par l'ETP. L'estimation de l'ETP constitue le travail préalable au calcul du bilan hydrologique.

a- Les formules de calcul retenues

Parmi les nombreuses méthodes de calcul de l'ETP, la plus couramment utilisée est la méthode de (Penman, 1948), mais elle nécessite des données dont nous ne disposons pas. C'est la raison pour laquelle nous avons cherché dans la bibliographie d'autres méthodes simples. Nous en avons sélectionné quelques unes :

$$ETP = 16\ (10\ \frac{t}{I})^{a}.K$$

- Formule de Thorntwaite :

ETP : évaporation mensuelle en mm
t : températures moyennes mensuelles
I : indice thermique annuel qui est la somme des douze valeurs mensuelles de i
Ainsi

$$I = \sum_{12=1}^{i=1} \quad \text{avec} \quad i = (0.2t\ ^{\circ}c)^{1.514}$$

$$a = 6.75.10^{-7}.I^3 - 7.71.10^{-5}.I^2 + 1.79.10^{-2}\,I + 0.49$$

Figure n°27: K coefficient de correction qui est fonction de la latitude du lieu

MOIS	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
K	0.75	0.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.06	0.93	0.76	0.71

- La formule de Linacre (1977) :

$$ETP = \left[(500 - Tm).(100 - A)^{-1} + 15.(T - Td)\right].(80 - T)^{-1}$$

Avec
Tm : température au niveau de la mer (°c)
T : température du site (°c)
Td : point de rosée (°c)
A : latitude (°)

- La formule de Hargreaves - Samani (1985) :

$$ETP = \frac{0.549\ .Ig.\left[(T\max - T\min)^{1/2}\right](Tmoy + 17.8)}{23.88.(595 - 0.51.Tmoy)}$$

Avec Ig : radiation solaire (cal/cm²/mois)
T max. : températures maximales (°c)
T min. : températures minimales (°c)

T moy : températures moyennes (°c)

- La formule de Turc (1961)

$$ETP = K.(\frac{T}{T+15})(Ig+50)(1+\frac{0.5-HR}{0.7})$$

Uniquement pour le climat sec N.B : $(1+\frac{0.5-HR}{0.7})$

Avec ETP : évaporation potentielle en mm
HR : humidité relative
T : températures moyennes du mois

$$Ig = Iga(0.18+0.62\frac{h}{H})$$

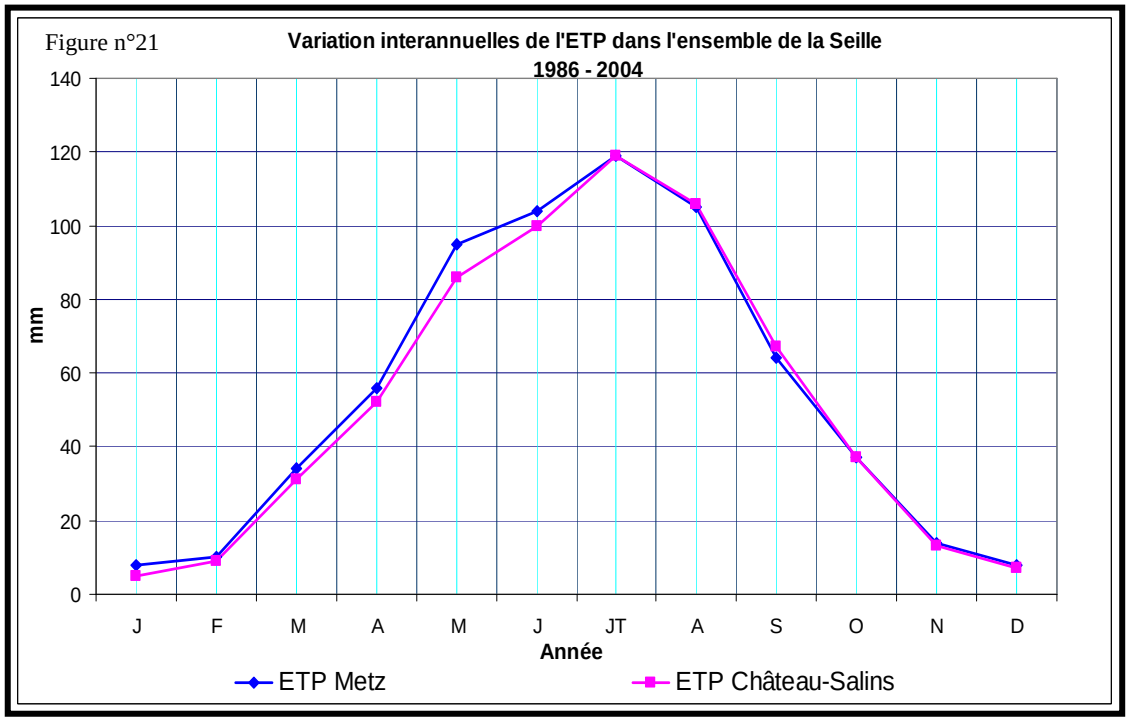
Ig : estimation du rayonnement solaire global à partir de la fraction d'insolation h / H
h : insolation mensuelle observée
H : insolation maximale possible dans le mois
Iga : rayonnement moyen journalier pour un mois civil en cal/cm²/j (latitude)

Toutes les méthodes qui ont été présentées nécessitent des données dont nous ne disposons pas. C'est la raison pour laquelle nous avons calculé l'ETP selon deux méthodes : Thorntwainte et Turc. La comparaison des résultats a permis de retenir la méthode de Turc, qui a l'avantage de tenir également compte du rayonnement solaire et nous l'utiliserons pour la période 1986 - 2004. Autre avantage c'est que cette méthode a été par ailleurs testée dans d'autres études hydrologiques du CEGUM (1999) et donne généralement des résultats satisfaisants.

b -Les variations de l'ETP selon Turc pour la période 1986 - 2004

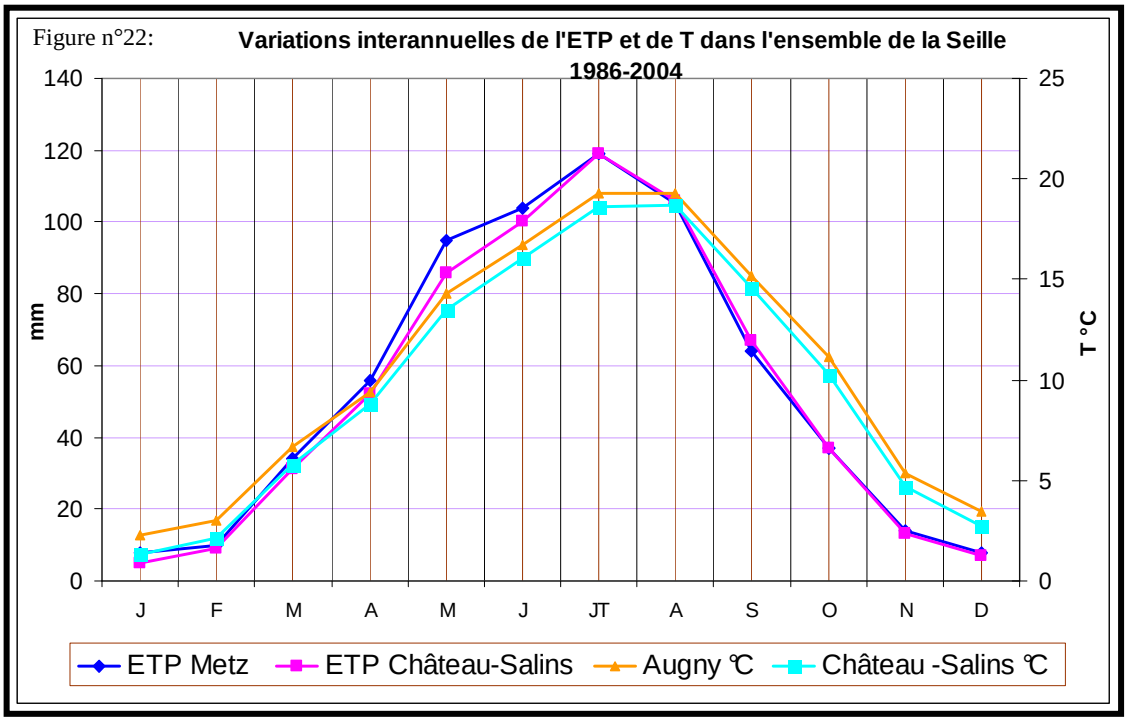
Comme pour les températures, les moyennes annuelles de l'ETP connaissent elles aussi une irrégularité interannuelle avec des valeurs comprises entre 720 mm en 2003 et 560 mm en 1987.

Figure n°21



Sur 19 ans d'observations les valeurs de l'ETP sont variables, d'une année à l'autre et peu variables d'une station à l'autre. A l'échelle mensuelle la variabilité des ETP décrit un rythme saisonnier à l'image des températures. Nous essayons alors un découpage saisonnier par le biais de l'ETP.

Figure n°22:



La saison hivernale qui s'étend d'octobre jusqu'en avril est dominée par une maigre évapotranspiration (167 mm pour la station de Metz et 154 mm pour la station de Château-Salins), la saison estivale qui contient seulement 5 mois, de mai à septembre, est caractérisée par une forte évapotranspiration (487 mm à Metz et 478 mm à Château-Salins).

5 – Le bilan hydrique du bassin de la Seille

Une approche simple du bilan hydrique permet de préciser l'organisation moyenne de l'année en terme de disponibilité en eau. Ce bilan procède par la comparaison mensuelle des précipitations et de l'ETP. Les calculs ont été faits sur l'ensemble du bassin à Metz et pour le sous bassin de Château-Salins.

a - Les paramètres du bilan

Ce bilan nécessite trois types de données : - Les précipitations correspondent aux moyennes mensuelles spatialisées de la période d'étude 1986 - 2004. - Les ETP sont les moyennes mensuelles de la période d'étude 1986-2004. Ces données sont calculées par la méthode de Turc à partir des températures moyennes mensuelles de deux sites : Augny et Château-Salins.

b - Les résultats du bilan hydrique

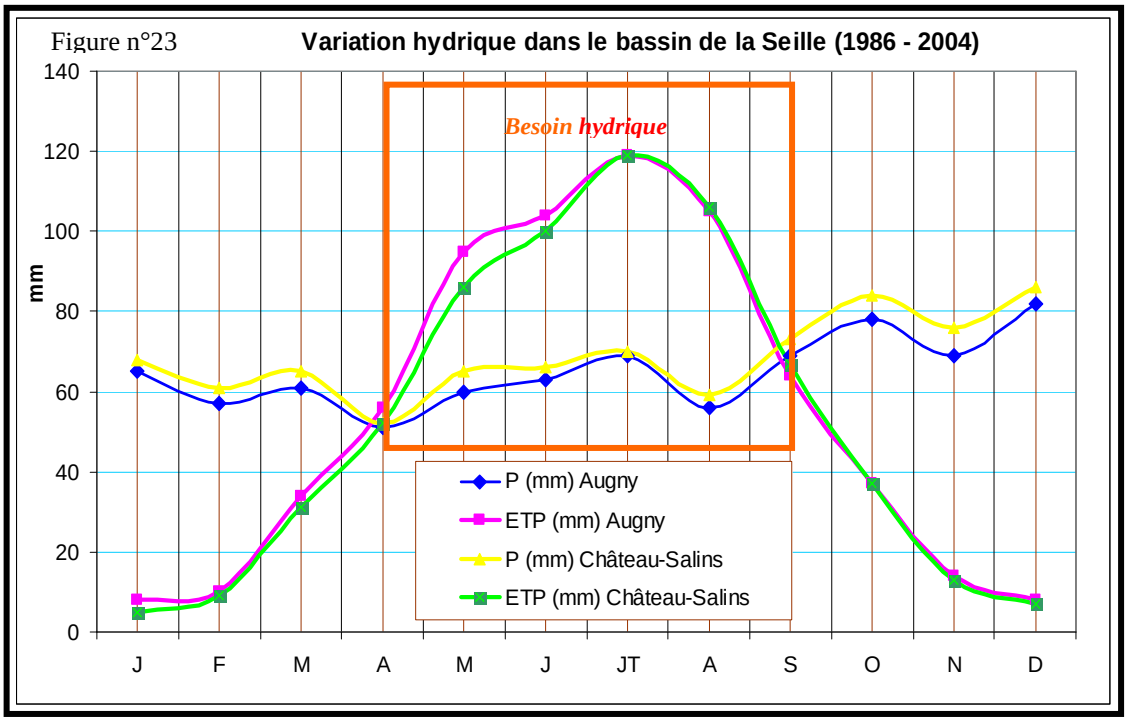
A l'échelle annuelle, les précipitations sont supérieures à l'ETP que se soit dans le sous bassin de Château-Salins ou sur l'ensemble du bassin. L'ensemble du bassin reçoit 780 mm et le sous bassin de Château-Salins reçoit 825 mm, tandis que la lame d'eau évapo-transpirée est de 632 mm à Château-Salins et 656 mm pour l'ensemble du bassin. L'écoulement théorique (P - ETP) serait donc de 126 mm sur l'ensemble du bassin et de 193 mm à Château-Salins.

Tableau n°28: Les résultats du bilan hydrique (1986 - 2004)

		J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moy		
Le bassin de la Seille	P (mm)	**65**	**57**	**61**	**51**	**60**	**63**	**69**	**56**	**69**	**78**	**69**	**82**	**780**		
	ETP (mm)	**8**	**10**	**34**	**56**	**95**	**104**	**119**	**105**	**64**	**37**	**14**	**8**	**654**		
	P- ET	57	47	27	-5	-35	-41	-50	-49	5	41	55	74	126	**Besoin - 180**	**Surplus 306**
Sous bassin de Château-Salins	P (mm)	**68**	**61**	**65**	**52**	**65**	**66**	**70**	**59**	**73**	**84**	**76**	**86**	**825**		
	ETP (mm)	5	9	31	52	86	100	119	106	67	37	13	7	**632**		
	P-ETP	63	52	34	0	-21	-34	-49	-47	6	47	63	79	193	**Besoin - 151**	**Surplus 344**

A l'échelle mensuelle, on retrouve les deux saisons d'ETP – Température dans les deux périodes hydriques de l'année : une période de surplus et une période de déficit.

Figure n°23 **Variation hydrique dans le bassin de la Seille (1986 - 2004)**



La période de surplus hydrique : pendant cette période les valeurs de l'ETP sont inférieures à celles des précipitations, ce qui donne un excédent hydrique théorique de 306 mm pour l'ensemble du bassin et de 344 mm pour Château-Salins. Cette période de surplus qui dure environ 7 mois autorise l'alimentation du cours d'eau et le remplissage des nappes (stockage). La période de déficit hydrique est plus courte et s'étend sur cinq mois pour les deux bassins. On enregistre un déficit théorique d'environ 180 mm pour l'ensemble du bassin, et de 151 mm pour le sous bassin de Château-Salins. Le maximum de déficit hydrique est enregistré au mois juillet avec 49 mm pour Château-Salins et 50 mm pour l'ensemble du bassin.

Conclusion : A la vue de cette analyse, nous pouvons dire que le bassin de la Seille est soumis à un climat de type océanique avec des températures globalement douces et des précipitations moyennes annuelles de 785 mm pour l'ensemble du bassin. A l'échelle mensuelle, quelle que soit la chronique prise en compte, l'année est marquée par deux saisons thermiques, que l'on retrouve au niveau hydrique : la saison hivernale est caractérisée par une faible évaporation, donnant un surplus disponible pour l'écoulement ou la recharge des nappes et une saison

estivale où la forte évaporation provoque un déficit hydrique. Ces deux saisons sont forcément différentes au niveau dynamique :

- la saison hivernale : l'agressivité relative du climat au niveau de la morphogenèse est importante, le sol est saturé et l'écoulement peut alors être abondant ;
- la saison estivale : le potentiel hydrique est faible mais la dynamique érosive n'est pas totalement exclue en raison de l'éventualité de pluies d'orage intenses.

III- Les modalités d'écoulement dans le bassin de la Seille

Comme nous l'avons vu précédemment, l'étude du contexte structural a montré que le bassin de la Seille est quasiment imperméable (73,4 % pour les roches imperméables, et 21,2% pour les roches semi – perméables). Par ailleurs, l'étude pluviométrique a démontré la faible variabilité des précipitations dans le bassin d'une année à l'autre ainsi que d'une station à l'autre. Ainsi l'évapotranspiration reste l'élément primordial de différenciation de l'écoulement au cours de l'année. L'équation climatique P - ETP présente la lame d'eau disponible pour l'écoulement directement vers le cours d'eau, et plus rarement indirectement par les nappes souterraines (bassin quasiment imperméable) (Lambert, 1996). Les données hydrométriques des quatre stations du bassin de la Seille (Moyen Vic, Château-Salins, Nomeny et Metz) feront l'objet d'une étude analytique pour déterminer la quantité d'eau qui circule dans le cours d'eau puis de déterminer le comportement hydrologique à différentes échelles de temps. A cet effet nous élaborerons un bilan hydrologique pour quantifier les capacités de rétentions souterraines et pour déterminer la ressource en eau.

1- L'influence de la vidange de l'étang du Lindre sur les écoulements de la Seille

Les différents gestionnaires du Domaine du Lindre n'ont pas archivé les dates précises des vidanges de l'étang. En général, les vidanges interviennent début du mois de septembre et s'achèvent à la mi-novembre.

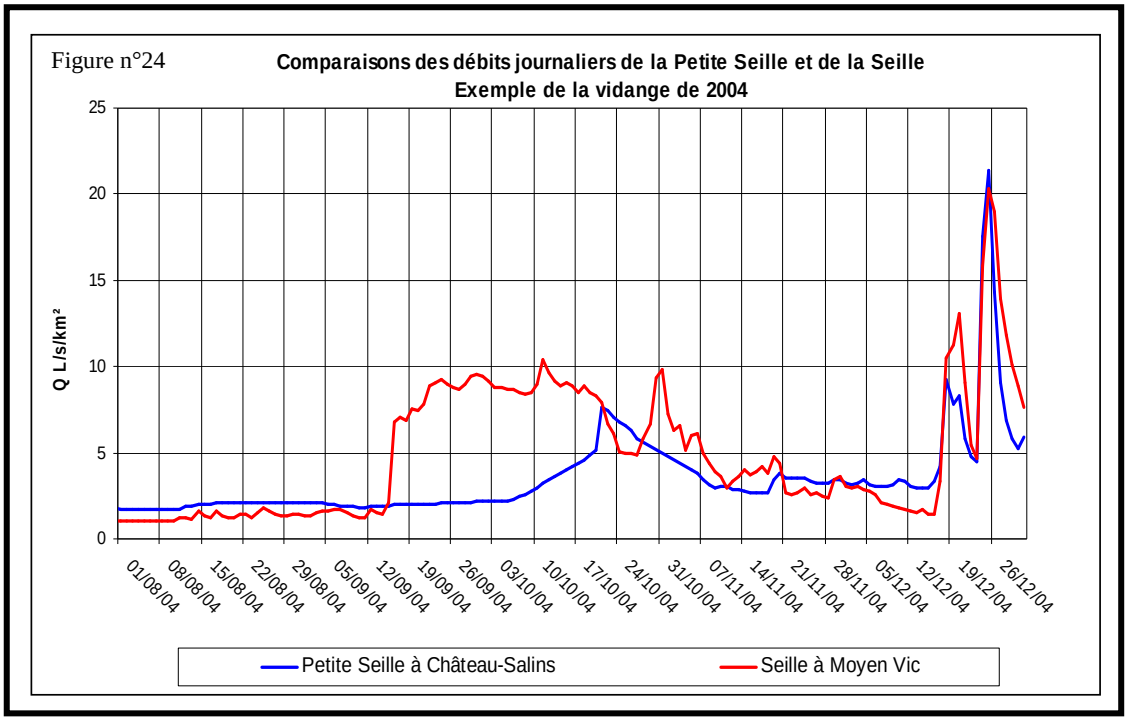
Tableau n°29: Vidange du Lindre 1969 - 2004

Année	Date de vidange
1969	1 octobre – 19 novembre
1972	1 octobre – 12 novembre
1975	1 octobre – 15 novembre
1978	30 septembre – 21novembre
1980	2 octobre – 10 novembre
1982	30 septembre – 24novembre
1984	1 octobre – 8 novembre
1986	1 octobre – 27 novembre
1987	29 août – 20 novembre
1990	29 août – 13 novembre
1992	22 août – 15 novembre
1993	26 septembre – 20novembre
1994	26 août – 8 novembre
1995	5 septembre – 19novembre
1996	30 septembre – 12novembre
1997	31 août – 5 novembre
1998	10 septembre – 24novembre
1999	1 septembre – 16novembre
2000	2 septembre – 10novembre
2001	1 septembre – 6novembre

2002	3 septembre – 2novembre
2003	2 octobre – 6 novembre
2004	15 septembre – 21novembre

Dans son travail, (Grysan, 1999) propose une méthode pour estimer les dates de vidanges et les volumes vidangés. Il compare les débits spécifiques de la station de la Petite Seille (Château-Salins) à ceux de la station située en aval du l'étang du Lindre (Moyen-Vic). Il considère qu'une vidange de l'étang est effectuée lorsque le débit spécifique de Moyen-Vic est supérieur à celui de Château-Salins entre le mois d'août et le mois décembre. Sa chronique de vidanges couvre la période 1969-1997 et nous l'avons complétée par la même méthode jusqu'en 2004 (figure n°24). Bien qu'imprécise, cette méthode a également permis d'estimer le volume vidangé moyen à 13 000 000 de mètres cubes.

Figure n°24



En terme de résultats, nous constatons que les vidanges dans les années 70 s'organisent selon un rythme triennal, puis biennal dans les années 80 et enfin annuel depuis 1992. Les dates et les durées de vidanges sont également variables, elles débutent généralement fin août et s'achèvent au plus tard à la fin du mois de novembre. D'une manière générale, Les débits de la Seille peuvent être grossis pendant ces trois mois (fin août jusqu'en fin novembre). A celles-ci succèdent des périodes de remplissage qui se font globalement en hiver et en printemps. La durée dépend des conditions climatiques et une partie des écoulements naturels est stockée dans l'étang. Au final, les débits de la Seille sont influencés a partir du mois de septembre jusqu'au printemps.

2- Le régime de la Seille

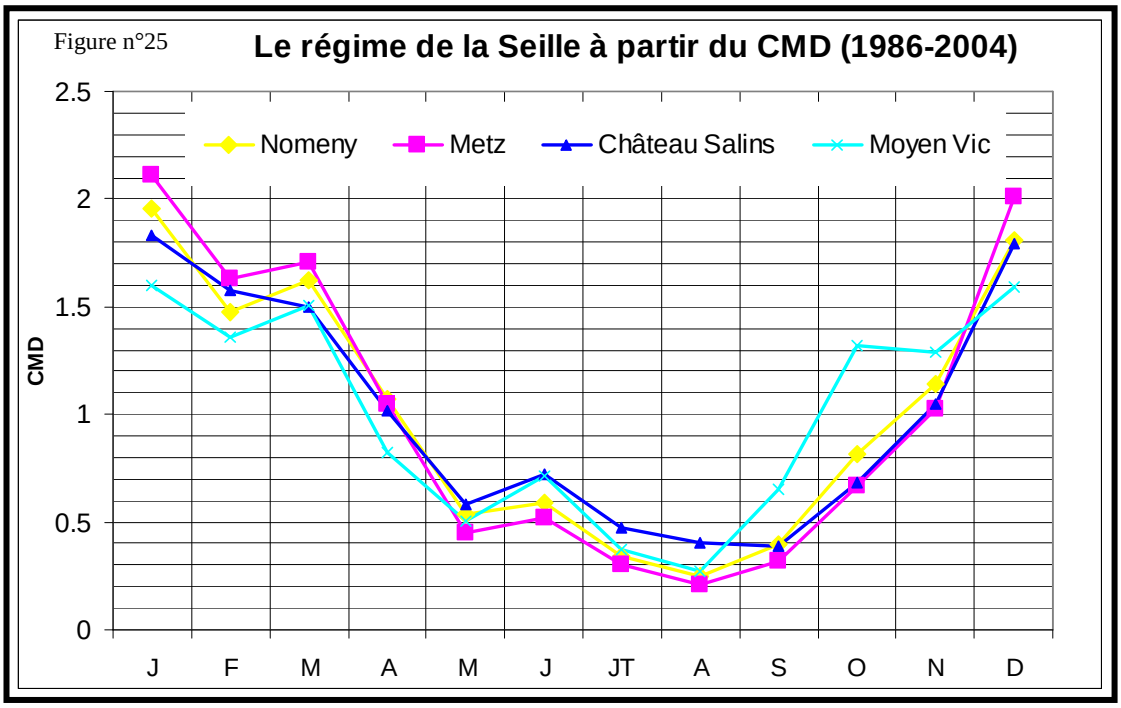
L'objectif principal est de déterminer le régime de la Seille ainsi que les différences internes dans le bassin. La détermination du module donne l'abondance brute du cours d'eau, bien que ce module annuel connaisse une variation importante liée aux variations climatiques en particulier à la pluviométrie (tableau n°30). La moyenne annuelle de la période est de 10,5 m3/s, ce qui représente une lame d'eau écoulée de 260 mm et une abondance spécifique de 8,26 l/s/km².

Tableau n°30: Variations mensuelles des débits du bassin de la Seille

STATION	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	M m3/s	Lame d'eau (mm)	Pondération
Metz 65 – 04	21,1	20,5	16,1	10,6	6,8	4,8	3,1	2,3	3,2	7,3	9,5	18,2	10,5	260	9
Château Salin 86 - 04	2,6	2,0	2,2	1,3	0,8	0,8	0,6	0,5	0,5	0,9	1,3	2,3	1,3	281	5
Moyen Vic 86 - 04	5,3	5,0	5,1	2,6	1,6	2,0	1,0	0,8	2,0	3,8	3,9	4,6	3.1	282	7
Nomeny 86-04	17,1	13,6	13,9	8,4	4,2	4,3	2,6	1,9	3,3	6,4	9,1	13,6	8,2	280	9
Metz 86 – 04	23,4	18,9	18,6	10,3	4,6	4,6	2,8	2,0	3,4	6,7	10,5	18,4	10,4	258	11

La variation mensuelle des débits est liée à celle des précipitations et à l'ETP ainsi qu'au caractère imperméable du bassin (peu soutenu par les nappes). La chronique 1986 - 2004 présente les variations des débits de la Seille dans les trois sous bassins ainsi que d'un mois à l'autre. Le calcul du coefficient mensuel de débit permet de découper l'année en saisons de hautes eaux et de basses eaux.

Figure n°25



A part le sous bassin de Moyen-Vic où la période des hautes eaux commence dès octobre, les autres sous bassins présentent des hautes eaux de novembre à mars (5 mois). On peut expliquer cette différence par des apports pluviométriques plus importants à l'amont que dans le reste du bassin ainsi que les influences de la vidange de l'étang de Lindre qui apparaissent le plus clairement à l'amont du bassin. - La saison des hautes eaux est nettement déterminée par les apports climatiques (partie climatique) avec ruissellement et alimentation du cours d'eau. Ces conditions sont favorables sur le plan de la dynamique fluviale. - La saison des basses eaux est déterminée par l'évapotranspiration qui influence les débits malgré les précipitations qui caractérisent cette saison. Le niveau d'eau baisse, et la vitesse de l'écoulement est très faible. La principale différence à tirer entre ces deux périodes se situe aux intersaisons (printemps et automne). En effet, les faibles précipitations d'hiver peuvent prolonger ces basses eaux d'octobre à novembre c'est le cas des années 1953, 1958, 1963, 1968, 1975, 1976, 1984, 2003.

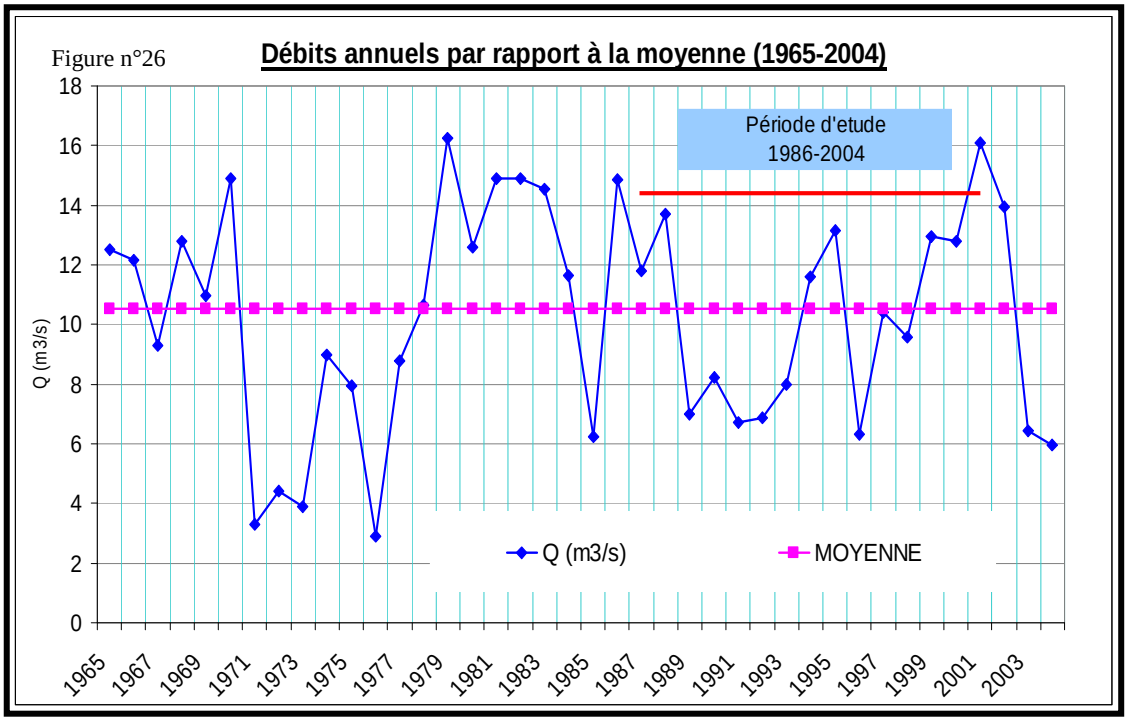
3- Etude des débits moyens annuels

L'objectif principal est de détecter la variabilité temporelle et spatiale des débits en grande partie tributaire de celle des pluies. A ce propos, les modules sont étudiés en deux niveaux. Le premier permet d'identifier les variations internes dans la chronique 1965 - 2004 pour la station de Metz, qui se trouve à l'exutoire et qui n'explique pas tout le fonctionnement hydrologique du bassin. Sur le même plan, une étude des débits fréquentiels est effectuée afin d'affiner la connaissance hydrologique. Le deuxième niveau concerne la période 1986 - 2004 pour les quatre stations (Moyen Vic, Nomeny, et Metz qui sont situées sur le cours d'eau principal et Château-Salins située sur la Petite Seille). Le but ici est de déterminer la variabilité des modules et de cerner les différences intérieures dans le bassin. Au-delà, l'ultime niveau d'étude concerne la définition du régime hydrologique de l'ensemble du bassin.

a- Détermination de la variabilité des modules de la Seille

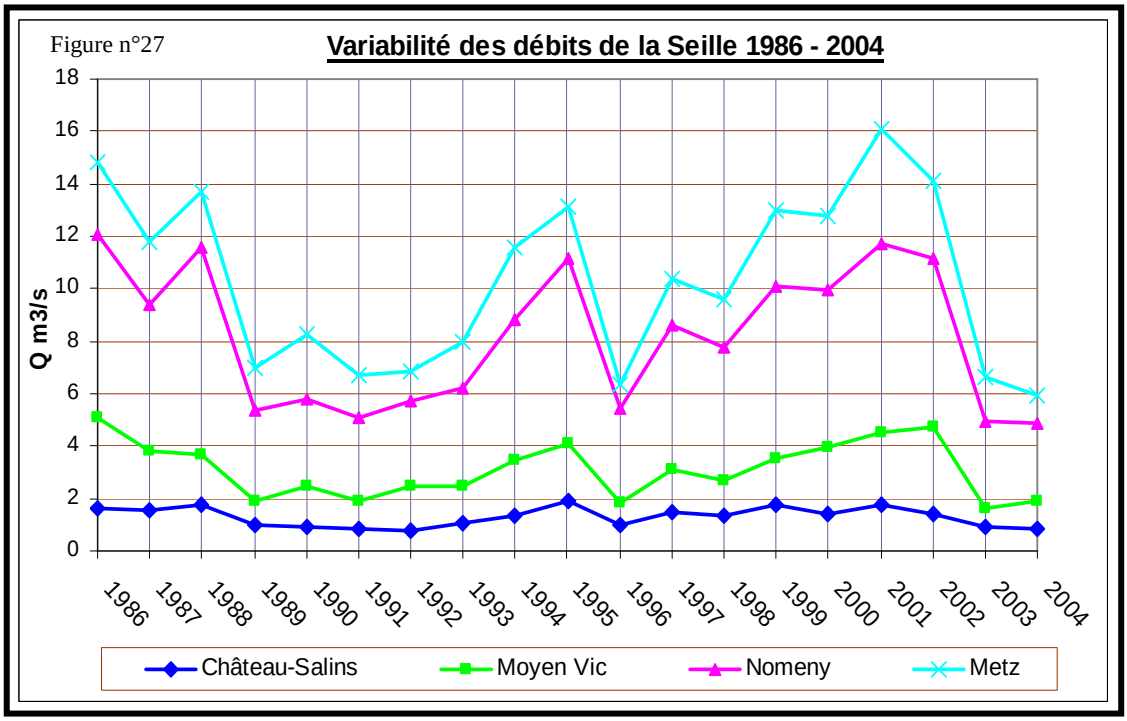
La figure fait apparaître une irrégularité interannuelle. Sur un échantillon de 39 ans, la moyenne de la période d'étude est de 10, 5 m3/s dont 22 années dépassent la moyenne. De même, 17 de ces 37 années sont des années «déficitaires ».

Figure n°26



Les modules annuels de la courte chronique 1986 - 2004 connaissent eux aussi une variabilité notoire. Le graphique n°27 peut témoigner de leur irrégularité notoire qui répond à celle des précipitations. On constate une concordance des trois courbes représentant des modules dans les quatre stations.

Figure n°27



En ce qui concerne les modules moyens annuels de cette courte chronique, une simple lecture du tableau n° 31 permet de faire plusieurs remarques.

Tableau n°31: Les débits annuels de la Seille 1986 - 2004

B.V	Stations	A (Km²)	Module m3/s	Lame d'eau (mm)	Q spécifique (l/s/km²)
La Seille à Moyen Vic	Moyen Vic	348,9	3.52	279	8,84
La Seille à Nomeny	Nomeny	918,8	8.19	294	9,30
La Petite Seille à Château-Salins	Château-Salins	145.5	1.30	263	8,34
la Seille à Metz	Metz	1264.3	10.35	248	7,87

On constate que le bassin le plus productif est le sous bassin de Nomeny, dont les débits spécifiques sont de 9,3 l/s/Km², suivi par le sous bassin de Moyen-Vic 8,84 l/s/Km². A partir de la chronique retenue 1986 – 2004 on a procédé à une analyse détaillée des débits de la Seille afin de déterminer la variabilité des modules en comparant les débits minimaux, maximaux, avec la moyenne pour toute la chronique.

Tableau n°32: Caractéristiques des débits du bassin de la Seille pour la période 1986 - 2004

	BASSIN VERSANT DE LA SEILLE											
Les sous bassins	**Moyen-Vic**			**Château - Salins**			**Nomeny**			**Metz**		
Station	Moyen Vic			Château-salins			Nomeny			Metz		
Cours d'eau	**La Seille**			**La Petite Seille**			**La Seille**			**La Seille**		
Superficie	348,9			145,5			918,8			1264.3		
Module annuel	Module Min	M. moyen	M. Max	M. Min	M. moyen	M. Max	M. Min	M. moyen	M. Max	M. Min	M. moyen	M. Max
Année	2003	86-04	2001	2003	86-04	1999	2003	86-04	2001	1993	86-04	2001
Débit m3/s	**0 ,52**	**3,5**	**37,3**	**0,2**	**1,3**	**6,2**	**1,1**	**8,1**	**37,3**	**0,9**	**10,3**	**51,7**
Lame d'eau (mm)	**47**	**316**	**3371**	**43**	**281**	**1340**	**38**	**277**	**1274**	**22**	**257**	**1290**
Q spécifique (l/s/km²)	**1,5**	**10,0**	**106,9**	**1,4**	**8,9**	**42, 5**	**1,2**	**8,8**	**40,4**	**0,7**	**8,1**	**40,9**

A la station de Metz, le contraste est important entre le minimum de 0,9m3/s soit 22 mm et le maximum élevé de 51,7 m3/s soit 1290 mm. Il est lié à la tendance générale du climat Lorrain : tantôt des influences continentales, ce qui s'exprime par l'apparition de mois secs, tantôt des perturbations océaniques, qui se manifestent par des hauteurs de précipitations mensuelles levées. Ce qui paraît intéressant ce sont les valeurs des débits spécifiques qui renseignent sur les rendements des bassins de la Seille. Les résultats montrent que l'amont du bassin (Château-Salins et Moyen Vic) caractérisé par des affleurement de roches perméables a un rendement supérieur à celui du reste du bassin.

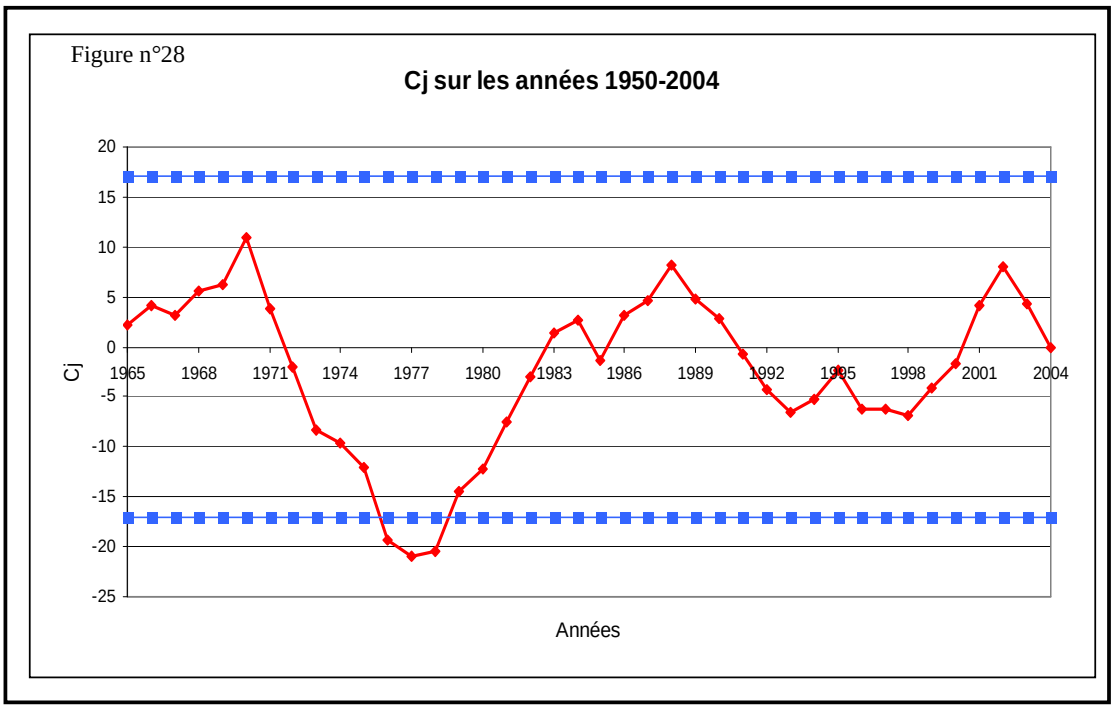
b- Le traitement de la chronique 1965 - 2004 par la méthode de CUSUM

Le traitement de la chronique d'étude par la méthode de CUSUM va permettre de déterminer l'homogénéité de la chronique et de situer la série expérimentale (1986 - 2004). Comme pour les pluies, l'application de cette méthode a permis de déterminer les séries suivantes (tableau n°33).

Tableau n°33 : Découpage de la chronique des débits de la Seille 1965 – 2004 en périodes homogènes

Période	Moyenne °c	nombre d'année	Diagnostic
1965 - 1970	12,0	6	Humide
1971– 1977	5,7	7	Sec
1978 - 1988	12,9	11	Humide
1989- 2004	10 ,7	16	Proche de la moyenne

Figure n°28



A priori, les résultats obtenus par la méthode de CUSUM montrent que la longue série 1965-2004 est homogène avec des années humides et sèches, les périodes sèches apparaissent sous forme de « séquences de valeurs» et occupent trois années : 1976, 1977 et 1978 où les modules dépasssent la bande négative. Par rapport à celle de la longue chronique (figure n°28), la série 1986 - 2004 se situe tout à fait dans la moyenne et peut être considérée comme représentative de la série 1965 - 2004 pour la station de Metz.

c- Etude statistique des Q annuels (1965 - 2004)

Les débits ont été ajustés à la loi normale (CEGUM 2000) afin de déterminer des fréquences caractéristiques très utiles pour les aménagements du cours d'eau.

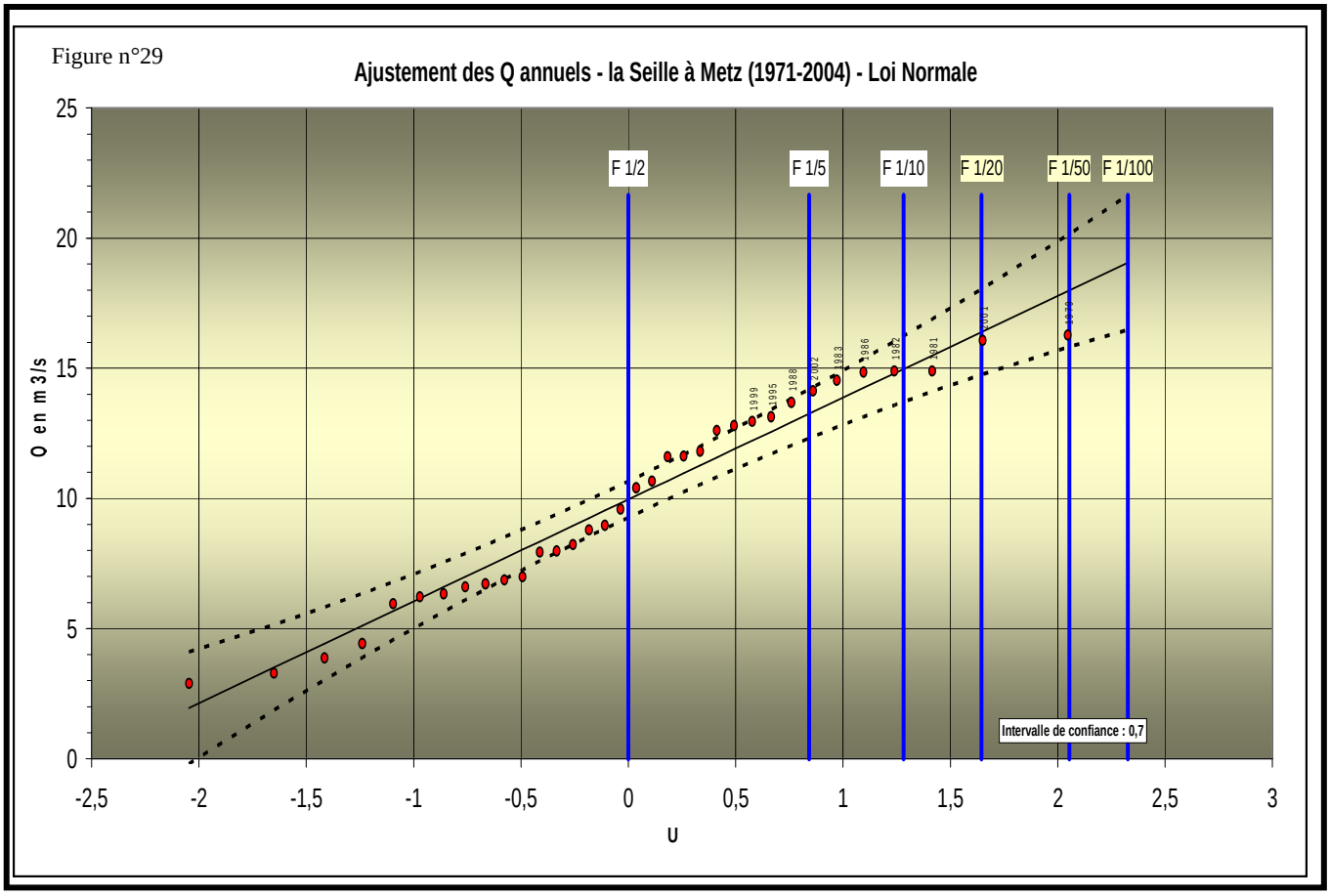
1-1 Application de la loi normale

Les résultats des ajustements statistiques sont reportés sur la figure n°29. On peut remarquer sur la figure une répartition de tous les points autour de la courbe, et constater la variabilité de l'échantillon de la période d'observation. La plupart de ces points se concentrent entre - 0,5 et 0,5. Les années extrêmes de la chronique se positionnent dans les deux extrémités de la courbe. En ce qui concerne les années humides, on trouve 1979, 1981, 1988 et 2001. Pour les années sèches, elles sont situées en dessous de la droite, là on trouve 1971, 1972, 1973 et 1976.

Tableau n°34: Caractéristiques de l'ajustement des Q moyens annuels de la Seille 1965 - 2004

	Moyenne (m 3/s)	Médiane (m3/s)	Ecart- type(m 3/s)	C. variation (%)
La Seille à Metz	10.3 m3/s	10.8 m3/s	3.7 m3/s	36%

Figure n°29



1-2 Les débits fréquentiels

La série expérimentale 1986 - 2004 comprend des fréquences humides de 1/5 pour les années 1986, 1995, 1999, 2001 et 2002 qui représentent les valeurs enregistrées les plus fortes durant cette période.

Tableau n°35: Q annuels fréquentiels de la Seille 1965 - 2004

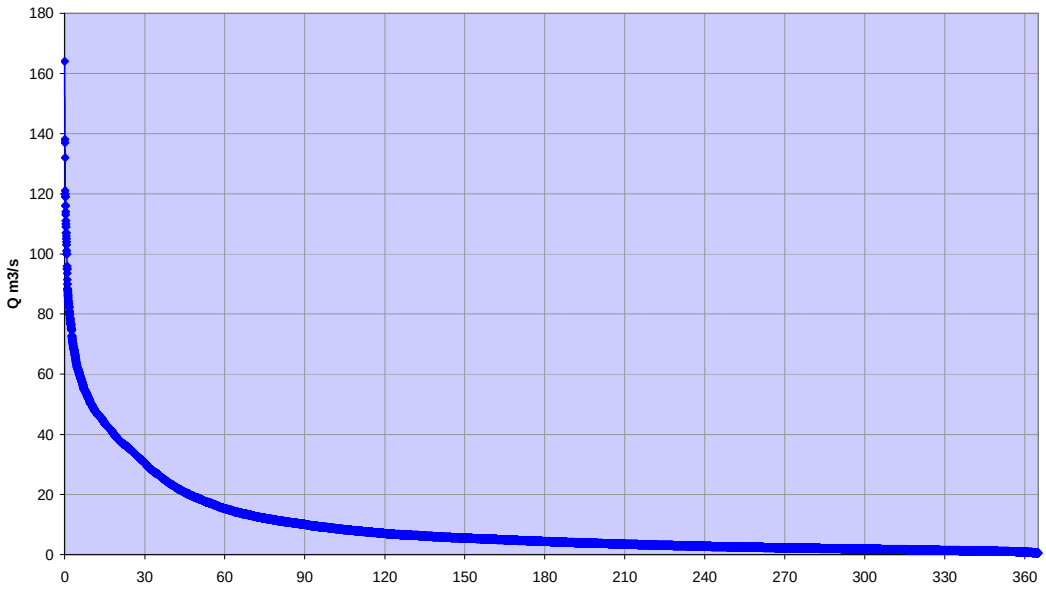
Fréquence	1 /2	1/5	1/10	1/50
Temps de retour	**2 ans**	**5 ans**	**10 ans**	**50 ans**
La Seille à Metz	9.5	13.7	16.7	23.5

Malgré la faible variabilité entre les durées de retour, sur les 39 qui composent l'échantillon on n'a enregistré aucun débit de fréquences 1/100. Ce qui veut dire que les moyens des débits de la Seille restent quand même en dessous de la normale pour un climat réputé par des précipitations abondantes. Il est sûr que ces moyennes masquent une certaine vérité mensuelle. En tout cas ces résultats de débits fréquentiels de la Seille sont ceux qui définissent les aménagements du cours d'eau.

4- Les débits journaliers de la Seille

Afin de mieux connaître la variabilité des débits de la Seille, nous avons classé les débits journaliers de la station de Metz qui vont de 1965 à 2004. L'objectif principal est d'avoir une idée sur la variabilité des débits journaliers de la Seille avant de les traiter plus tard dans les extrêmes. Le graphique n°30 présente les résultats des débits de la Seille. Le débit maximum journalier que la Seille a pu atteindre à la station de Metz est de 164 m3/s, marqué le 26 /02/1997, ce qui correspond à 16 fois et demi le module (fréquence cinquantennale). Le débit le plus faible que la Seille ait enregistré est 0,53 m3/s le 02/08/1976. A partir de la courbe des débits classés, on constate que ¾ des débits sont inférieurs ou égaux au module. Un quart seulement contient des débits supérieurs à la moyenne pour environ 12 000 valeurs journalières.

Figure n° 30 **Les débits journaliers classés dans la Seille à Metz (1964 - 2004)**



Cette situation conduit à des débordements qui ont des conséquences sur l'état du cours d'eau (ces débordements se produisent au moins deux fois par an) ou à des sécheresses qui se traduisent par des périodes d'étiage qui perturbent l'écosystème du cours d'eau. Ce sont principalement celle-ci qui ont déterminé les actions d'aménagement.

5- La relation entre les pluies et les débits à l'échelle annuelles

Après avoir étudié la répartition pluviométrique et la variation hydrométrique, il reste à établir la relation entre les débits et les pluies dans le bassin. L'analyse de la relation annuelle est loin d'être explicative mais donne des informations générales. C'est à l'échelle mensuelle que cette relation est très significative à travers le bilan hydrologique. Elle permet de quantifier la part des précipitations dont bénéficie l'écoulement mais également

d'approcher l'ETR par le biais du déficit d'écoulement. On calcule ainsi, le quotient d'écoulement annuel Q/P et le déficit d'écoulement.

a- Le quotient d'écoulement

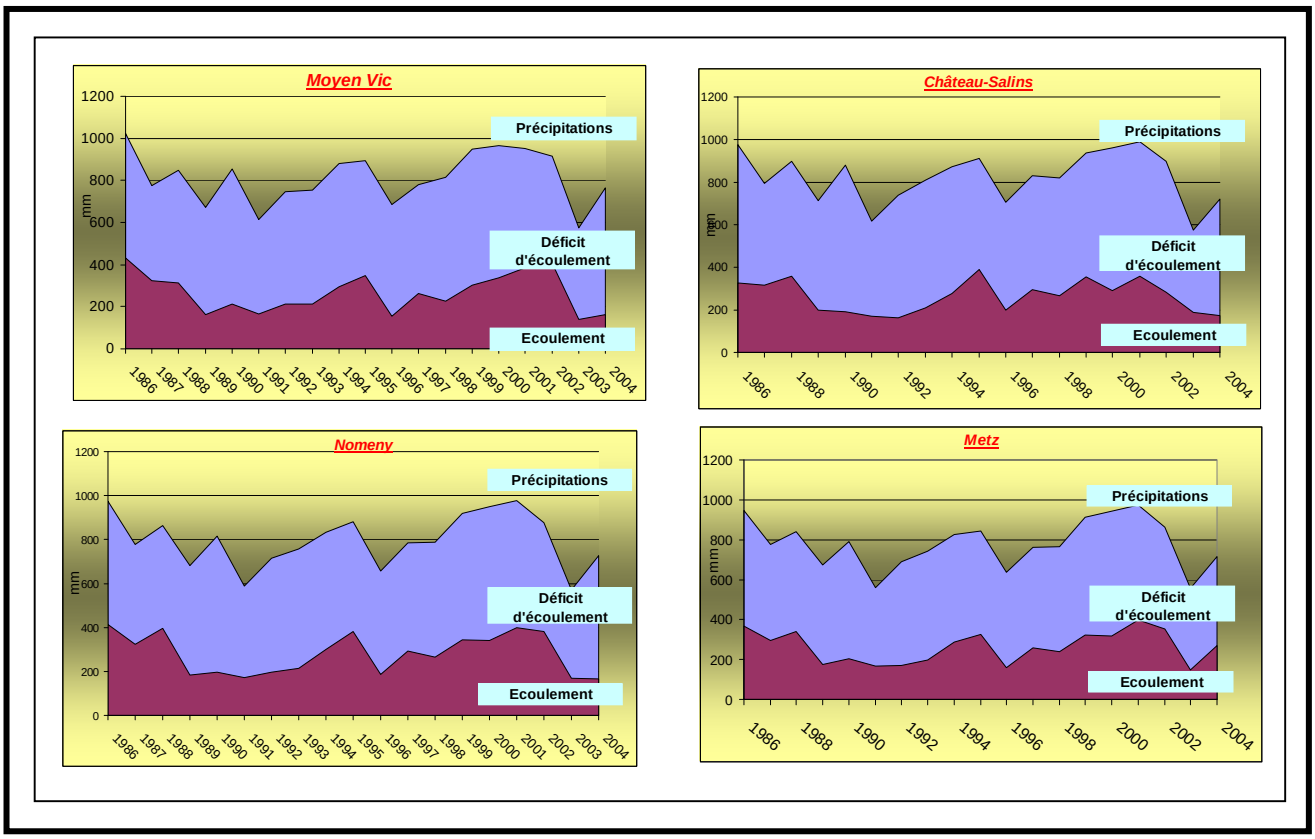
Environ 1/3 des précipitations sont écoulées par la Seille ce qui est significatif de précipitations déjà élevées mais se produisant de façon étalée dans le temps (tableau n°36).

Tableau n°36: Les coefficients d'écoulement moyens annuels de la Seille 1986 - 2004

	BASSIN VERSANT			
	La Seille à Moyen Vic	**La Seille à Nomeny**	**La Petite Seille à Château – Salins**	**La Seille à Metz**
Précipitations (mm)	**821**	**804**	**824**	**785**
Lame d'eau (mm)	318	302	282	258
Quotient d'écoulement %	39	38	34	33

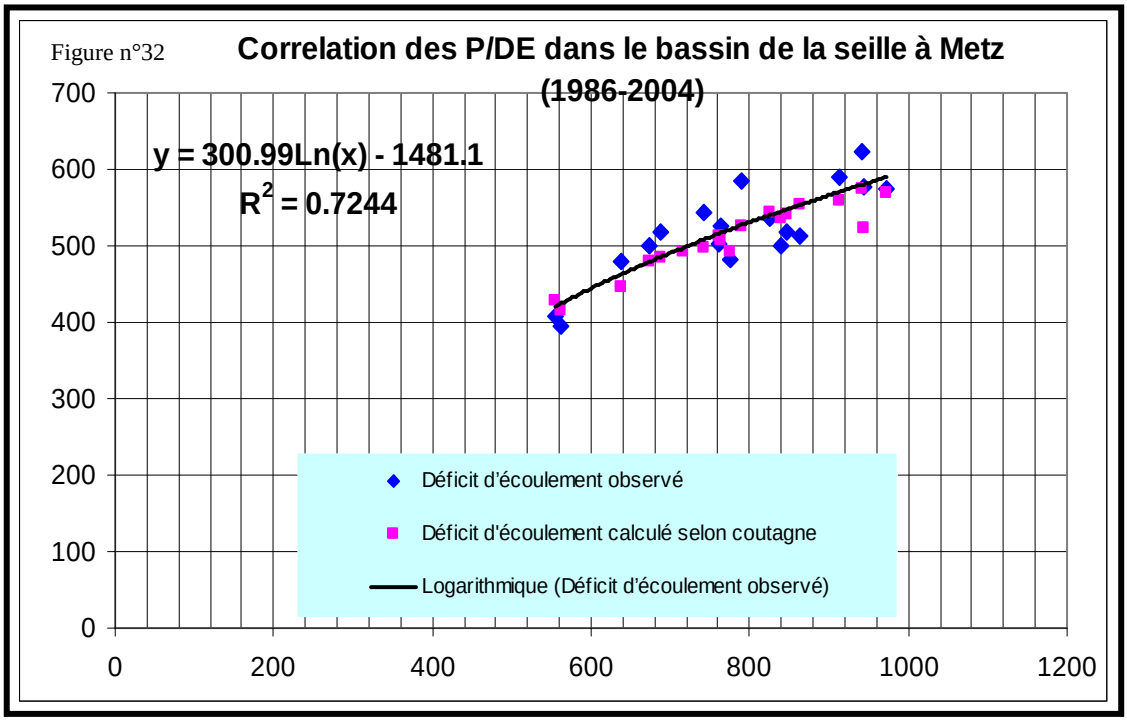
Les quotients d'écoulement enregistrés sont presque identiques avec un petit avantage au sous bassin de Moyen Vic. Finalement, il apparaît ici comme fonction des précipitations, avec une petite exception pour le bassin de la Petite Seille à Château-salins.

Figure n°31: Le déficit d'écoulement dans le bassin de la Seille



Toujours dans le cadre de la relation pluies / débits, à l'échelle annuelle, le déficit d'écoulement (DE) représente la différence entre les pluies du bassin (P) et les hauteurs moyennes annuelles de la lame d'eau écoulée (E). D'un point de vue hydrologique, ce déficit d'écoulement DE = P-E représente globalement le stockage souterrain et l'ETR.

Figure n°32



Globalement, les déficits d'écoulement sont très variables d'un bassin à l'autre et on peut se poser la question de la fiabilité de nos pluies spatialisées et des valeurs de débits (notamment Château-Salins dont les valeurs se singularisent souvent des autres). Ils varient selon les pluies annuelles et selon la façon décrite par (Coutagne, 1948), montrant d'ailleurs des valeurs parfaitement identiques en moyenne annuelle, mais il faudrait descendre au niveau des détails des mois pour comprendre les années exceptionnelles comme 2003, 1991 et d'autres selon les stations.

b- Corrélation précipitations / débits annuels

La relation annuelle pluies / débits est déterminée par la méthode de corrélation. Cette méthode a été testée avec succès dans des domaines océanique par (Coutagne, 1948). Le tableau présente les résultats de cette corrélation.

Tableau n°37: Corrélation linéaire annuel P / Q dans le bassin de la Seille 1986 - 2004

B.V	bassin de la Seille à Moyen -Vic	bassin de la Seille à Château-Salins	bassin de la Seille à Nomeny	bassin de la Seille à Metz
C. de détermination (r^2)	0.75	0.61	0.77	0.82
Pente à la droite	0.65	0.49	0.66	0.59

Ces résultats dégagent des tendances très générales sur la relation P/Q. Pour l'ensemble du bassin de la Seille, le coefficient de corrélation est de 0,82 ce qui permet de dire que cette relation est acceptable et donc que presque toutes les précipitations qui tombent dans le bassin sortent dans la même année (bassin majoritairement imperméable avec peu de réserves). A l'inverse le bassin de Château-Salins marque le coefficient le plus faible 0,61% : peut-être est-ce le rôle du facteur lithologique qui favorise l'infiltration (alimentation de la nappe de Château-Salins) perturbant une relation annuelle entre les pluies et les débits.

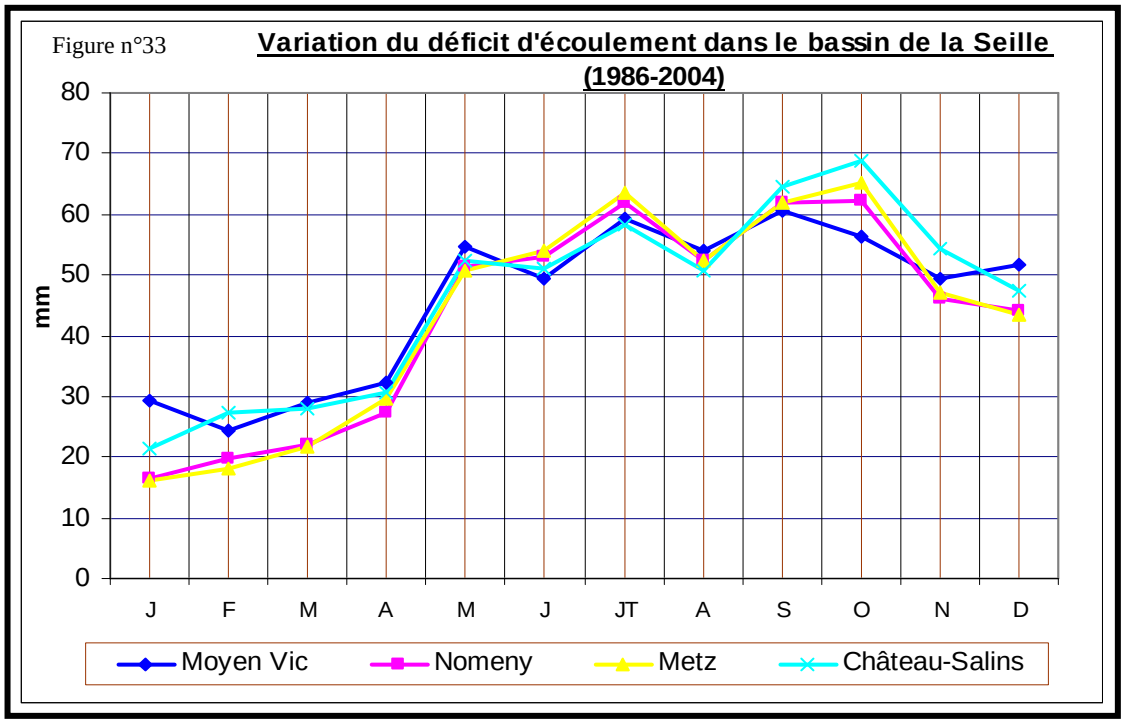
5- La relation P / Q à l'échelle mensuelle

La relation pluies / débits à l'échelle mensuelle est étudiée à l'aide d'une modélisation hydrologique du bilan hydrologique : évaluation des surplus et des besoins à partir des lames d'eau précipitées et de la demande en évapotranspiration, et estimation des écoulements rapide de crue et de l'infiltration dans les aquifères. Avant de réaliser le bilan hydrologique nous proposons d'analyser le déficit d'écoulement mensuel.

a- Le déficit d'écoulement mensuel

A l'échelle mensuelle les résultats du déficit d'écoulement dans le bassin nous renseignent sur l'importance de l'évaporation dans le domaine d'étude. Le graphique n°33 présente les valeurs obtenues.

Figure n°33

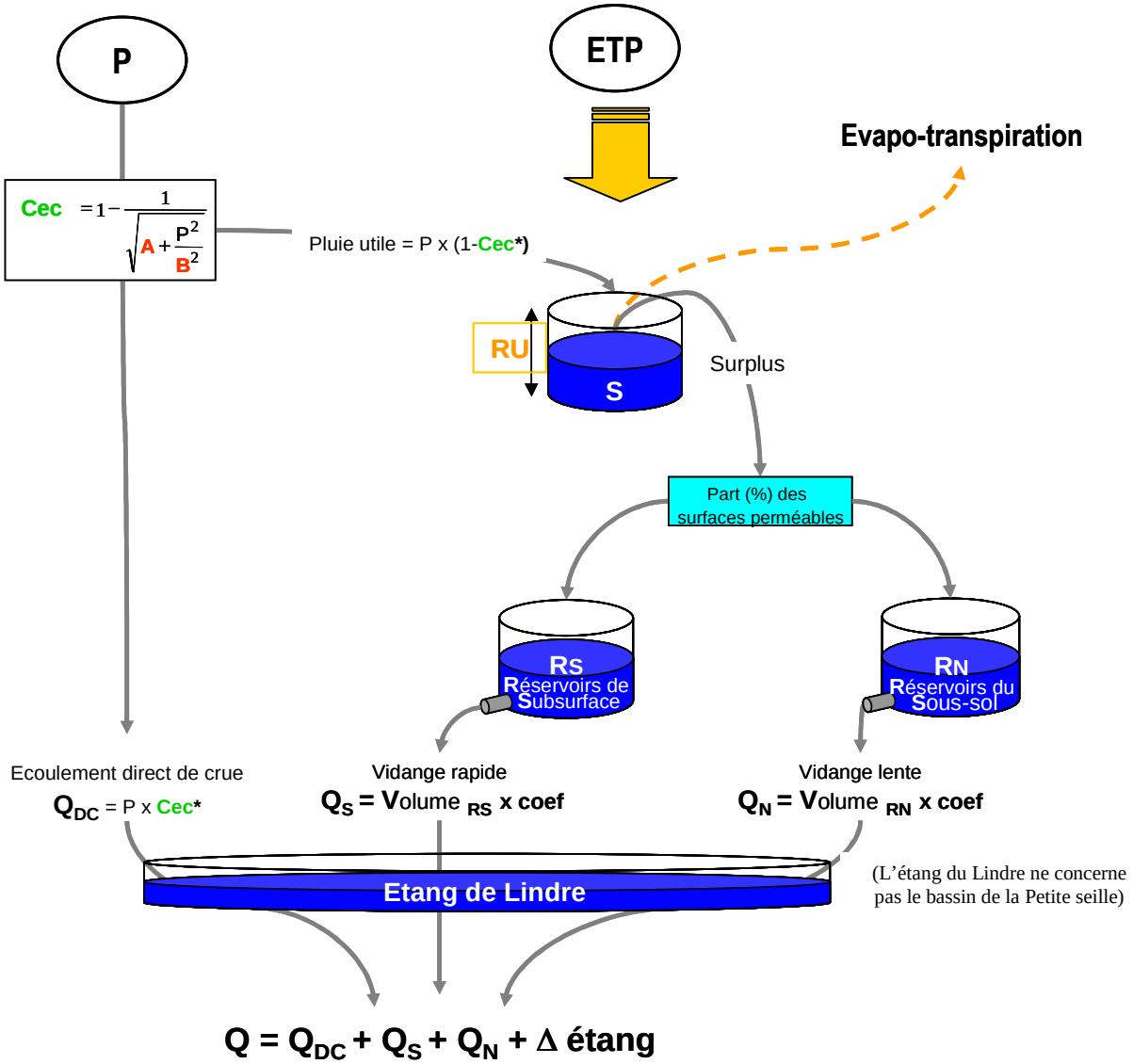


Le déficit d'écoulement reste faible dans les quatre premiers mois de l'année (janvier, février, mars et avril) puisqu'il est aux environs de 30 mm à cause de la disponibilité en eau pendant cette période. A partir du mois mai, le déficit d'écoulement s'établit aux alentours de 50 - 60 mm à cause de l'intensité d'évaporation malgré les précipitations jusqu'en décembre.

b- La représentation du cycle hydrologique : l'outil Orchy II

Le modèle utilisé a été progressivement mis au point au CEGUM (Gille et al, 2001), nommé ensuite Orchy (Gille et Lang, 2004) : c'est un modèle global conceptuel assez simple de représentation du fonctionnement du cycle de l'eau sur un bassin, à partir des variables climatiques (P, Q et ETP). Le modèle recourt à trois réservoirs et 4 paramètres d'optimisation ; pour limiter le nombre de ces derniers et renforcer le caractère conceptuel du modèle (l'optimisation assistée, Gille et Lang, 2004), il utilise les informations concernant la perméabilité des formations affleurantes du bassin, fournies par le « fichier physiographique » du bassin Rhin-Meuse (Gille, 1983). Il est résumé dans le schéma ci-dessous (figure n°34).

Figure n°34: Architecture du modèle Orchy II pour le bassin de la Seille



Les données utilisées sont les suivantes :

- les précipitations sont les moyennes mensuelles spatialisées des sous bassins de Moyen Vic, Nomeny, Château-Salins et de l'ensemble du bassin pour la période 1986 -2004.
- les débits sont les données hydrométriques des quatre stations des sous bassin (Moyen Vic, Nomeny, Château-Salins et Metz) ; les débits servent à caler les paramètres.
- les ETP sont les données calculées précédemment à partir de la méthode de Turc (cf. bilan hydrique).
-

Les paramètres d'optimisation sont :

- Le coefficient mensuel d'écoulement rapide de crue, qui est une fonction des précipitations.
- Le réservoir du sol, aux alentours de 100 mm, ce qui est la valeur généralement retenue pour la région Lorraine, (Gille, 1985).
- La proportion de l'écoulement différé au mois suivant pour le réservoir à vidange rapide (représentant les écoulements de subsurface, les nappes perchées, le ressuyage des terrains), avec, le cas échéant, un coefficient mensuel de vidange rapide (aux environs de 80%).
- Le coefficient mensuel de tarissement du réservoir à vidange lente (représentant les nappes).

c- Les résultats de la modélisation des régimes

Les résultats de la modélisation peuvent être présentés à deux échelles : annuelle pour le bilan hydrologique et mensuel pour le régime. Le calage des paramètres concerne d'une part les caractéristiques du régime (ruissellement et tarissement), qui font partie de l'analyse à l'échelle mensuelle, et la structure d'autre part (physiographie du bassin).

Du point de vue des paramètres physiographiques des bassins, destinés à être optimisés, la RU est estimée à 100 mm partout (elle intervient plutôt comme une contrainte sur l'ETP qui, elle-même, n'est pas connue précisément) et les proportions de surfaces perméables, de l'ordre de 20% excepté à Château-Salins 50%, restent proches des valeurs issues de l'atlas des perméabilités (cf. 1ère partie, chapitre 1).

1-1 A l'échelle annuelle

Si les données utilisées semblent globalement correctes, on peut faire cependant trois remarques : la première concerne l'ETP Turc donnant en général des valeurs plus faibles que celles calculées par Météo France (Penmann-Montheith) et qu'on peut considérer comme un risque de sous estimation du déficit d'écoulement (ETR). Cependant, et c'est la deuxième remarque, les précipitations moyennes par bassin versant doivent toutes être augmentées pour boucler correctement le bilan, en dépit de cette ETP a priori sous estimée. On peut en conclure que la méthode de Thiessen pour calculer des précipitations moyennes, utilisant des postes installés en général dans les points bas, « oublie » l'influence orographique.

La troisième remarque est pour les séries de débits : la lame d'eau mesurée à Nomeny (283 mm) est identiques aux lames mesurées sur les bassins amont et nettement supérieure à celle de Metz (257 mm). L'hypothèse la plus vraisemblable suppose que les débits sont cohérents aux trois autres stations (diminution du débit spécifique amont aval, conforme aussi à la répartition des précipitations) et surestimés à Nomeny : le modèle suggère une correction de -6% (de 283mm à 264).

Tableau n°38: Les résultats (en mm) des bilans à l'échelle annuelle 1986 - 2004

Valeurs (mm)	**La Seille à Moyen Vic**	**La Petite Seille à Château-Salins**	**La Seille à Nomeny**	**La Seille à Metz**
Corrections apportées	**P + 2%**	**P + 2%**	**Q –6% et P + 2%**	**P + 4%**
Pmoy B.V. corrigées	**828**	**840**	**818**	**811**
ETP	**632**	**654**	**654**	**654**
ETR	**545**	**552**	**557**	**556**
Q. rapide de crue	**53** **19%**	**59** **21%**	**45** **17%**	**41** **16%**
Q R. vidange rapide	**172** **61%**	**111** **39%**	**174** **67%**	**173** **68%**
Q. Nappes	**58** **20 %**	**113** **40%**	**42** **16%**	**41** **16%**
Q. Total calculé	**283**	**283**	**261**	**255**
Q. Total mesuré	**283**	**285**	**264 (corr.)***	**257**

On peut résumer le bilan hydrologique de la Seille par le schéma ci-dessous.

Figure n°35: Le fonctionnement hydrologique de la Seille à Metz 1986-2004

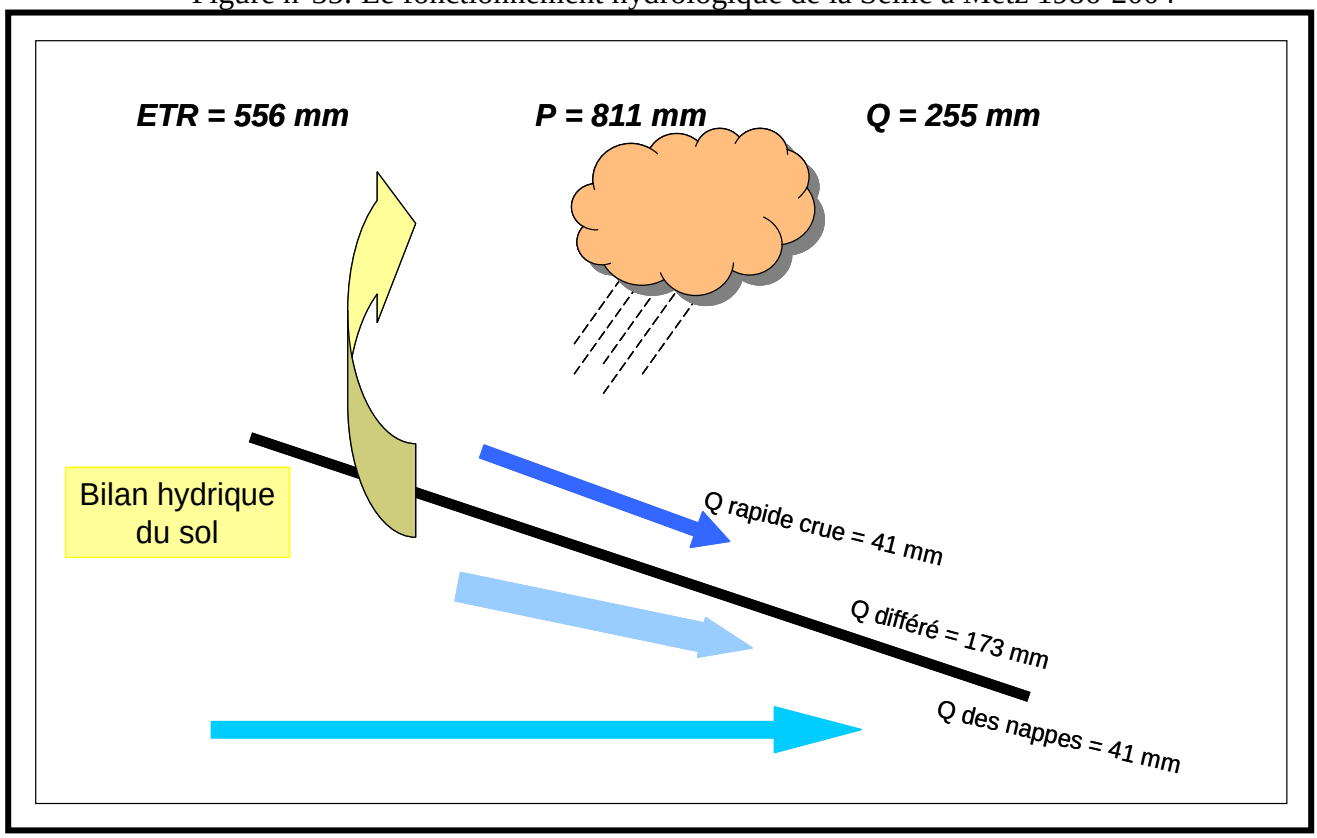
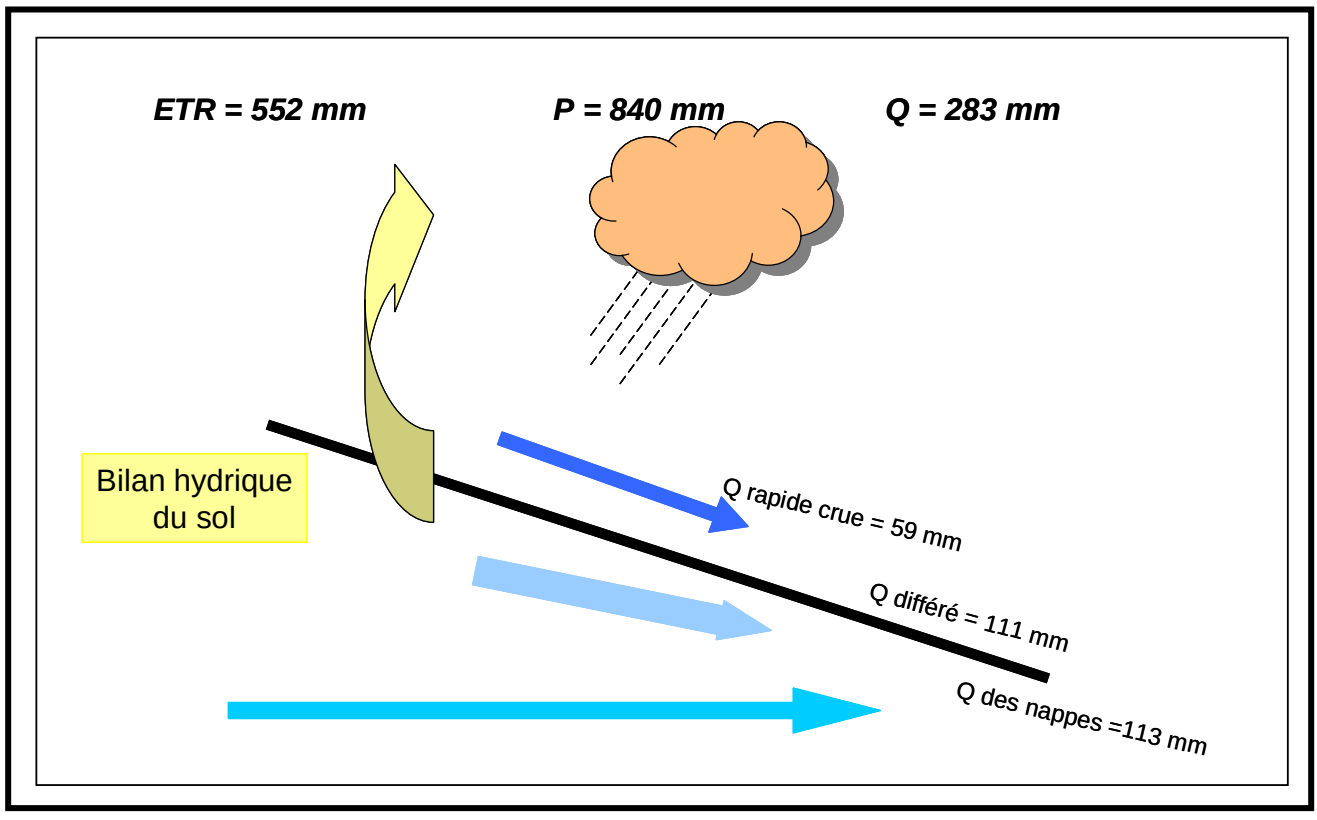


Figure n°36: Le fonctionnement hydrologique de la Petite Seille à Château-Salins 1986-2004



On peut rappeler que (L'Hôte, 1967) proposait les valeurs suivantes pour son estimation du bilan de la Seille (avec 1,5 ans d'observation, sur la base de corrélations avec d'autres stations hydrométriques lorraines) : P 735mm = Q 202mm + ETR 533mm

Cependant, le calcul de la pluie moyenne, estimée par une méthode proche de la nôtre, avant correction du modèle montre une augmentation assez nette : 735 mm pour 1943-1965 contre 780 mm (1986-2004), peut-être en relation avec les modifications climatiques actuelles.

1-2 A l'échelle mensuelle

A l'échelle mensuelle, le régime des quatre bassins détermine le jeu de paramètres suivant :

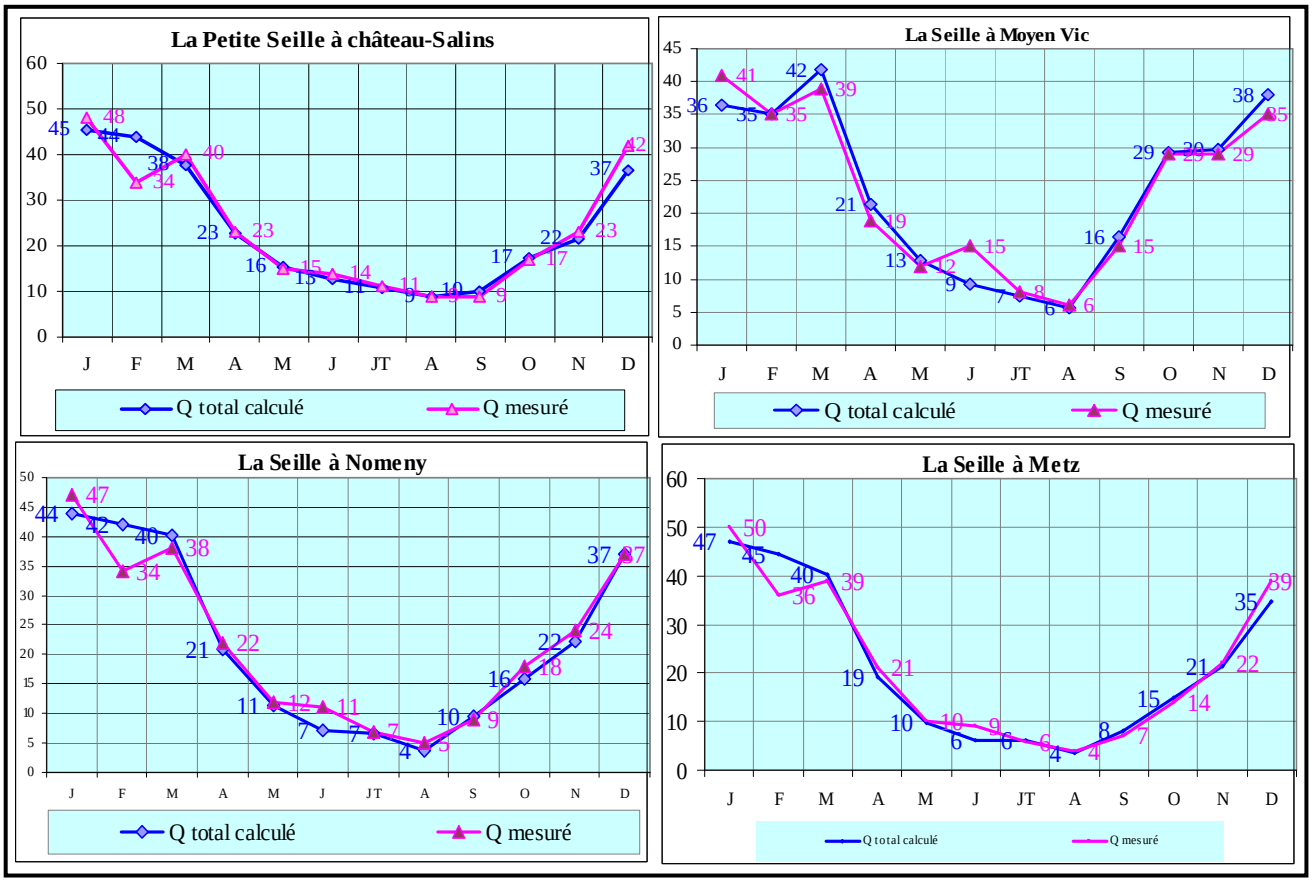
- un écoulement direct de crue (ne participant pas au bilan hydrique, ruissellement) faible : de l'ordre de 5 % de la pluie, représenté par la valeur 1 pour le coefficient A et des valeurs de 190 à 210 pour le coefficient B ;
- Un écoulement de crue passant par le cheminement de subsurface, participant à la reconstitution de la réserve du sol et soumis aux prélèvements de l'évapotranspiration, élevé : plus de 170 mm, dont 50 à 60% se produisent le mois même des précipitations. Cet écoulement est peu représenté l'été, du fait qu'il intervient en surplus du remplissage de la réserve du sol (évaporation). Il représente 60 à 70 % du débit.
- pour les trois stations d la Seille, le coefficient mensuel de vidange du second réservoir ne gére que 1/6ème des écoulements et traduit un épuisement rapide des réserves du sous-sol (30%), amenant des basses-eaux prononcées. Sur la Petite Seille à Château-Salins, le coefficient est plus faible (21%), les nappes sont plus conséquentes et la pondération du régime est bien meilleure (écoulement spécifique de basses eaux double), en conformité avec la géologie du bassin.

La modélisation est cependant confrontée à la représentation de trois anomalies du régime : les mois de juin, février et octobre. Pour le mois de juin, l'approche en année moyenne semble ne pouvoir rendre compte des forts écoulements d'une année particulière.

Pour les mois d'octobre et février, la symétrie suggère l'hypothèse de perturbations engendrées par le remplissage et la vidange de l'étang piscicole du Lindre : on peut effectivement simuler ces mouvements de lames d'eau (quelque 15 millions de m^3, en les rapportant aux surfaces respectives de bassins, soit environ 13 mm à Metz) qui gonflent les débits d'automne (octobre novembre principalement, 4 mois en tout) et réduisent ceux de l'hiver (janvier février mars).

Il reste cependant que l'anomalie de février, qu'on retrouve également à Château-Salins non concernée par le Lindre, ne peut être complètement expliquée.

Figure n°37 : Résultats mensuels de la modélisation hydrologique dans le bassin de la Seille 1986-2004



On retient donc pour le bassin de la Seille, une organisation de l'année hydrologique autour de deux saisons contrastées :

- une période d'automne-hiver moyennement pluvieuse : les premières pluies des mois de septembre à novembre n'ont pas beaucoup d'influence sur les lames écoulées, les remontées constatées sont en partie dues aux lâchers de l'étang de Lindre ; en revanche, c'est à partir du mois de décembre que l'on commence à percevoir les lames d'eau écoulées qui suivent les lames d'eau précipitées. On peut parler de reconstitution des réserves du bassin, notamment celles de l'étang de Lindre.
- une période estivale à peine moins pluvieuse, mais provoquant très peu d'écoulement : les eaux sont essentiellement évaporées. A l'amont, la réserve hydrologique étant plus importante, sa vidange limite simplement la baisse des débits, sans parvenir à empêcher les basses eaux prononcées de l'aval.

En définitive, ces résultats quantifient ce qui a été montré jusqu'à présent.

IV– Représentation de la Seille dans le contexte régional Lorrain

Après avoir étudié le fonctionnement hydrologique de la Seille, on s'est posé la question de savoir comment fonctionnent les bassins voisins de la Seille ce qui permet de montrer la banalité où l'originalité du système hydrologique étudiée. Pour répondre à cette question nous avons recherché dans la bibliographie (catalogue des débits d'étiage, anciens mémoires, cartes géologiques) les volumes caractéristiques : précipitations, modules spécifiques, débits spécifiques d'étiage, perméabilités de plusieurs bassins versant appartenant aux bassins de la Meuse et de la Moselle pour une période commune. Ces caractéristiques sont présentées dans le tableau n°39. Les bassins retenus sont : la Crusnes, la Vezouze , la Mortagne, le Brenon, la Haute - Meuse, l'Esch, l'Orne, la Seille, la Meurthe, et la Moselle.

Tableau n°39: Le fonctionnement hydro- climatologique du bassin de la Seille par rapport à d'autres bassins de la Lorraine

B.V	Surface (km²)	Perméabilité %				Période d'étude	P (mm)	Module (m3/s)	Module (mm)	Module Spécifique L/s/km²	Déficit d'écoulement (mm)
		P11	P12	P2	P3						
Crusnes	206	9	15	46	30	1970/1990	972	2,44	373	11,84	599
La Vezouze	559	9,3	36,7	16,2	37,8	1970/1990	949	11,1	626	19,85	323
La Mortagne	495	15,1	53	13,4	18,5	1970/1990	1011	5,85	373	11,81	638
Brenon	139	2	17	32	49	1970/1990	883	1,30	295	9,35	588
Haute -Meuse	364	32		22,6	41,4	1970/1990	910	4,12	357	11,31	533
L'Esch	229	1,2	36,4	31,4	31	1970/1990	835	1,44	197	6,23	638
L'Orne	411.7	12,5	16.9	16,3	54,3	1970/1990	812	3,79	290	9,20	522
La Seille	1348,0	2	3,4	21,2	73,4	1970/1990	746	10,5	246	7,78	500
La Meurthe	3085,4	33,2	20,7	12	33,7	1970/1990	1173	41,1	420	13,32	753
La Moselle à la station de Blenod	6925	11,7	30,7	17,1	40,5	1970/1990	1006	121	551	17,47	455

Les lames d'eau précipitées sont directement liées à l'hypsométrie. Le bassin de la Seille, caractéristique des plateaux Lorrain, reçoit les précipitations les plus faibles dans la région 746 mm, la Vezouze et la Mortagne caractéristiques du plateau pré Vosgien reçoivent autour de 1000 m de précipitations. Le bassin de la Seille est faiblement arrosé mais le module spécifique est celui d'autres bassins qui reçoivent plus de précipitations comme celui de l'Esch (835 mm de pluie pour 6,23l/s/ km²), mais il est inférieur à celui de l'Orne qui reçoit des précipitations équivalentes. Ces différences sont liées pour l'essentiel au substratum. Finalement le bassin est bien représentatif de l'espace régional. Les écoulements sont ceux de roches peu perméables à réserve souterraine d'eau peu abondante.

Plus finement on se rend compte que les résultats (module / précipitation) peuvent subir quelques anomalies. Le bassin de la Vezouze présente le déficit d'écoulement (DE = 323mm) le plus faible des bassins comparés. Ces anomalies sont liées à la composition du substratum du bassin versant (36,7 % de P12). Le déficit d'écoulement le plus fort est enregistré dans le bassin de la Meurthe (DE = 753 mm). Ce qui est vraisemblablement lié à la forte proposition des terrains imperméables (33,7 % de P 31). Ces anomalies sont liées à la composition du substratum du bassin versant. Le bassin versant de la Seille présente un déficit d'écoulement (DE = 500 mm) moyen par rapport aux bassins comparés malgré la forte proportion des terrains imperméables (73,4 % de P 31). En effet leur part dans ces bassins explique l'importance du déficit d'écoulement. Ceci est illustré par le bassin versant de l'Esch (presque 100 % de P31) qui présente le déficit d'écoulement le plus fort des bassins comparés 638 mm. Notons aussi que le bassin du Brénon marque un déficit d'écoulement important de 588 mm (49 % de P 31).

Au final, au regard des autres bassins, celui de la Seille s'inscrit bien dans le contexte régional de l'Est de la France. Sa situation pluviométrique lui garantit une bonne alimentation. Son substratum au 2/3 imperméable permet un ruissellement qui favorise l'évaporation (module moyen).

On retient de cette étude du fonctionnement hydrologique moyen, que le domaine d'étude reçoit des précipitations tout au long de l'année avec une irrégularité dans le temps et dans l'espace. À l'issue de l'analyse des débits, nous avons pu constater l'hétérogénéité de l'écoulement avec une variabilité annuelle et mensuelle qui répond à celle des précipitations. Dans l'amont du bassin, cette période hivernale permet de reconstituer les réserves dans les aquifères, 184 mm dans le sous bassin de Château-Salins, de 192 mm dans le sous bassin de Moyen Vic, de 71 mm dans le sous bassin de Nomeny et de 74 mm pour l'ensemble du bassin. La saison estivale est marquée par un faible débit et une évaporation intense. Durant cette période, le déficit d'écoulement est fort, il atteint 78 mm à Château-Salins, 82 mm à Moyen Vic, 132 mm à Nomeny et 126 mm pour l'ensemble du bassin. Cette période bénéficie du soutien des nappes mais leurs apports restent faibles. L'érosion ne peut se manifester qu'exceptionnellement lors des pluies orageuses. Dans le fonctionnement moyen de la Seille, nous pouvons dire que l'agressivité du climat au niveau de la morphogenèse ne pourra se manifester que pendant la période hivernale lorsque l'écoulement est important.

Conclusion :

L'étude hydrologique a démontré que le régime de la Seille a toutes les caractéristiques d'un régime pluvial océanique (ou pluvio-évaporal) sous une double influence : influence naturelle (pluie et rôle du substratum) et influence anthropique (qui se manifeste surtout à l'amont) qui correspond à l'étang de Lindre (prélèvement et lâchers). Ces deux paramètres sont variables à l'échelle du temps, ce qui agit sur les modalités des écoulements. Ces influences peuvent être mises en rapport avec la protection du risque d'inondation, et avec les pratiques de pisciculture.

Le domaine d'étude se compose de quatre bassins qui reçoivent des précipitations durant toute l'année. A l'amont, le bassin de Château-Salins et, de façon moindre, celui de Moyen Vic sont de nature plus perméable, l'infiltration est plus forte, le soutien des débits en période estivale est plus ou moins assuré ; à l'aval, les sous basins de Nomeny et Metz de nature imperméable réagissent rapidement aux précipitations, l'écoulement direct ou peu différé est favorisé au détriment de l'infiltration et par conséquent, les basses eaux sont marquées.

En définitive, du fait du climat et de la structure géologique du bassin, la période hivernale présente des conditions favorables pour l'évolution morpho-dynamique, mais subordonnées cependant à la faible pente du cours d'eau, qui reste l'élément déterminant, et aux vitesses peu élevées qui en découlent. Au contraire, lors de la période estival le climat offre des conditions de stabilité.

Chapitre 4 : Les extrêmes hydrologiques et leurs impacts sur le cours d'eau

Comme on a vu dans le chapitre précédent, le régime hydrologique de la Seille qui est finalement assez contrasté. Au delà, il masque des événements extrêmes situés hors normes, tant pour leur intensité, que pour leur occurrence. L'étude des aléas hydrologiques a pour objectif principal de déterminer leur impact sur le cours d'eau: Celui des inondations pour les crues qui accélèrent le processus érosif et celui lié au manque relatif d'eau en étiage.

Au niveau environnemental, ces événements (crue et étiage) peuvent modifier l'état du cours d'eau et conduire à des conséquences dramatiques. D'un point de vu géomorphologique la montée des eaux est la source de toutes les dégradations réalisées par le cours d'eau ; la période des étiages correspond à une phase de stabilité.

Nous analyserons ces deux phénomènes afin de comprendre leur genèse, leur fréquence et leur impact sur le fond de la vallée de la Seille et sur le cours d'eau. Nous nous intéresserons aussi à l'impact des actions anthropiques sur le fonctionnement hydrodynamique de la Seille pendant ces périodes extrêmes.

I- Les crues dans le bassin de la Seille

Les crues, pour les scientifiques comme pour les gestionnaires ou les citoyens donnent une image dramatique d'une situation exceptionnelle parfois catastrophique. Il existe de nombreuses définitions de crue dans la bibliographie. On retient celle proposée dans le dictionnaire de l'environnement : « gonflement au dessus du débit normal des eaux d'un cours d'eau à la suite de précipitations atmosphériques ou de fontes des neiges». Les crues représentent un phénomène aléatoire dont on connaît la nature et les mécanismes mais dont on ignore les moments et les lieux d'apparition. L'apparition des phénomènes entraîne un fonctionnement inhabituel du cours d'eau. D'un point de vue géomorphologique, les crues jouent un rôle primordial dans les modifications géomorphologiques des lits fluviaux du cours d'eau, (Bravard et Petit, 2000). C'est à ces moments là que le cours d'eau a le plus d'énergie pour déstabiliser le système fluvial habituel. Il transporte des matières abondantes qui agissent d'une façon ou d'une autre sur la stabilité des berges. Cette situation favorise l'érosion et conduit à un élargissement du lit fluvial. L'efficacité des débits de crue est augmentée lorsque ces événements se répètent dans la même année. Un des objectifs de ce chapitre est de déterminer le débit de crue de la Seille et leur fréquence d'apparition dans le bassin. D'autres objectifs consistent à identifier et à comprendre les conditions hydrologiques qui déterminent ces crues ; à évaluer les impacts d'aménagements sur le milieu et plus particulièrement sur le cours d'eau, afin de répondre aux différentes exigences naturelles. Cette étude comprend trois grands axes:

- Une analyse des crues historiques (XIIIème siècle) à partir des documents anciens dont le but est d'apporter le maximum d'informations sur les débordements du cours d'eau et les hauteurs attendues,
- Un traitement des crues contemporaines qui permettra de faire une typologie des crues de la Seille,
- Une étude analytique de deux crues appartenant à deux types différents.

1- Les crues historiques de la Seille

Le recueil des crues historiques recense tous les événements survenus dans la vallée de la Seille (débordement, dommage…), mentionnés et écrits dans les documents d'archives, les ouvrages et les articles de presse locale et régionale, pour la période allant du XIVème siècle (le plus ancien événement trouvé aux archives) jusqu'en 1964 (la dernière année avant

l'installation des stations hydrométriques sur la Seille). La détermination de ces événements dans le temps historique est assez difficile en l'absence des mesures de débits. Depuis quelques années les études des crues historiques ont pris une grande importance. Plusieurs congrès interdisciplinaires ont eu lieu. Leur objectif était d'aborder les crues, de proposer un modèle de transmission et de constituer une banque de données. En Europe la priorité donnée à ces crues historiques a donné lieu à la création d'une banque de données « Euro - Climhist », qui est coordonnée par l'Université de Berne (Suisse). Cette banque renferme des informations sur des inondations remontant jusqu'au XVIème siècle.

Il existe plusieurs méthodes pour aborder les crues historiques, selon Ouarda et al. (1993).

- à partir des événements anciens (paléo-hydrologie). - à partir des effets botaniques (des traces sur les arbres, sur les constructions…) (dendrohydrologie).

- à partir des observations enregistrées dans les documents anciens (Paleoflood hydrology). Les deux premières méthodes nécessitent des données dont nous ne disposons pas. C'est la raison pour laquelle notre étude est menée à partir des observations enregistrées dans la littérature ancienne et les archives.

a- Les sources disponibles pour l'information historique

L'analyse des crues historiques à partir de la littérature ancienne et des archives ne date pas d'aujourd'hui, de nombreux auteurs ont exploité cette piste pour extraire l'information historique. À ce sujet on peut citer Thomson, Gannon, Thomas et Hayes (1964); Potter (1978); Cohn (1986), Naulet (2002). Tous ces auteurs ont utilisé la méthode de l'enquête archivistique. En France, plusieurs chercheurs ce sont intéressés à cette méthode, on peut citer en particulier, Dacharry (1996) et Goubet (1997). Dans le bassin de la Seille, les sources consultées pour la collecte de l'information historique sont :

* les documents écrits : ils correspondent aux articles de journaux, aux rapports d'ordre administratif, aux lettres communales envoyées aux autorités, aux notes…, tout ce qui aborde le phénomène des crues dans le bassin. L'information historique a été recherchée aux Archives Départementales de Metz et de Nancy, à la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF), à la DIREN, et dans les mairies des communes traversées par la Seille (Nomeny, Marly, Metz...). Les documents dépouillés pour l'information historique englobent deux échelles : une locale qui concerne juste le bassin de la Seille et l'autre régionale. A titre d'exemple aux Archives Départementales de Metz, la recherche a été ciblée sur des documents qui contiennent des informations historiques en rapport avec le cours d'eau (la Seille), les communes (communes du bassin), la ville (Metz). Les côtes consultées aux Archives Départementales sont les séries M (de 307 M 78 jusqu'à 307 M 381), AL (de 16 AL165 jusqu'à 16 AL 191) et enfin S (5S6 jusqu'à 5S36). La liste établie est complétée par celle de l'atlas des zones inondables (Diren. Lorraine 2004). Les informations trouvées ont servi à créer une base de données.



Photo n°5: Les riverains de la vallée de la Seille ont gravé la hauteur de la crue 1844. (Source : Atlas des zones inondables 2004)

* les marques : elles concernent les traces laissées sur les murs des habitations. Elles représentent une côte maximale atteinte lors d'une inondation. Souvent elles sont accompagnées de témoignages écrits d'habitants qui ont vécu le phénomène. A titre d'exemple, nous avons pu localiser les traces des débordements du 28 février 1944 qui sont gravées sur une plaque devant la porte d'une

maison indiquant la hauteur d'eau atteinte. Malheureusement, ces traces disparaissent au gré des aménagements dans la vallée.

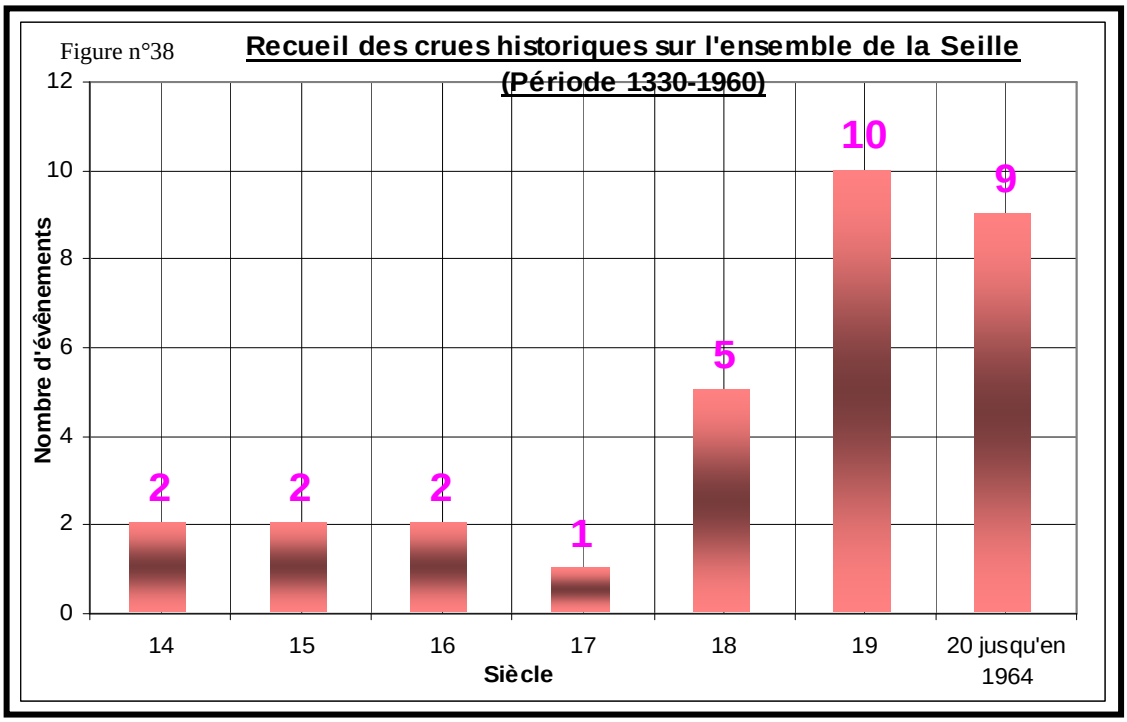
* les témoignages : ils sont recueillis lors des campagnes de terrains (2003 - 2006). Ils concernent les déclarations de la population locale, des citoyens, des riverains, des pêcheurs qui ont un rapport direct avec le cours d'eau, et des agents de l'administration locale, ils permettent de comprendre l'ampleur des débordements de la Seille.

Mais cette collecte de données historiques ne livre pas toujours toutes les informations recherchées sachant que la Moselle a été rattachée à l'Allemagne puis est redevenue française ; une partie de ces documents historiques ont disparu ou sont en langue allemande.

b- Principaux résultats concernant les crues historiques

Le croisement de toutes les informations recueillies permet de dresser un premier bilan des crues historiques de la Seille (figure n°38).

Figure n°38



Les archives permettent de recenser 31 inondations survenues dans la vallée durant six siècles et demi. Il ne s'agit que des inondations majeures qui ont vraiment marqué les riverains de la vallée. On ne trouve pas de trace des autres événements de moindre importance. Ce recueil historique permet de tirer les remarques suivantes :

- Les événements recensés montrent l'apparition de deux inondations majeures par siècle mais à partir du 18ème siècle ces inondations sont plus fréquentes.
- Le bassin de la Seille a connu deux fois des débordements estivaux (1453 et 1480).
- L'événement le plus important selon les archives est l'inondation de décembre 1919 qui a submergé simultanément tout le fond de la vallée de l'amont à l'aval.
- La plus forte hauteur d'eau enregistrée dans ces recueils historiques est de 10 pieds en 1824 et reste pour nous la crue de référence pour la période historique.
- On constate d'ailleurs en cohérence avec les morphologies de la vallée que les débordements prennent une ampleur beaucoup plus grande à l'aval qu'à l'amont. Sur les 31 crues recensées plus de 20 crues ont laissé des dégâts plus importants à l'aval que dans le reste du bassin.

Ces inondations majeures peuvent être en relation avec les types de temps qui ont régné pendant la période historique, ce qu'on peut vérifier à l'échelle nationale. Les études concernant le climat en Europe occidentale et en France, plus particulièrement, parlent de l'existence de deux oscillations majeures : « le Petit Age Glaciaire » et le « réchauffement récent ». La première va du XVIème siècle à la fin du XIXème, elle se caractérise par des printemps et des étés froids. La deuxième, commence vers 1856, et est caractérisée par un réchauffement climatique, (le Roy Laduire, 1983). Selon, le même auteur, on peut dire qu'il existe deux périodes, une de crise et l'autre de calme hydrologique. Lors de la crise hydrologique, les crues ont caractérisé la saison estivale. Lors de l'accalmie hydrologique les étés étaient chauds et secs.

Finalement, ce recueil historique donne des informations précieuses sur les caprices de la Seille pendant la période historique. Il s'agit donc de phénomènes exceptionnels, non seulement par les dégâts provoqués mais aussi par l'extension géographique des submersions dans le bassin. Ces débordements ont eu des impacts sur le paysage, traduis par un recul des terres cultivées. Depuis, malgré les actions anthropiques menées au sein du bassin, les débordements sont toujours là, et les conditions qui ont provoqué ces débordements historiques peuvent se reproduire.

2- Les crues contemporaines :

La période contemporaine démarre en 1965 avec l'installation des stations hydrométriques (limnigraphie, mesure de débit). Les mesures effectuées sont parfois complétées par des photographies aériennes des champs d'inondation, des témoignages se rappelant en particulier aux dégâts comme l'effondrement d'une route, d'un barrage, d'un pont.

La vallée de la Seille a fait l'objet de plusieurs études de crues par la Diren Lorraine et l'Agence de l'Eau Rhin Meuse (exemple de ces rapports : crue du 16 octobre 1981, crue de février 1997). Les résultats de ces études ont servi à appréhender ces crues. L'analyse des crues contemporaines s'appuie sur les données des débits journaliers de la chronique 1965 - 2004, pour la station de Metz, 1971 - 2004 pour les stations de Nomeny et de Château-Salins et 1986-2004 pour la station de Moyen Vic. Cette analyse poursuit trois objectifs.

- déterminer la variabilité des débits moyens journaliers maximaux ainsi que leurs valeurs fréquentielles.
- déterminer un débit de crue pour la Seille et réaliser une typologie des crues.
- analyser finement les crues représentatives.

a- Variabilité des débits moyens journaliers maximums (Qmj max)

Les débits moyens journaliers maximaux (Qmj max) sélectionées à la station de Metz, sont visualisés dans le graphique n°39.

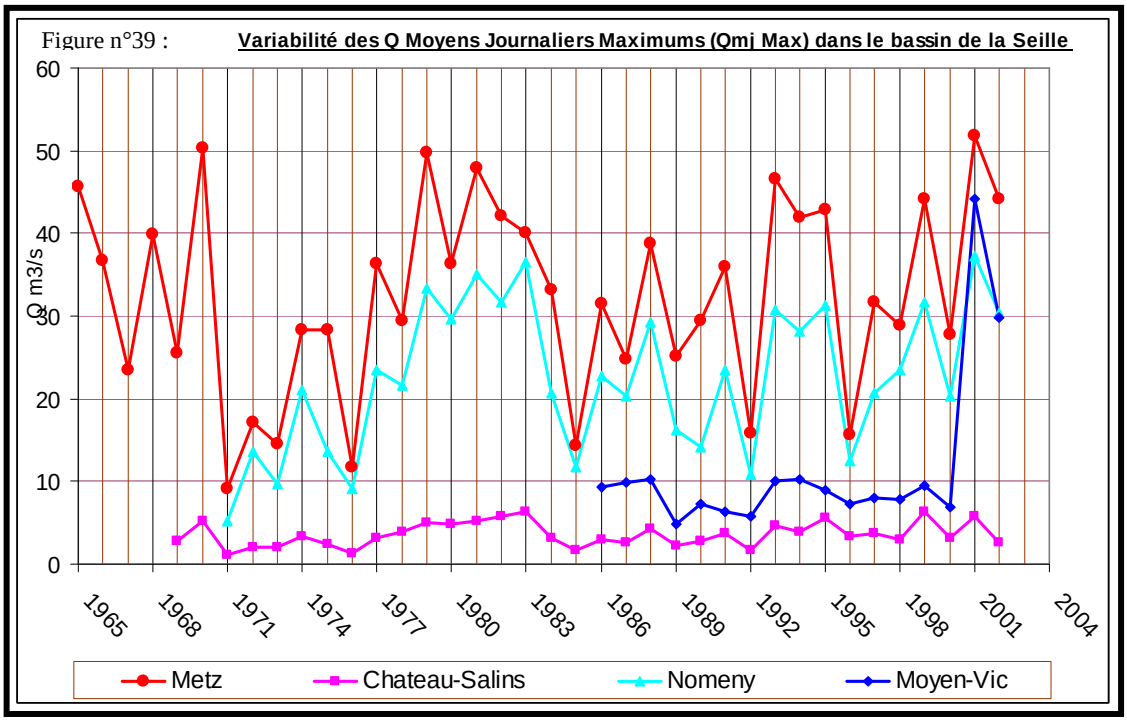
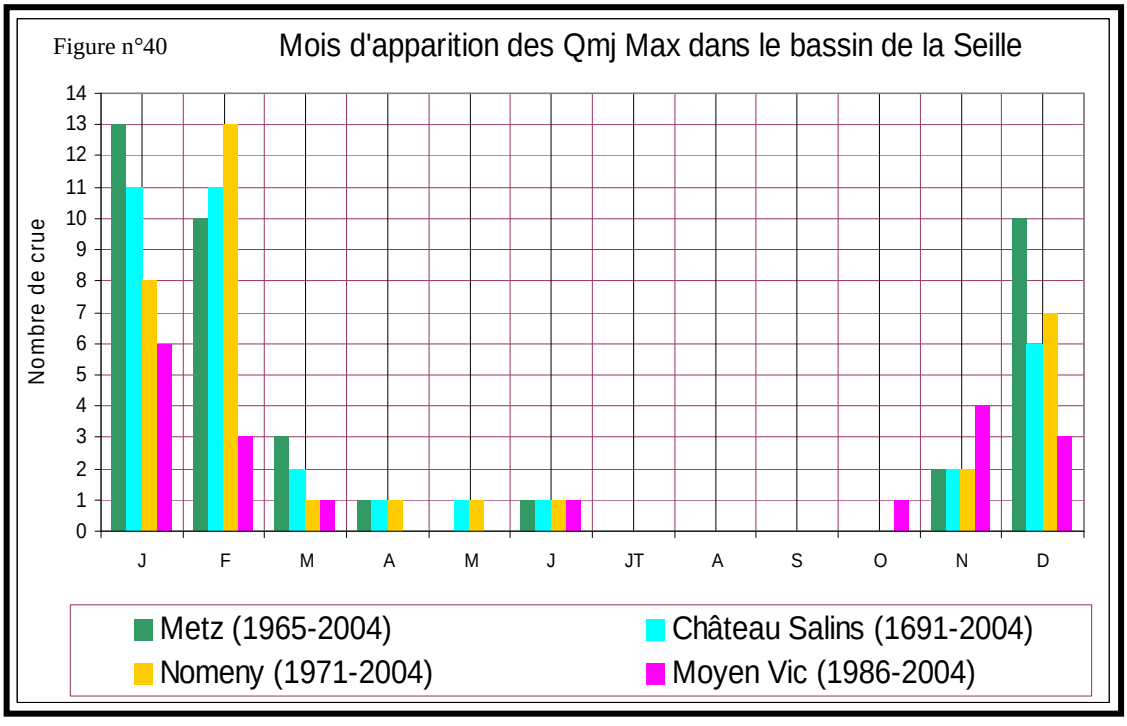


Tableau n° 40 : Variation des Qmj Max dans le bassin versant de la Seille

B.V	A (km²)	Moyennes des Qmj Max	Ecart - type	C. de variation %
Moyen Vic 1986-2004	371	11,3	9,5	84
Château-Salins 1969 -2004	155.8	3,6	1,4	39
Nomeny 1971-2004	923	22,5	8,7	38
Metz 1965 - 2204	1269,3	32,6	11,5	35

On peut souligner la forte variabilité interannuelle des Qmj Max dans le bassin de la Seille, en témoignent les coefficients de variation. Si cette variation est presque identique à Château-Salins et Nomeny, elle est très forte à Moyen Vic 84 % et faible à Metz 35 %.

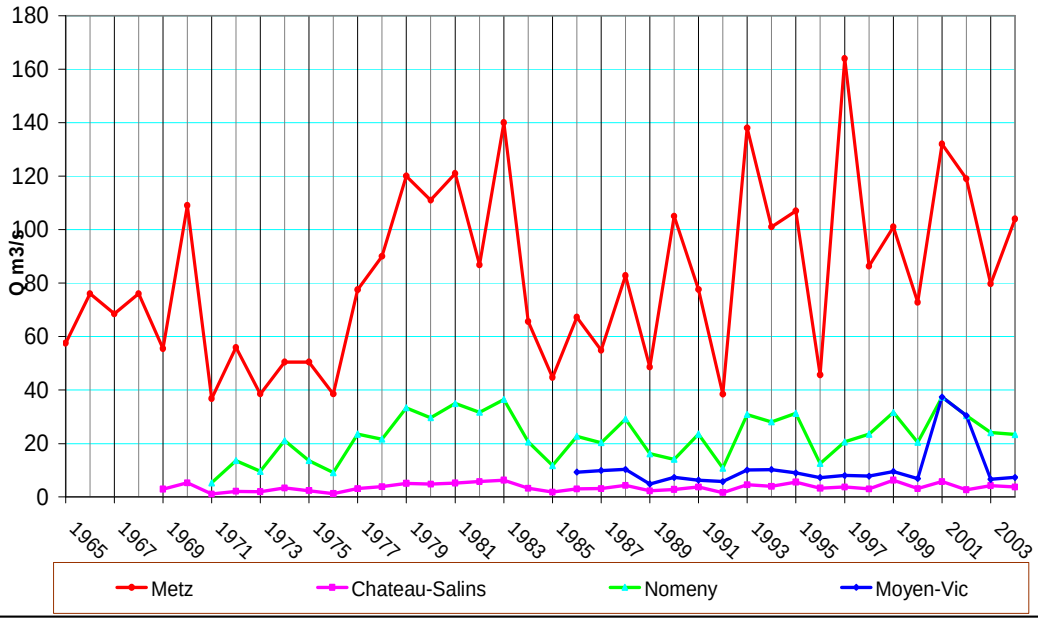


La plupart de ces débits moyens journaliers maximum (Qmj max) surviennent en hiver, faible évapotranspiration et ruissellement sur un substratum majoritairement imperméable. Cependant, on enregistre quelques anomalies, comme en 1987 dus au caractère exceptionnel des pluies : 74 mm en avril, 151 mm tombées en mai et 158 mm en juin.

b- Variabilité des débits instantanés

Plus en détail et à l'image des Qmj Max, les débits instantanés se caractérisent par une forte variabilité (graphique n°41).

Figure n° 41 **Variabilité des Q intantanés dans le bassin de la Seille**



Le maximum de ces débits à Metz peut atteindre 164 m 3/s enregistré en janvier 1997 (16 fois le module normal de la Seille) ; quant au minimum absolu de ces maximums, il peut descendre jusqu'à 36 m 3/s enregistré en janvier 1971 (trois fois et demi le module normal de la Seille). Les mêmes remarques peuvent être faites pour les autres stations.

c -Analyse fréquentielle des débits instantanés

L'analyse est faite à partir des débits instantanés des chroniques précédentes. Différentes lois sont testées afin de déterminer celle qui s'ajuste le mieux à ces échantillons. Finalement, les valeurs s'ajustent le mieux avec la loi Fréchet pour le sous bassin de Moyen Vic et la loi Gumbel pour les autres sous bassins (tableau n°41).

Tableau n°41: Fréquence de retour pour les Q instantanés dans le bassin de la Seille

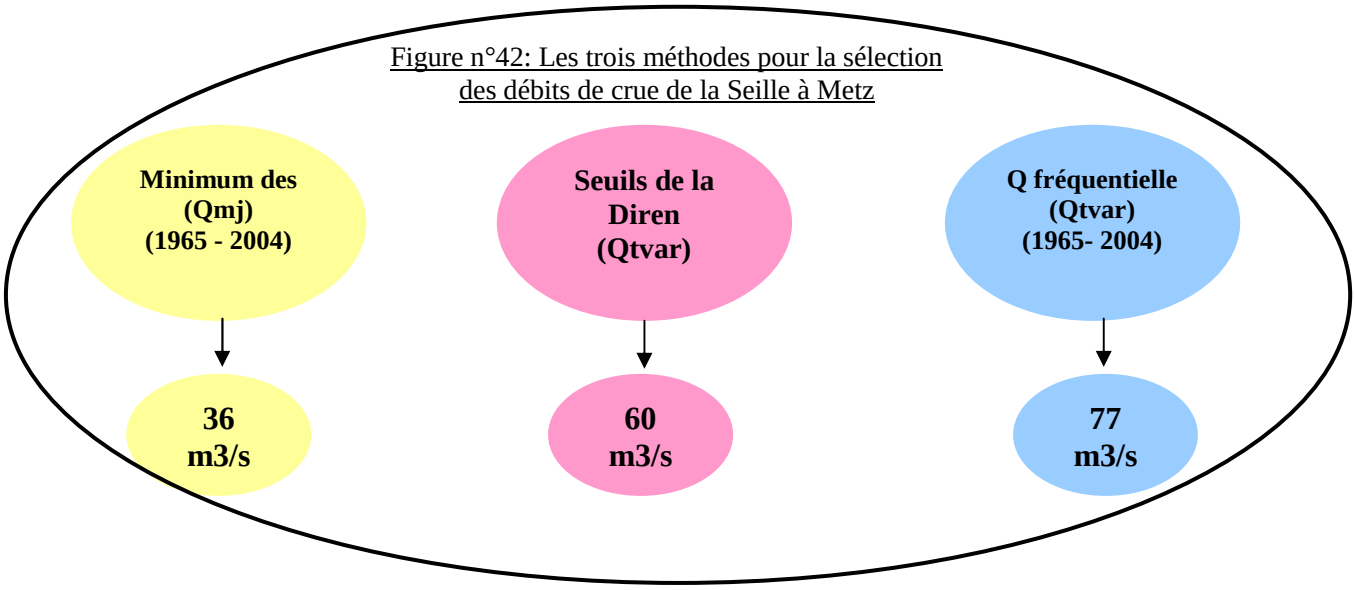
B .V	**Surface Km²**	**Fréquence 1 /2**	**Fréquence 1/5**	**Fréquence 1/10**	**Fréquence 1/50**
Moyen Vic1986 - 2004	348,9	26,2	40,1	53,2	99,1
Château-Salins 1969 - 2004	145,5	13,1	19,6	23,9	33,4
Nomeny 1971 - 2004	918,8	54,6	76,9	91,7	124,1
L'ensemble de la Seille 1965 - 2004	1264,3	77,0	105,8	124,8	166,6

D'après ces valeurs, on constate que le débit instantané le plus élevé du bassin a une fréquence de 1/50. Il s'est produit une fois en 1997. En ce qui concerne les débits aux autres fréquences, on a mesuré 12 fois le débit de la fréquence 1/5, 4 fois celui de la fréquence 1/10. Ces débits fréquentiels servent de référence pour les aménagements du cours d'eau.

d- Détermination des débits de crue

Il s'agit de déterminer à partir de quel débit nous pouvons considérer que la Seille est en crue à Metz et que l'érosion est active. . Dans la bibliographie, la définition des débits de crue fluviale laisse présager une certaine confusion. Frécaut (1971), distingue les débits de crues par leurs fréquences et leur conséquence morpho dynamique. Laborde (1982), définit le débit de crue comme étant égal à 2 à 3 fois le module. Pour Réméniéras (1986) il est égal 3 à 5 fois le module. Les gestionnaires quand à eux (Diren pour le bassin de la Seille), proposent des seuils calculés à partir des grandes crues de la rivière. Ces définitions paraissent loin de notre objectif. Ainsi avons-nous cherché d'autres moyens qui permettent de déterminer un débit de crue utile à la problématique d'étude.

Figure n°42: Les trois méthodes pour la sélection des débits de crue de la Seille à Metz



1-1 Aspect méthodologique

** La première méthode se base sur les débits moyens journaliers maximums de chaque année de la chronique 1965 – 2004. On considère que la Seille est en crue lorsque le Q est supérieur au minimum repéré au cours de la période 1965-2004, soit 36 m3/s à la station de Metz. Il correspond à trois fois et demi le module (on n'est pas loin des débits de crues proposées par Laborde et Réméniéras).

** La deuxième méthode se base sur les seuils d'alerte de débordement proposés par la Diren (tableau n°42).

Tableau n°42: Les seuils d'alerte proposés par la Diren sur le cours d'eau de la Seille

Bassin versant	Pré alerte	Alerte	Grave
La Seille à Metz	60 m3/s	90 m3/s	10 5m3/s

On constate trois niveaux :
- Pré alerte : juste avant le débordement.
- Alerte : le débit débordant couvre le lit majeur.
- Grave : le débit inonde les maisons.

Ce débit de crue est de 60 m3/s, ce qui correspond à six fois le module. Mais cette valeur néglige les événements de moindre importance qui peuvent être importants sur le processus dynamique.

** La troisième méthode est celle des débits fréquentiels qui sont calculés à partir des débits instantanés journaliers maximums de la période 1965-2004 et qui correspond à la

fréquence ½. Ce débit de crue est de l'ordre de 77 m3/s, ce qui correspond à sept fois et demi le module.

1-2 Les résultats

Nous avons effectué sur toute la série d'étude 1965 - 2004, un premier recensement des événements présentant un Q > 36 m3/ à Metz.

Tableau n°43: Recensement des crues de la Seille (1965-2004) par la première méthode

	>36 m3/s <40 m3/s	>40 m3/s <50 m3/s	>50 m3/s <60 m3/s	>60 m3/s <70 m3/s	>70 m3/s <80 m3/s	>80 m3/s <90 m3/s	>90 m3/s <100 m3/s	> 100 m3/s	total
1965 - 2004	**25**	**34**	**17**	**7**	**8**	**5**	**1**	**12**	**109**

On dénombre ainsi 109 crues soit plus de 3 crues par an. Mais si nous retenons le débit de 60 m3/s (seuil de la Diren Lorraine), on dénombre 33 crues. Enfin, si on considère que le débit de crue correspond à 77 m3/s (troisième méthode), les résultats obtenus ne donnent plus que 18 crues soit moins d'une crue par an.

Ce qui parait important, c'est de savoir lequel des trois débits peut avoir le plus d'impact sur la dynamique fluviale. Pour répondre à ces questions, nous proposons de réaliser une typologie des crues de la Seille dont le débit ne sera pas l'unique critère. D'ailleurs, la saison de l'apparition, la forme de l'hydrogramme et le déroulement de la crue jouent des rôles importants.

e- Typologie des crues de la Seille

D'après la bibliographie, les crues appartiennent en général à trois grandes familles (Diren Base Normandie, 2004) :

*** Les crues de plaine : Dues aux précipitations, et parfois par des montées de nappes phréatiques, elles se traduisent par des montées d'eau longues (supérieures à une journée), et une durée de submersion qui peut atteindre quelques semaines. Généralement, ces crues provoquent des dommages principalement dus à la durée de submersion et aux hauteurs d'eau atteintes. Ce type de crue concerne les rivières et les cours d'eau à pente faible. Il entraîne une érosion peu importante.

*** Les crues torrentielles : elles résultent de l'accélération de la montée du débit suite à de fortes précipitations et une durée de submersion courte. Ce type de crues caractérise les cours d'eau à pente forte avec des écoulements très chargés. La montée d'eau est très rapide, la durée de submersion est très courte, les dommages sont toujours importants en raison de la violence et de la force du courant. Ce type de crue se caractérise par une forte érosion des lits fluviaux.

*** Les crues du ruissellement pluvial : elles peuvent parfois se produire hors du cours d'eau, souvent dans des zones urbaines fortement imperméabilisées. Elles se manifestent par des ruissellements intenses, liés à des orages violents et brusques qui ne durent que quelques heures. C'est un phénomène très localisé qui peut réactiver de petits cours d'eau temporairement. Ces crues provoquent une érosion forte à moyenne selon la violence du courant et la durée de submersion.

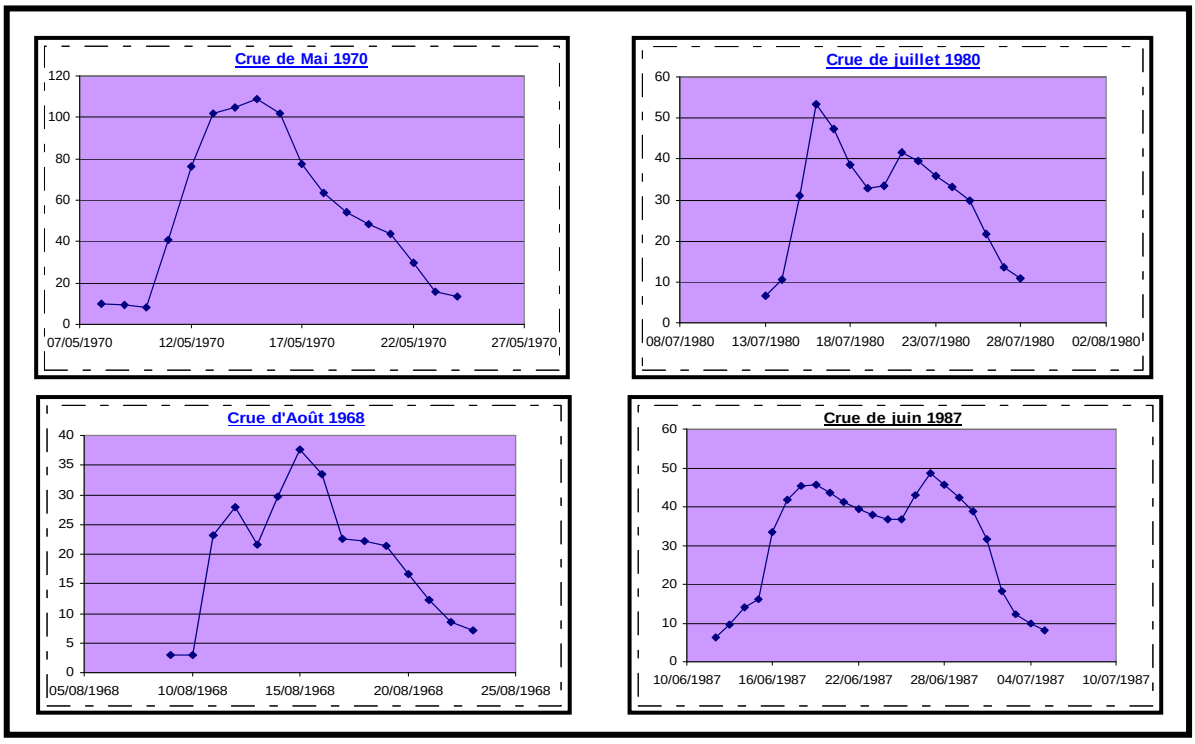
A partir de cette classification, les crues de la Seille appartiennent à la première catégorie des crues de plaine, accompagnées d'une faible érosion. Mais dans le détail, elles présentent de nombreuses variantes. Nous proposons de réaliser une typologie des crues de la Seille, pour un Q j > 36 m3/s (trois fois et demi le module) afin de sélectionner le maximum d'événements.

1-1 Les grands types de crue de la Seille

Pour permettre l'identification du comportement hydrologique, nous avons déterminé les crues par saison : crues des basses eaux, crues de fin de basses eaux, crues de hautes eaux et crues de fin de hautes eaux. A l'intérieur de ces grands types de crue, on a distingué les crues simples (crues monogéniques d'après Loup, 1994), qui se caractérisent par une seule montée et les crues complexes se caractérisent par plusieurs montées.

** Les crues des basses eaux (été) : Elles sont le fait de précipitations très intenses sur un bassin majoritairement imperméable, dans un temps très court (peu d'infiltration et d'évaporation mais de ruissellement important).

Figure n°43: Les crues des basses eaux (été) à la station de Metz1965-2004



Généralement ces crues, à déclenchement rapide, ne durent que quelques jours. Sur les 109 crues, seulement 4 se sont produites pendant la période des basses eaux : en août 1968, en mai 1970, en juillet 1980 et enfin en juin 1987. La plus longue de ces crues c'est produite en juin et a duré 24 jours, la plus courte a duré 15 jours (crue d'août).

Tableau n°44: Les caractéristiques des crues de basses eaux de la Seille 1965-2004

	Q pointe (m3/s)	Temps de montée (jours)	Temps de descente (jours)	Durée (jours)	Forme	Caractéristiques
Août 1968	37,6	5	8	15	Complexe	2 Pics
Mai 1970	105	5	9	17	Simple	1 Pic
Juillet 1980	47,3	3	12	16	Complexe	2 Pics
Juin 1987	48,7	15	8	24	Complexe	1 Pic
Total des crues 4	Q Min : 37,6 Q Max : 105	T M Min : 3 T M Max : 15	T D Min : 8 T D Max : 12	D Min : 15 D Max : 24	Crues Simples : 1 Crues Complexes : 3	

Ces crues de basses eaux donnent des débits de pointe le plus souvent modestes mis à part l'événement de mai 1968 qui avait un débit de pointe de 105 m3/s. Sur les quatre crues dénombrées, seule une crue est simple et les trois autres sont complexes avec au moins deux pics. Quant aux durées de ces crues, elles ont généralement une montée sur quelques jours et

une descente qui ne dépasse rarement 8 jours. Ces crues durent longtemps de 15 jours à 3 semaines, ce qui paraît beaucoup pour des crues d'été.

**Les crues de la fin de basses eaux (automne): elles ont les mêmes caractéristiques que les crues d'été avec une augmentation des hauteurs d'eau plus importantes correspondant à la diminution des lames d'eau évaporées. Les crues de cette période peuvent être influencées par les vidanges de l'étang de Lindre (septembre, octobre et novembre).

Figure n°44: Les crues de la fin des basses eaux (automne) à la station de Metz1965-2004

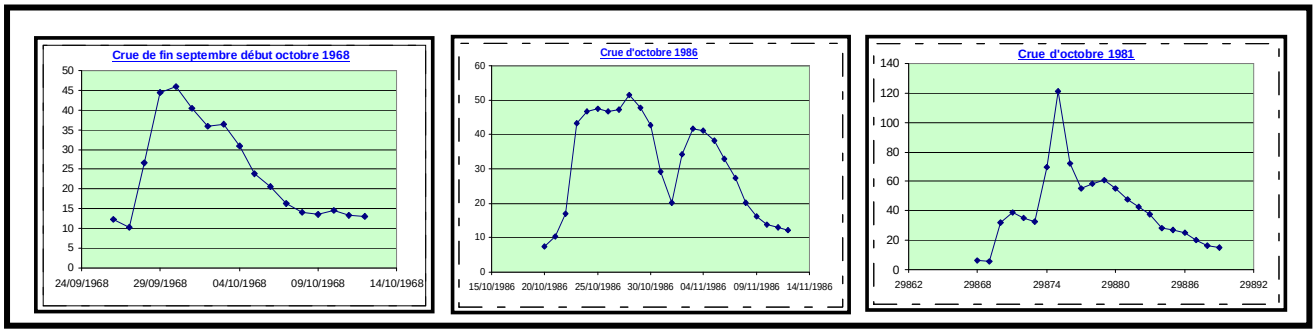


Tableau n°45: Les caractéristiques des crues de fin des basses eaux à Metz 1965-2004

	Q pointes (m3/s)	Temps de montée (jours)	Temps de descente (jours)	Durée (jours)	Forme	Caractéristiques
Septembre1968	46	3	8	13	complexe	2 Pics
Octobre 1986	51,5	8	15	23	complexe	2 Pics
Octobre1981	121,5	6	14	20	complexe	3 Pics
Total des crues 3	Q Min : 46 Q Max : 121,5	T M Min : 3 T M Max : 8	T D Min : 8 T D Max : 15	D Min : 13 D Max : 23	Crues Complexes : 3 Crues Simples : 0	

Finalement on ne dénombre que trois crues qui se sont produites pendant cette période dite influencée par les vidanges de l'étang de Lindre. Sur les trois crues enregistrées deux sont observées en octobre et une en septembre. Comme pour les crues des basses eaux, les crues de la fin des basses eaux donnent des volumes de crue et des débits de pointe modestes. Les trois crues dénombrées ont une forme complexe avec au moins deux pics. En terme de durée, ces crues durent un peu plus longtemps que les crues d'été avec en moyenne 21 jours (la plus longue a une durée de 23 jours et la plus courte a duré 13 jours).

** Les crues des hautes eaux (hivernales) : elles surviennent lorsque le ruissellement est maximum. Cette catégorie comprend le plus d'événements. Le tableau n°46 présente les caractéristiques de ces crues.

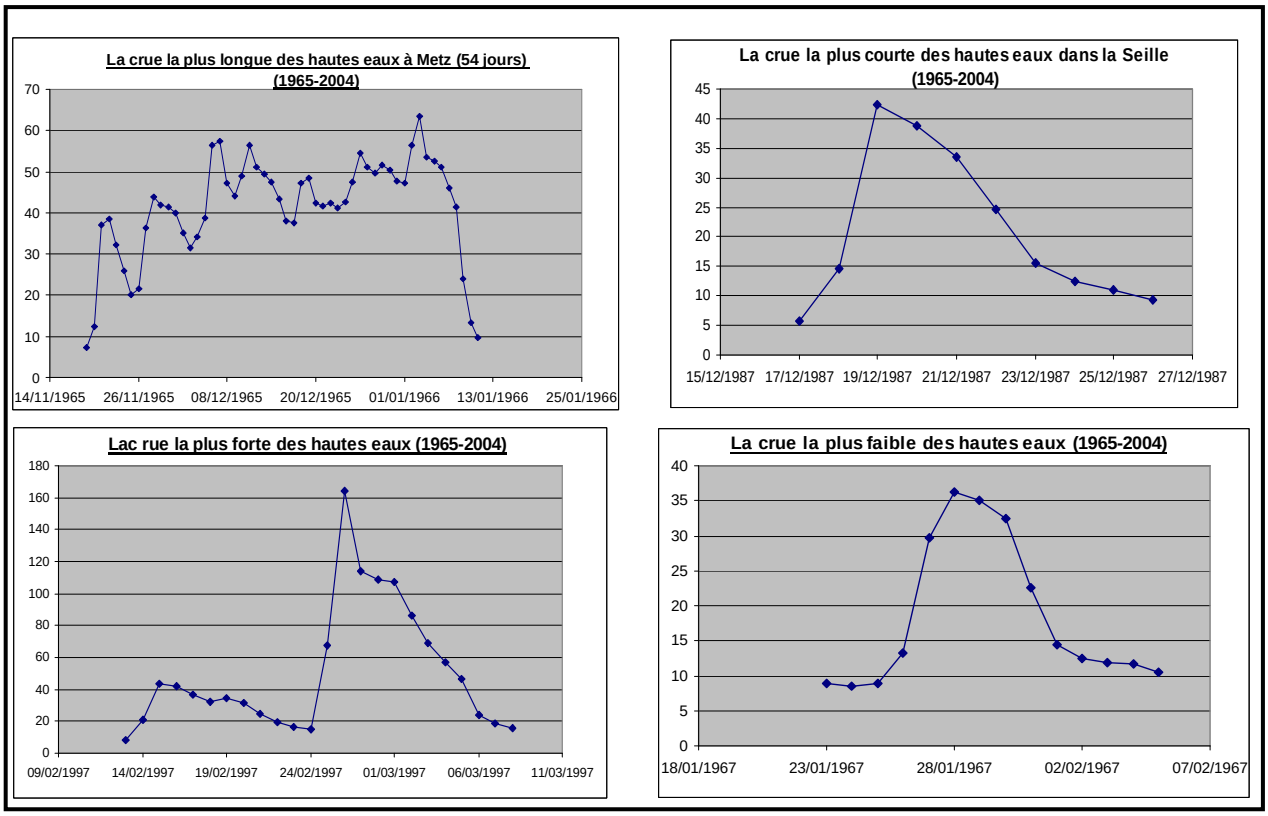
Tableau n°46: Les caractéristiques des crues des hautes eaux dans le bassin de la Seille à la station de Metz 1965 - 2004

Crues	Q Pointe (m3/s)	Temps De montée (Jours)	Temps De Descente (Jours)	Durée (Jours)	Forme	Caractéristiques
Décembre 1965 et Janvier 1966	63,5	44	8	54	Complexe	8 pics
Janvier et Février 1965	45,1	16	7	24	Complexe	3 pics
Janvier et Févier 1966	54,5	4	33	39	Complexe	6 pics
Décembre 1966 et Janvier 1967	76,0	15	26	40	Complexe	5 pics
Janvier et Février 1967	36,2	2	7	14	Simple	1 pic
Décembre 1967 et Janvier 1968	76,0	32	12	45	Complexe	5 pics
Février 1968	38	4	14	20	Complexe	4 pics
Février 1969	55,5	3	11	18	Complexe	2 pics
Février 1970	89	7	24	33	Complexe	3 pics
Janvier 1971	36,8	4	7	13	Simple	1 pic
Novembre 1972	55,9	6	8	15	Simple	1 pic
Novembre et Décembre 1974	50,5	23	14	38	Complexe	5 pics

Février 1974	45,5	2	7	13	Complexe	2 pics
Janvier et Février 1975	55	7	8	16	Simple	1 pic
Févier 1977	77,5	16	11	28	Complexe	3 pics
Janvier 1978	44,5	2	16	22	Complexe	2 pics
Février 1978	90	3	10	15	Complexe	2 pics
Novembre 1979	41,5	4	9	17	Complexe	3 pics
Févier 1979	120	13	10	24	Complexe	3 pics
Décembre 1980	40	3	12	16	Complexe	3 pics
Décembre 1979 et Janvier 1980	75,3	7	29	38	Complexe	4 pics
Janvier 1980	43,5	3	6	11	Complexe	4 pics
Févier 1980	111	7	9	18	Simple	1 pic
Janvier 1981	60,9	8	6	15	Complexe	2 pics
Janvier 1981	41,1	2	9	13	Simple	1 pic
Février1981	38,1	2	8	12	Simple	1 pic
Décembre 1981 et Janvier 1982	109	33	18	52	Complexe	6 pics
Février 1982	74,7	9	8	18	Complexe	Pics
Novembre 1984	46,6	2	10	16	Simple	1 pic
Janvier et Févier 1984	65,6	26	8	34	Complexe	5 pics
Janvier 1985	44,7	4	12	18	Complexe	3 pics
Février 1985	37,4	1	7	10	Simple	1 pic
Janvier 1986	67,2	13	9	24	Complexe	3 pics
Décembre 1986 et Janvier 1987	54,9	20	8	29	Complexe	4 pics
Décembre 1987	42,4	1	7	10	Simple	1 pic
Février 1987	46,3	2	11	16	Complexe	1pics
Mars 1987	46,3	2	11	16	Complexe	1pics
Décembre 1988	64,3	10	8	19	Complexe	3 pics
Janvier et Févier 1988	82,8	42	8	51	Complexe	8 pics
Décembre 1989	43,2	9	6	16	Complexe	3 pics
Janvier 1990	38,2	2	7	12	Simple	1 pic
Février 1990	105	4	8	14	Simple	1 pic
Décembre 1990 et Janvier 1991	77,6	22	7	30	Complexe	5 pics
Décembre 1991	37,8	3	8	13	Simple	1 pic
Novembre 1992	37,4	6	6	14	Complexe	2 pics
Janvier 1993	65,2	3	9	14	Simple	1 pic
Décembre 1993 et janvier 1994	138	16	25	42	Complexe	4 pics
Février 1994	46,5	12	9	22	Complexe	2 pics
Décembre 1994 Janvier 1995	48,3	15	6	23	Simple	1 pic
Janvier 1995	107	5	11	18	Complexe	2 pics
Février 1995	39,6	12	7	21	Complexe	2 pics
Décembre 1995	38,6	3	6	11	Simple	1 pic
Février 1996	41,8	7	8	17	Complexe	2 pics
Novembre 1996	45,7	7	19	27	Complexe	5 pics
Janvier 1997	51,8	4	10	16	Simple	1 pic
Févier 1997	164	15	10	24	Complexe	3 pics
Décembre 1997	50,4	8	16	28	Complexe	3 pics
Novembre 1998	86,3	6	10	18	Simple	1 pic
Décembre 1998	42,2	4	12	18	Complexe	2 pics
Février 1999	37,1	3	7	13	Simple	1 pic
Décembre 1999 et Janvier 2000	101	19	9	29	Complexe	3 pics
Févier 2000	43,1	11	10	23	Complexe	3 pics
Novembre 2000	52	4	9	15	Simple	1 pic
Novembre 2001	40,9	6	8	16	simple	1 pic
Janvier et Février 2001	48,5	16	7	24	Complexe	3 pics
Janvier 2001	54,4	10	8	21	Complexe	3 pics
Décembre 2001et Janvier 2002	132	6	9	16	Simple	1 pic
Janvier 2002	50,2	12	4	18	Complexe	3 pics
Févier 2002	80,8	15	17	31	Complexe	5 pics
Novembre 2002	36,8	13	15	29	Complexe	4 pics
Décembre 2002 et Janvier 2003	79,7	15	8	25	Complexe	3 pics
Janvier et Février 2003	39,4	19	7	27	Complexe	4 pics
Janvier 2004	104	7	14	22	Complexe	2 pics
Total des crues : 73	Q Min : 36,2 Q Max : 164	T M Min :1 T M Max : 44	T D Min : 4 T D Max : 33	D Min : 10 D Max : 54	Complexes : 51 Simples : 22	

Les crues les plus spectaculaires enregistrées pendant ces 39 ans d'études. Le débit de pointe est été de 164 m3/s en février 1997. Sur les 73 crues, on dénombre 51 crues complexes et 22 simples.

Figure n°45: Exemple des crues hivernales dans le bassin de la Seille à la station de Metz 1965 - 2004



Les crues simples se caractérisent par leur courte durée, sont en moyenne 14 jours (minimum 10 jours et maximum 23 jours) avec un temps de montée qui varie entre une journée (pour les crues courtes) et 15 jours (pour les crues longues). Pour la descente elle dépasse les 10 jours pour toutes les crues.

Les crues complexes sont longues avec une moyenne de 25 jours (maximum 54 jours). La montée de ces crues, varie entre 2 jours (pour les crues dites courtes) et 44 jours (pour les crues longues). La montée longue est essentiellement due à la succession des épisodes pluvieux sur un bassin saturé d'eau ce qui favorise une réponse rapide et provoque des crues complexes. La descente, dure de 4 à 33 jours. Les crues de hautes eaux durent finalement plusieurs semaines.

** Les crues de la fin des hautes eaux (printemps) : sur les 109 crues de la Seille, 29 se déroulent pendant cette période de l'année, ce qui veut dire que les conditions qui favorisent les crues sont encore présentes pendant cette période.

Tableau n°47: Les caractéristiques des crues de la fin des hautes eaux de la Seille à Metz

	Q pointe (m3/s)	Temps de montée (Jours)	Temps de descente (Jours)	Durée (jours)	Forme	Caractéristiques
Mars 1965	43	16	7	24	Complexe	2 pics
Avril 1966	41,9	20	12	34	Complexe	3 pics
Mars 1969	48,1	8	19	29	Complexe	3 pics
Mars, avril 1970	44,7	14	25	42	Complexe	6 pics
Mars 1974	46,3	7	11	19	Simple	1 pic
Mars 1975	49	4	7	14	Simple	1 pic
Mars 1978	48,1	8	17	27	Complexe	4 pics
Mars, avril 1979	53,7	7	29	41	Complexe	6 pics
Mars 1981	37,1	7	7	15	Complexe	2 pics

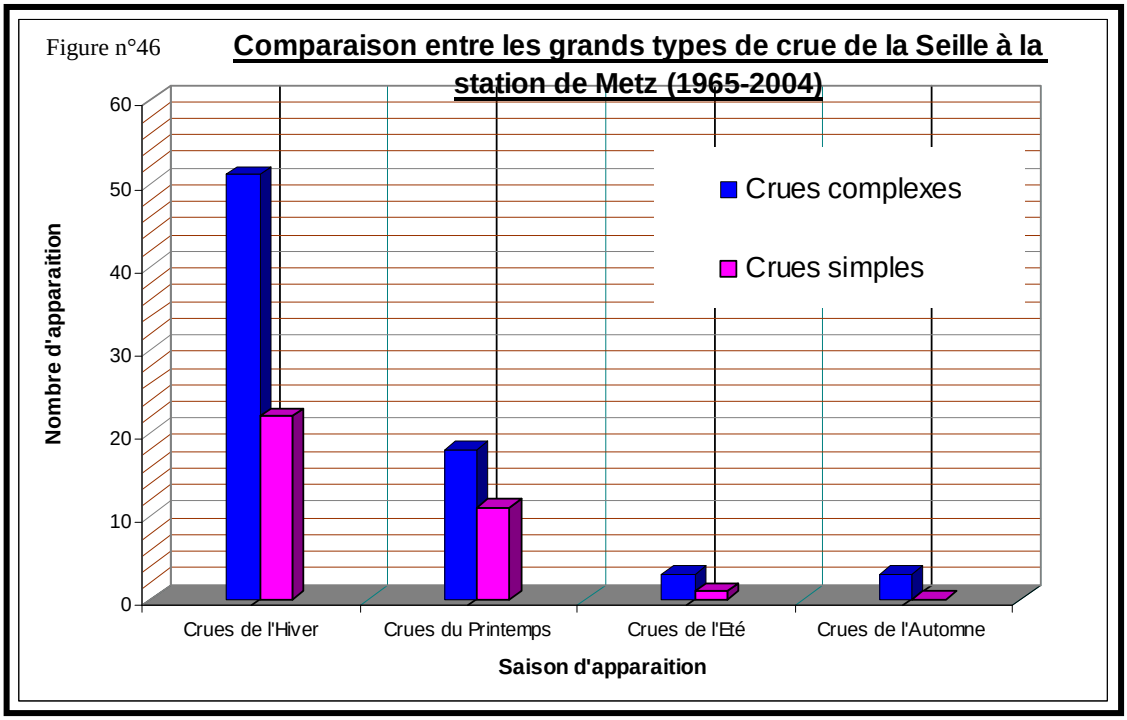
Avril 1984	37,1	2	11	14	Complexe	2 pics
Mars 1986	52,5	3	17	22	Complexe	2 pics
Mars 1986	36	4	8	13	Simple	1 pic
Avril 1986	47,2	3	9	15	Simple	1 pic
Mars 1988	82,2	14	10	25	Complexe	3 pics
Avril 1989	48,6	12	17	32	Complexe	7 pics
Mars 1989	39,3	7	9	17	Complexe	2 pics
Mars 1990	54,2	3	6	11	Simple	1 pic
Mars 1992	38,4	4	7	12	Simple	1 pic
Mars 1994	43,5	3	8	14	Simple	1 pic
Avril 1994	36, 3	6	7	14	Complexe	2 pics
Avril 1995	37, 4	9	6	16	Complexe	2 pics
Mars 1995	61,3	2	16	21	Complexe	3 pics
Avril 1998	39,3	3	10	14	Complexe	2 pics
Mars 1999	75,4	22	7	31	Complexe	3 pics
Mars 1999	37, 8	2	7	10	Simple	1 pic
Mars 2000	39, 5	4	9	14	Simple	1 pic
Avril 2001	37, 3	3	8	12	Simple	1 pic
Mars Avril 2001	110	18	13	33	Complexe	3 pics
Mars 2002	51,2	4	10	15	Simple	1 pic
Total crue : 29	Q Min : 36 Q Max : 110	T M Min : 2 T M Max : 22	T D Min : 6 T D Max : 29	D Min : 10 D Max : 42	Crues Complexes : 18 Crues Simples : 11	

La crue la plus forte enregistrée a un débit de pointe qui atteint les 120 m3/s. La majorité de ces crues a une forme complexe (18) par rapport aux crues simples (11). La crue la plus courte dure 10 jours et la plus longue dure 42 jours. Globalement, ces crues de fin de hautes eaux ont une montée qui varie entre 2 et 22 jours. Les crues complexes durent souvent plus longtemps que les crues simples.

1- 2 Les caractéristiques des crues de la Seille

Le graphique n°46 comporte une comparaison entre ces quatre grands types de crues. L'analyse des résultats montrent que :

Figure n°46

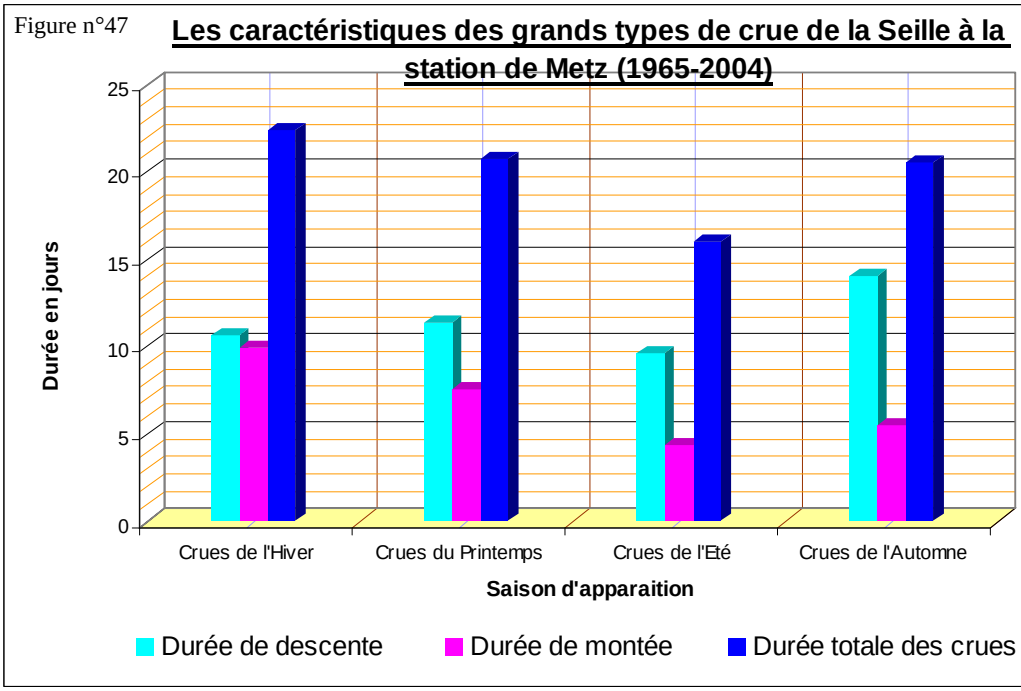


- Plus de ¾ des crues de la Seille apparaissent pendant la période des hautes eaux. - La majorité de ces crues sont des crues complexes (sur les 109 crues, 75 crues complexes et 34 crues simples).

- La durée de ces crues est longue (> 15 jours).
- La montée et la descente des eaux est lente (> 8 jours pour la montée), (> 9 jours pour la descente).

Au final, cette typologie des crues de la Seille permet d'extraire des caractéristiques générales (figure n° 47).

Figure n°47



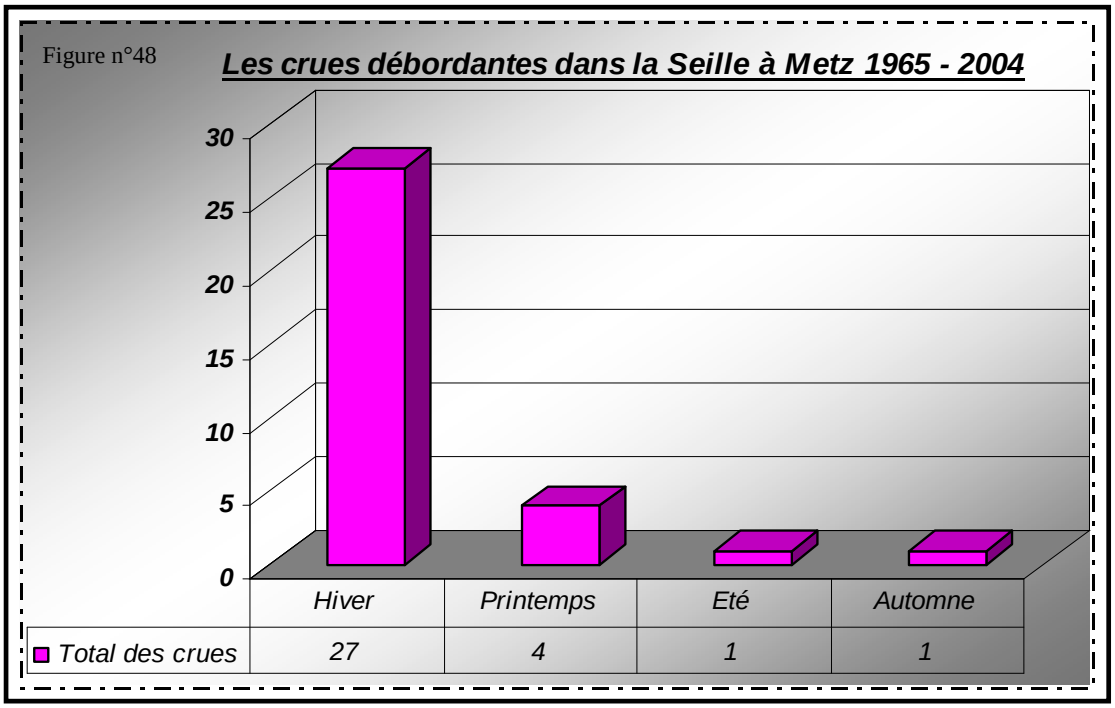
** Les crues simples de la Seille : ce sont des crues rapides en réponse à des précipitations intenses de courte durée qui affectent généralement l'ensemble du bassin. Les exemples les plus caractéristiques sont les suivants, févier 1980 (111 m3/s), février 1990 (105 m3/s), décembre 2001et janvier 2002 (132 m3/s).

** Les crues complexes de la Seille : ce sont des crues lentes avec de multiples montées à cause des précipitations qui se succèdent à un intervalle de temps inférieur au temps de réponse le plus long du bassin ou à cause de longues périodes de précipitations de longue durée. Cela a été le cas des crues de janvier 1995 (107 m3/s), févier 1997 (164 m3/s), janvier 2004 (104 m3/s). La plus lente de ces crues a été enregistrée en décembre 1981 et janvier 1982 avec une durée de 52 jours et un débit de pointe de 109 m3/s.

1-3 Extraction des crues de débordement

Selon les seuils proposés par la Diren, le débit avant le débordement est de 60 m3/s à Metz. Sur les 109 crues que la Seille a connu pour la période 1965 - 2004, seulement 33 sont débordantes (avec un débit supérieur à 60 m3/s).

Figure n°48



La majorité des ces crues débordantes ont lieu en hiver. Quatre ont eu lieu au printemps (mars 1988, mars 1995, mars 1999 et mars avril 2001), une seule en été (mai 1970) et enfin une en automne (octobre1981). Ces 33 crues seulement cinq sont simples caractérisées par leur rapidité. Les vingt-huit autres ont une forme complexe avec une durée supérieure à 20 jours. Sur l'ensemble de l'échantillon, douze ont un débit de pointe supérieur à 100 m3/s. Parmi les questions qui nous occupent, comment se déroulent ces crues (complexes ou simples)? Quelles sont leur vitesse et leurs propagations dans la vallée de la Seille? Enfin, quels sont leurs effets sur le cours d'eau ? Nous proposons pour répondre à ces questions l'analyse de quelques événements récents qui se sont produits dans la vallée de la Seille.

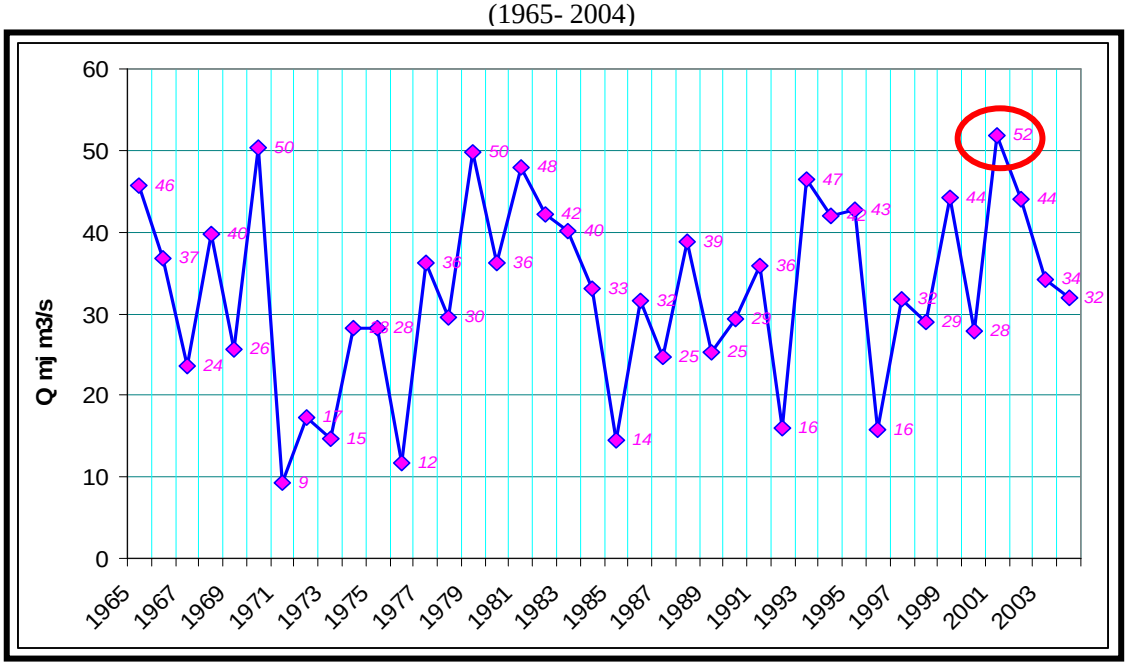
II- Analyse des derniers événements (crues de mars/avril et décembre 2001)

L'étude de quelques événements survenus dernièrement, (SRAEL, 1978), (Diren Lorraine, 1981, 1994, 1996, 2002) donne l'occasion de cerner les problèmes des crues, de comprendre leur genèse, leur propagation et enfin de dégager leurs impacts sur la vallée et la morphologie des lits fluviaux (Bravard. et Petit. 2000).

1- Présentation des crues étudiées

L'analyse se rapporte à deux crues de 2001 (figure n°49 et 50) pour lesquelles les débordements observés ont été photographiés ce qui permet de mesurer l'étendue de la submersion en lit majeur. Elles appartiennent à deux types de crues l'une survenue en période hivernale est de forme simple et la deuxième, survenue au printemps, de forme complexe.

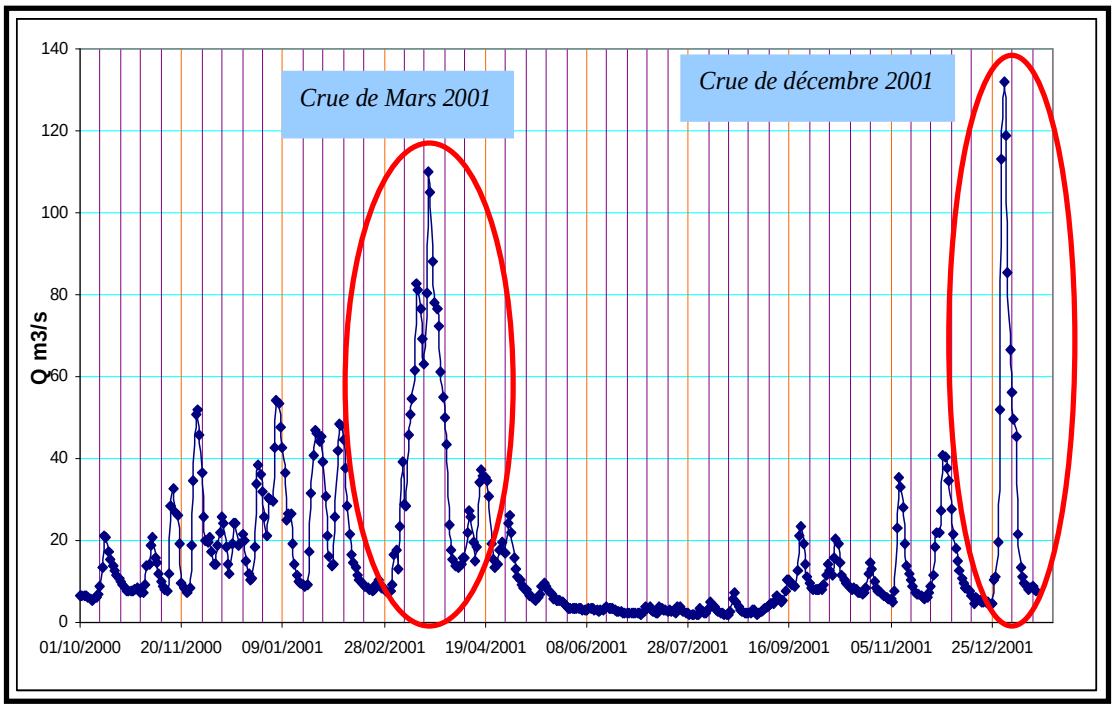
Figure n°49: Présentation des crues étudiées à partir des Q moyens journaliers (Qmj) à Metz (1965- 2004)



- La crue de mars se déroule durant la fin des hautes eaux entre 03/03/2001 et 06/04/01. Elle est caractérisée par sa longue durée : 34 jours.

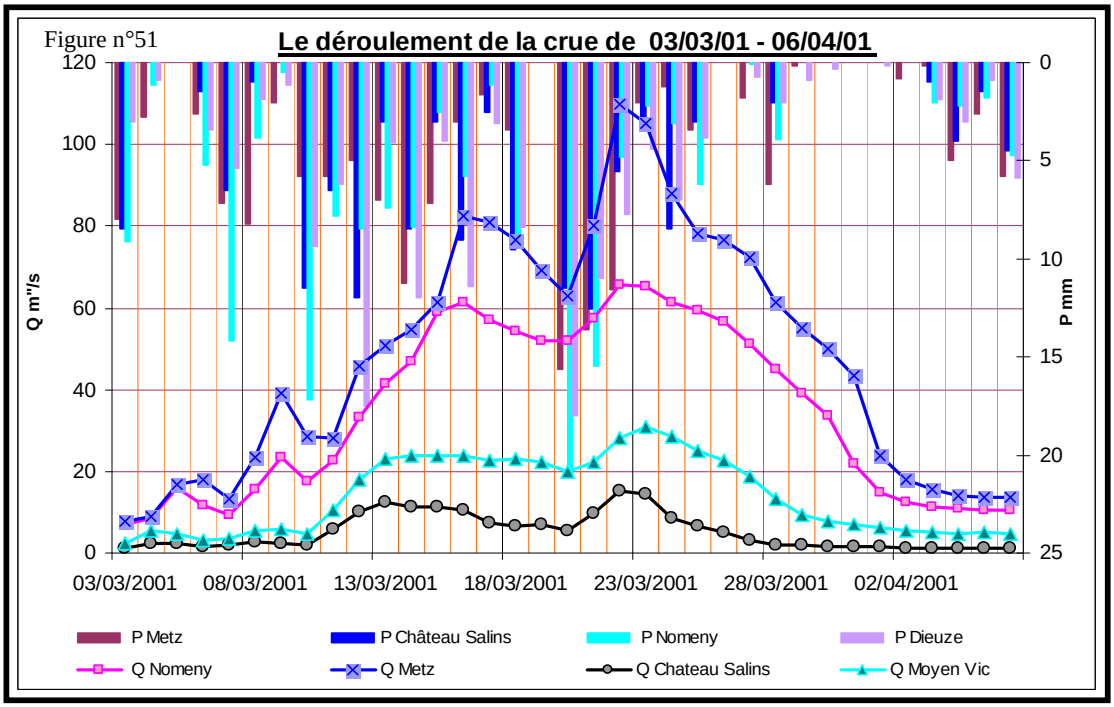
- La crue de décembre se déroule durant la période des hautes eaux de 25/12/2001 jusqu'au 09/01/2002 et dure 16 jours.

Figure n°50: Présentation des deux crues étudiées à partir des Q journaliers à la station de Metz



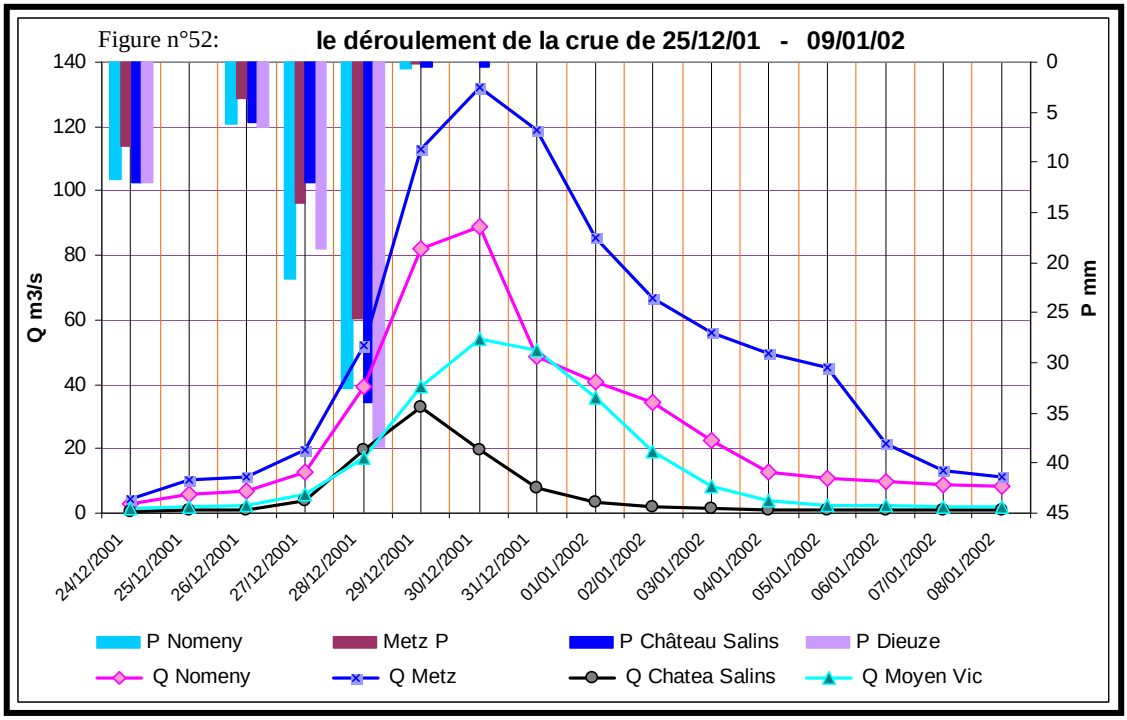
* La crue de mars 2001 fait suite aux 80 mm de précipitations du 03/03/ 2001. Elle est composite avec trois pics qui résultent d'un long épisode pluvieux généralisé et continu mais irrégulier, entrecoupé par quelques rares jours sans pluies (figure n°51).

Figure n°51 **Le déroulement de la crue de 03/03/01 - 06/04/01**



Dans le détail, la crue comprend quatre séquences qui répondent à celle des précipitations :- La première séquence concerne les 8 premiers jours de la crue, elle se caractérise par une montée faible dont le débit de pointe atteint, 42,4 m3/s à Metz, 24,3 m3/s à Nomeny, 6,72 m3/s à Moyen Vic et 3,2 m3/s à Château Salins. – Pour la deuxième séquence on assiste à une autre montée plus puissante même si les précipitations étaient moins fortes que celles de la première séquence. La saturation du sol a favorisé cette montée, avec un débit de pointe de 88,2 m3/s à Metz, 62,2 m3/s à Nomeny, 24,3 m3/s à Moyen Vic et 13,2 à Château-Salins. – Pour la troisième séquence, on assiste à une décrue qui dure quatre jours avant de voir une autre montée très puissante à cause des fortes précipitations. Le résultat est que le débit de pointe atteint son maximum dans les quatre stations. A Metz, on enregistre 113 m3/s (11 fois le module), à Nomeny 66,9 m3/s (huit fois le module), à Moyen Vic 31,1 (neuf fois le module) et enfin 15,8 à Château-Salins (douze fois le module). - La quatrième séquence correspond à la décrue qui dure 14 jours à l'amont du bassin (Moyen Vic et

Figure n°52: **le déroulement de la crue de 25/12/01 - 09/01/02**



Château-Salins) et 15 jours à l'aval du bassin (Nomeny et Metz).

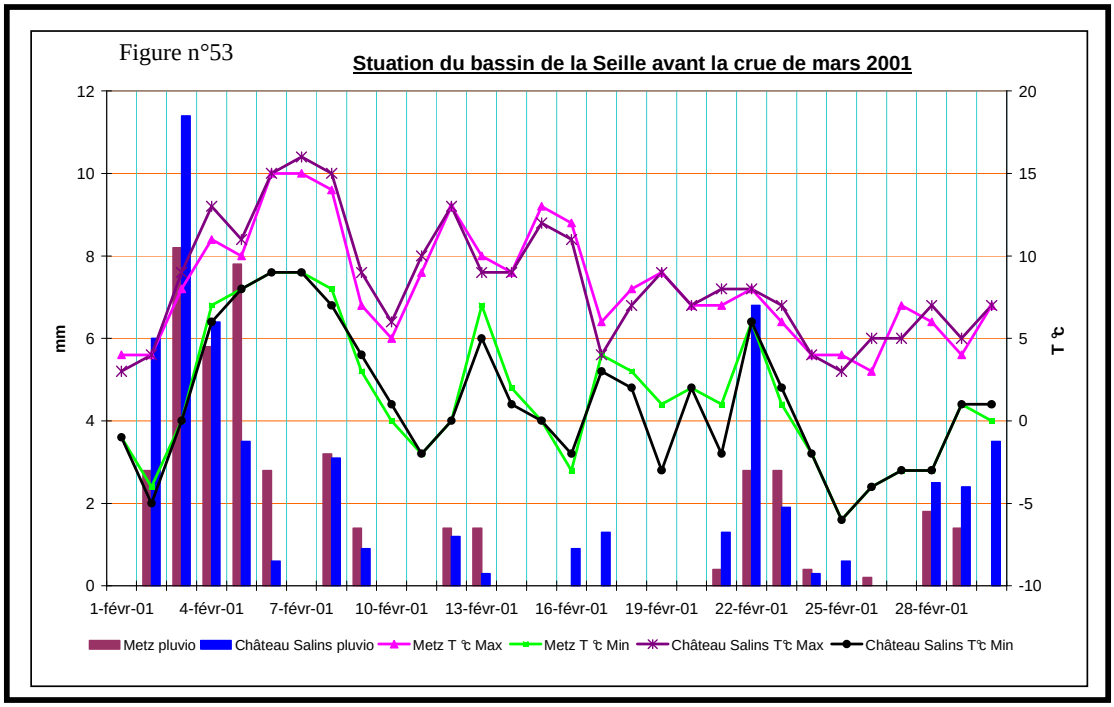
* La crue de décembre 2001 est mois longue (16 jours) et moins complexe. Elle se forme selon un mécanisme différent, caractérisé par une montée brusque (figure n°52). La pointe du 30/12/01 correspond aux très fortes pluies du 28 et 29 décembre (au total 57 mm à Moyen Vic, 46 mm à Château-Salins, 54,3 mm à Nomeny et 39,6 mm à Metz). Ces précipitations ont engendré une montée des eaux qui a durée 4 jours à l'amont du bassin (Moyen Vic et Château Salins) et 5 jours à l'aval du bassin (Metz et Nomeny). La décrue a été aussi rapide à l'amont du bassin car il n'a fallu que trois jours pour la Petite Seille, 4 jours pour Moyen Vic. Au contraire à l'aval il a fallu attendre 8 jours pour que la décrue se face à Nomeny ou à Metz.

Ces deux crues, les plus fortes de la période 1971 - 2004, bien que comparables par leurs débits de pointe (en Q mj de l'ordre de 120 m3/s), sont de genèses différentes.

2- Etat du bassin avant les crues

Si l'on tient compte de la nature imperméable du bassin de la Seille, les pluies survenues en 2001 ont engendré des débits exceptionnels. Nous proposons de dresser l'état initial du bassin de la Seille avant les crues. Les données pluviométriques journalières utilisées sont celles des stations de : Augny, Nomeny, Château-Salins et de Dieuze.

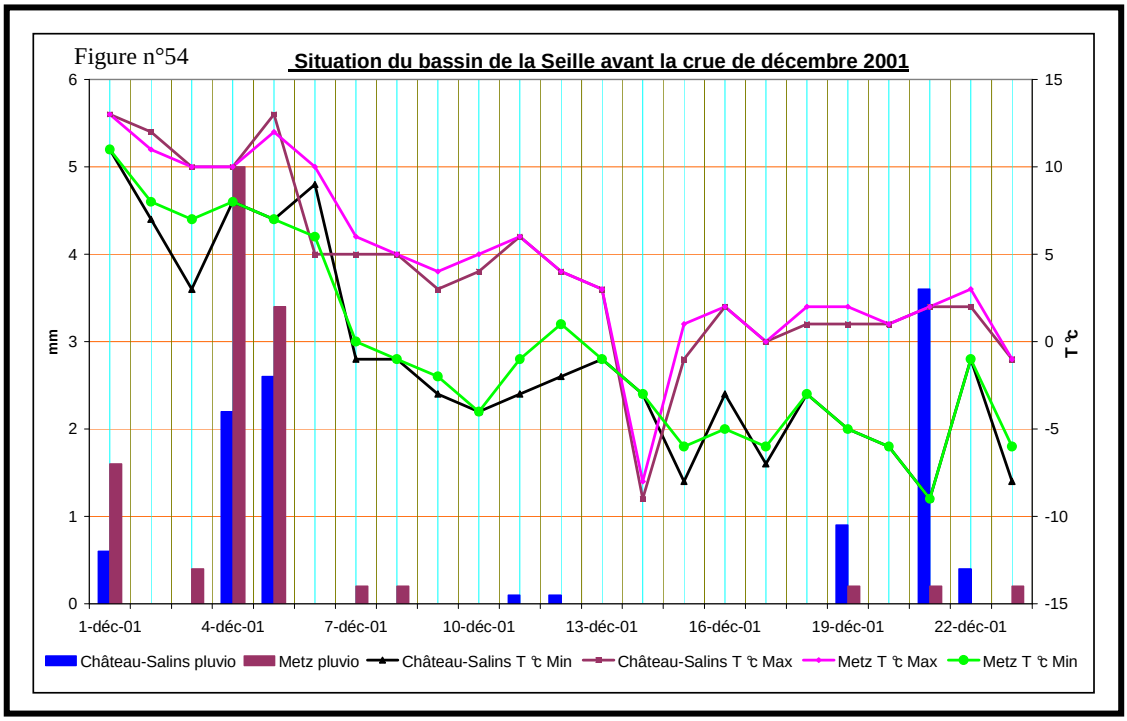
Figure n°53



Pour la crue de mars/avril 2001 (printemps) (figure n°53), les 30 jours précédents cette crue montrent que le bassin de la Seille a été soumis à un temps relativement humide, mais les hauteurs d'eau précipitées restent habituelles par rapport à la saison (voir résultats du bilan hydrologique deuxième partie). La majorité des pluies tombées dans les 30 jours avant la crue se concentre dans les 8 premiers jours du mois (30 mm sur 44 mm pour la station de Metz et 31 mm sur 55 mm pour la station de Château-Salins). Ces lames d'eau abattues sont conformes à la moyenne. Les températures enregistrées sur cette période ont été relativement faibles (ETR faible), sans toutefois atteindre 0 (> 2 °C).

La crue 25/12/01-09/01/02 (figure n°54), est précédée par un temps sec avec 11 mm pour la station de Metz et 10 mm pour la station de Château-Salins. En ce qui concerne les températures, elles révèlent la succession de deux types de temps.

Figure n°54



Un temps océanique humide et assez doux (5 – 10 °C) jusqu'au 6 décembre puis un temps plus froid (0 – 5 °C) avec des températures négatives le 15 décembre. On retient que la situation climatique avant les deux crues (mars et décembre) était : - Pour la crue de mars, les précipitations sont conformes à la moyenne et tombent sur un sol saturé avec des températures faibles. - Pour la crue de décembre, le contexte climatique a été caractérisé par une très faible température et des faibles précipitations.

3- Genèse des crues de mars/avril et décembre 2001

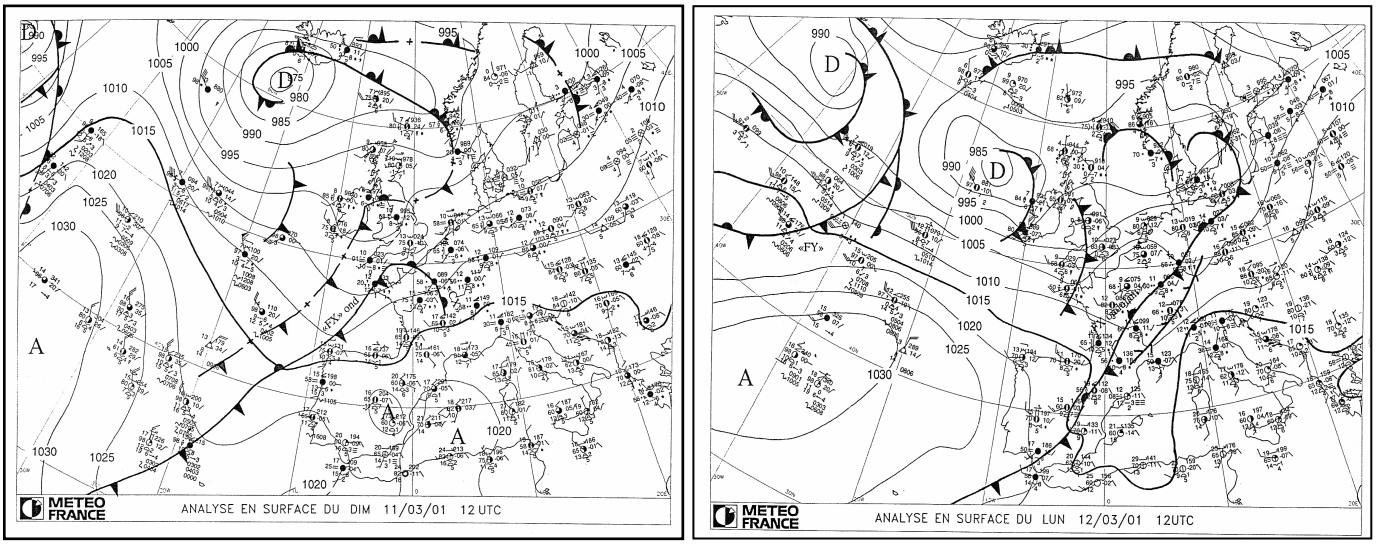
Comme nous avons vu auparavant (études antérieures, rapports Diren…) la région Lorraine est soumise à des influences océaniques qui entraînent souvent des perturbations qui varient selon les saisons. En ce qui concerne le bassin de la Seille et afin d'expliquer la situation climatique qui a régné pendant la période des crues, nous proposons d'analyser les cartes des situations météorologiques et de spatialiser les pluies journalières des deux épisodes de crues dans le but de déterminer la variabilité pluviométrique spatiale.

a- Types de temps (Situation météorologique)

Grâce aux cartes météorologiques publiées par Météo France dans leur revue « Météo -heb » (Figure n°55) nous avons déterminé les types de temps responsables de ces deux crues (mars et décembre). Le croisement des données extraites des cartes météorologiques avec les précipitations journalières a permis de réaliser un tableau qui détaille l'évolution du temps pendant la période de la crue. Les résultats sont présentés dans le tableau n°48.

Pour la crue de mars/avril (03/03/01 - 06/04/01), les perturbations présentes sur la Lorraine pendant ces 35 jours sont caractérisées par une variation des types de temps responsable de la crue de mars. La région Lorraine (la Seille) est sous l'influence de flux de Sud Ouest et Nord Ouest qui ont engendré une instabilité. Cette situation donne un temps ensoleillé avec des températures très douces qui favorisent localement des averses orageuses qui apportent des pluies. On retient donc que la situation climatologique générale se singularise par la présence des perturbations qui ont régné pendant un mois et qui ont été responsables des précipitations et de la montée des débits de la Seille.

Figure n°55: Cartes des situations météorologiques de mars 2001



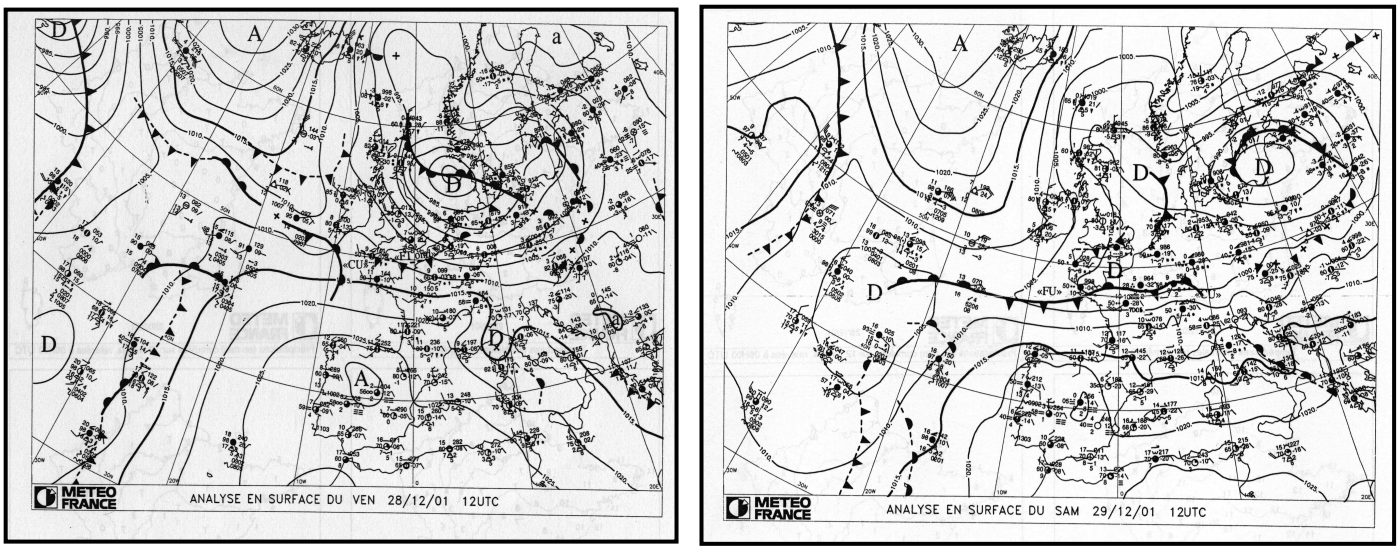
Source Météo Hebdo

Tableau n°48: Les caractéristiques des types de temps pendant la crue du 03/03/2001 au 06/04/2001

Date	Origine des flux	Caractéristiques météorologiques	Pluies tombées			
			Moyen Vic	Château-Salins	Nomeny	Metz
03/03/2001	Sud Ouest	Temps dynamique instable	3	8.5	9.1	8
04/03/2001	Sud Ouest	Perturbations actives	0.9	0	1.1	2.8
05/03/2001	Ouest	Nuageux et froid	0	0	0	0
06/03/2001	Sud Ouest	Air chaud temps instable	3.4	1.5	5.2	2.6
07/03/2001	Sud Ouest	Perturbations pluvieuses	5.4	6.5	14.2	7.2
08/03/2001	Sud	Importe des perturbations pluvieuses	1.9	1	3.8	8.2
09/03/2001	Sud	Doux et humide	1.1	0	0.5	2
10/03/2001	Sud Ouest	Humide et orageux	9.4	11.5	17.2	5.8
11/03/2001	Sud Ouest	Doux et instable	6.2	6.5	7.8	5.8
12/03/2001	Sud Ouest	Front froid, pluie orageuse	17.5	12	8.5	5
13/03/2001	Ouest à Nord Ouest	Pluvio instable avec des éclaircies	4.1	3	7.4	7
14/03/2001	Ouest à Nord ouest	Ensoleillé et pluvieux	12	8.5	8.4	11.2
15/03/2001	Sud Ouest	Front chaud orageux	4	3	2.5	7.2
16/03/2001	Sud Ouest	Temps doux instable	11.4	9	5.8	3
17/03/2001	Nord Ouest	Front froid instable	3.1	2.5	1.1	1.6
18/03/2001	Nord Ouest	Temps doux et instable	8.4	9.5	9.1	3.4
19/03/2001	Ouest	Temps doux stable	0	0	0	0
20/03/2001	Nord Est	Temps orageux avec air froid	18	11.5	21	15.6
21/03/2001	Nord ouest	Instable	11	12.5	15.5	13.6
22/03/2001	Sud ouest	Ensoleillé, doux et orageux	7.7	5.5	4.8	11.6
23/03/2001	Sud	Temps froid et instable	4.4	3	2.2	2
24/03/2001	Sud ouest	Temps humide, nuageux	7	8.5	3.1	1.2
25/03/2001	Ouest	Froid et nuageux	3.8	3	6.2	3.4
26/03/2001	Sud ouest	Temps doux, humide et stable	0	0	0	0
27/03/2001	Sud ouest	Orageux et doux	0.7	0	0.1	1.8
28/03/2001	Ouest	Temps froid pluvieux	2	2	3.9	6.2
29/03/2001	Nord Est	Temps doux et orageux	0.9	0	0	0.2
30/03/2001	Ouest	Chaud très peu actif	0.3	0	0	0
31/03/2001	Ouest	Temps chaud et air doux	0	0	0	0
01/04/2001	Ouest	Chaud stable	0.2	0	0	0
02/04/2001	Nord ouest	Nuageux et humide	0	0	0	0.8
03/04/2001	Sud ouest	Pluvieux et instable	1.9	1	2	0.2
04/04/2001	Sud ouest	Forte instabilité	3	4	2.2	5
05/04/2001	Sud ouest	Ensoleillé et orageux	0.9	1.5	1.8	2.6
06/04/2001	Sud ouest	Rapporte des pluies modérées	5.9	4.5	4.7	5.8

La crue de décembre (25/12/01-09/01/02) se déroule pendant la période hivernale. La majorité des flux qui caractérisent cette période proviennent du Nord Ouest et amènent des précipitations verglaçantes, et des températures très faibles.

Figure n°56: Cartes des situations météorologiques de décembre 2001



Source Météo Hebdo

Tableau n°49: Les caractéristiques des types de temps pendant la crue du 25/12/2001 au 09/01/2002

Date	Origine des flux	Caractéristiques météorologiques	Pluies tombées			
			Moyen Vic	Château-Salins	Nomeny	Metz
25/12/2001	Nord Ouest	Temps dynamique pluvieux, froid	12	12	11.7	8.4
26/12/2001	Nord Ouest	Temps froid nuageux	0	0	0	0
27/12/2001	Nord Ouest	Pluvieux, humide et froid	6.5	6	6.1	3.6
28/12/2001	Nord Ouest	Temps froid et pluvieux	18.6	12	21.7	14
29/12/2001	Ouest	Forte perturbation pluvieuse	38.4	34	32.6	25.6
30/12/2001	Nord Ouest	Temps froid nuageux	0	0.5	0.6	0.2
31/12/2001	Nord Ouest	Air froid avec du gel	0	0.5	0	0
01/01/2002	Nord	Temps froid et gris	0	0	0	0
02/01/2002	Nord Est	Temps froid et gel	0	0	0	0
03/01/2002	Nord Est	Temps froid sec et gris	0	0	0	0
04/01/2002	Sud est	Nuageux froid et gris	0	0	0	0
05/01/2002	Est	Froid sec et gris avec du gel	0	0	0	0
06/01/2002	Nord Est	Froid sec et gris	0	0	0	0
07/01/2002	Nord Est	Froid nuageux avec du gel	0	0	0	0
08/01/2002	Sud	Froid nuageux avec du gel	0	0	0	0
09/01/2002	Nord Ouest	Froid nuageux avec du gel	0	0	0	0

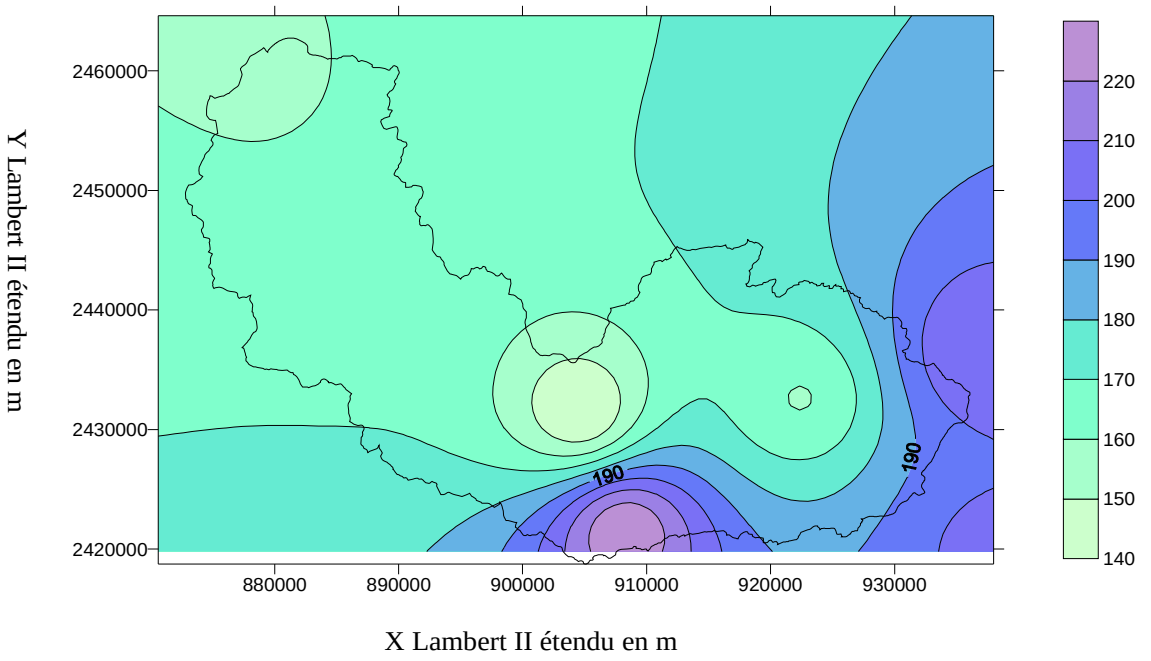
Du 25 décembre jusqu'au 28 décembre des flux de Nord Ouest ont apporté des précipitations responsables de l'augmentation des débits de la Seille. Le 29 décembre, une autre dépression venant de l'Ouest s'installe sur l'Est de la France. Le flux d'Ouest rapide, contient deux ondes chaudes actives qui apportent de fortes précipitations qui sont à l'origine des montées des débits de la Seille. On retient donc pour les deux crues que ces flux ont été caractérisés par un air froid et des températures négatives soutenues par des précipitations abondantes et violentes qui ont été les éléments déterminants des débordements de la Seille.

b- Répartition des précipitations

Afin de quantifier les lames d'eau abattues, nous avons spatialisé les cumuls des pluies journalières de neuf stations situées à l'intérieur et sur les marges du bassin versant. La méthode retenue déjà mise en œuvre pour évaluer la pluie moyenne du bassin est celle de « Inverse distance », appliquée sur le logiciel « Surfer ». Les résultats cartographiques sont présentés dans les documents suivants.

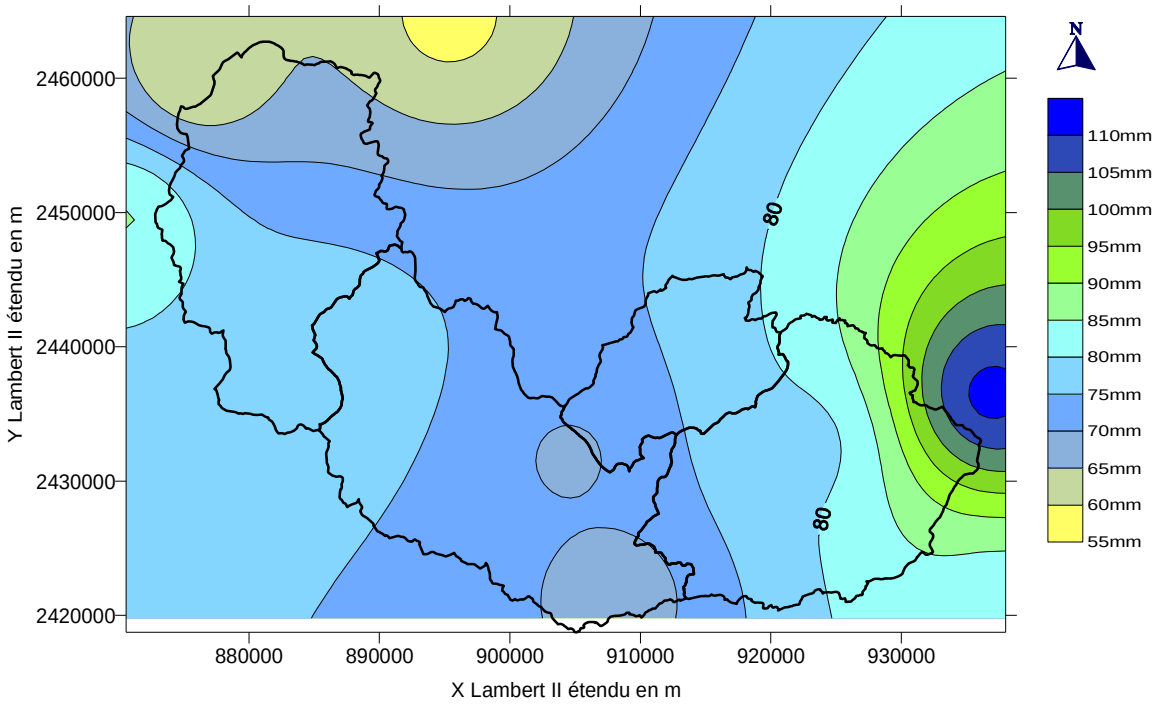
Carte n°20

Spatialisation des P cumulées de la crue du 03/03/01 au 06/04/01



Pour la crue de mars, les plus grands cumuls de pluie sont enregistrés globalement dans la partie amont du bassin, sur le bassin de Moyen Vic et la partie amont du sous bassin de Château Salins. En décembre 2001, les cumuls pluviométriques de cette crue pour le mois de décembre sont tombés. Pendant les 16 jours de crue, les quantités significatives sont tombées le 27, 28 et 29, ce qui correspond à 63,5 mm pour Moyen Vic, 60,4 mm pour le sous bassin de Nomeny, 43,2 mm pour le sous bassin de Metz et 52 mm pour Château-Salins.

Carte n°21 **Spatialisation des précipitations total de la crue de 25/12/01 - 09/01/02**



On retient alors que malgré la courte durée de l'épisode de crue, les précipitations des trois jours ont suffi pour déclencher une crue dans la Seille. A titre comparatif, la crue de mars est déterminée par des pluies de faibles intensités mais durables.

c - Fréquence des précipitations journalières

Le calcul des fréquences des pluies journalières des deux crues permet de quantifier la gravité des hauteurs pluviométriques. Ces pluies journalières s'ajustent à la loi de Gumbel pour la station de Moyen Vic et Nomeny et la loi de Fréchet pour la station de Metz. Le tableau n°50 contient tous les résultats obtenus.

Tableau n°50: Fréquence de retour des précipitations journalières des deux crues de : 03/03/01-06/04/01 et 25/12/01- 9/01/02.

	Bassin	**P journaliers max de crue (mm)**	**Fréquence**		
			1/2	1/5	1/10
Crue de 03/03/01-06/04/01	Moyen Vic	18	34,2	44,9	52,0
	Nomeny	21	30,6	40,1	48,0
	Metz	15,6	30,6	40,1	48,0
Crue de 25/12/01-09/01/02	Moyen Vic	38,4	34,2	44,9	52,0
	Nomeny	32,6	30,6	40,1	48,0
	Metz	25,6	30,6	40,1	48,0

Ainsi ces précipitations ne sont pas vraiment exceptionnelles. Elles ont une durée de retour de 2 ans à 5 ans pour l'ensemble des sous bassins de la Seille. Ces valeurs se rapprochent de celles calculées par la mission déléguée du bassin Rhin Meuse (1981) sur la chronique 1957-1976. On retient que les précipitations de ces deux crues ont été normales, c'est peut être la durée de ces précipitations qui a conduit au déclenchement de la crue de mars 2001 et la saturation du sol pour la crue de décembre 2001.

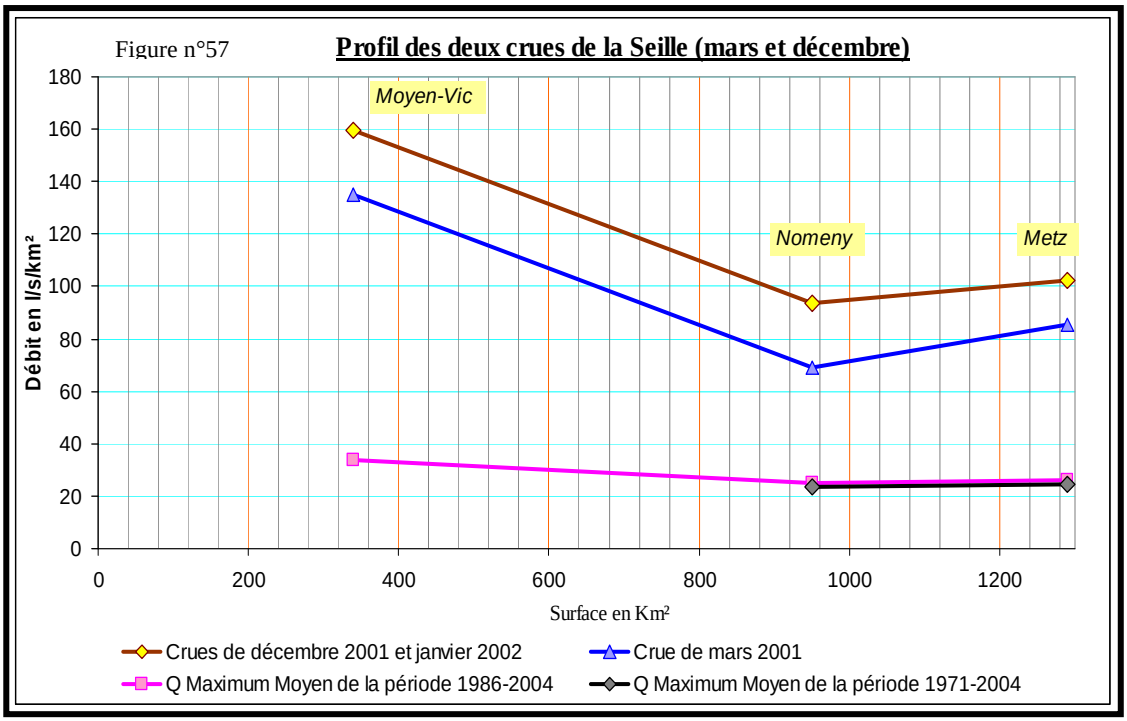
4- Le déroulement de la crue

Comme on a pu voir auparavant, les pluies qui se sont abattues sur le bassin de la Seille le 20 et le 21 mars pour la première crue, et le 28 et le 29 décembre pour la deuxième crue, ont déclenché immédiatement des inondations dans l'ensemble du bassin. A partir de ces deux exemples on va essayer de dégager les grandes caractéristiques du déroulement des crues et de déterminer les profils des crues.

a- Profils des crues

Pour extraire le maximum de renseignements sur les crues de la Seille, on se propose de situer les deux crues retenues par rapport aux débits moyens maximaux enregistrés dans la période 1986 - 2004 (Moyen Vic, Nomeny et Metz) et dans la période 1971 - 2004 (Nomeny et Metz). Les débits journaliers de pointes de crues sont corrélés à la surface totale du bassin versant. Les deux crues dépassent largement les moyennes maximales des chroniques 1986 - 2004 et 1971 - 2004. La crue de décembre 2001 reste la crue la plus marquante du bassin de la Seille en terme de débit de pointe (132 m3/s). Le soutien pendant la période des crues provient essentiellement de l'amont du bassin (figure n° 57).

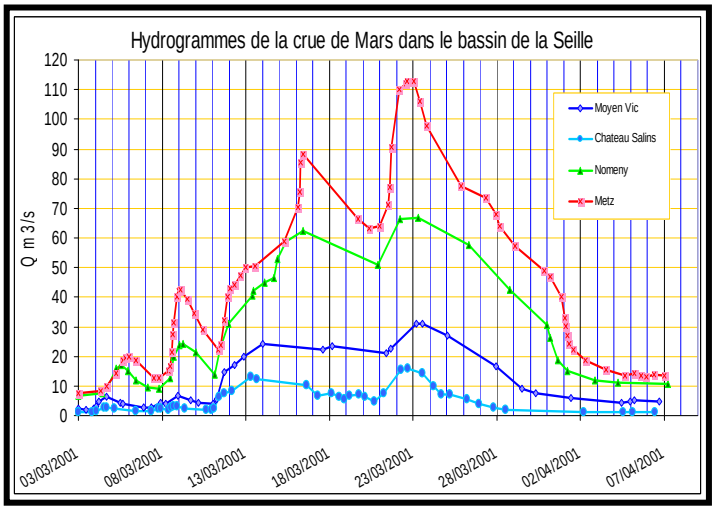
Figure n°57 **Profil des deux crues de la Seille (mars et décembre)**

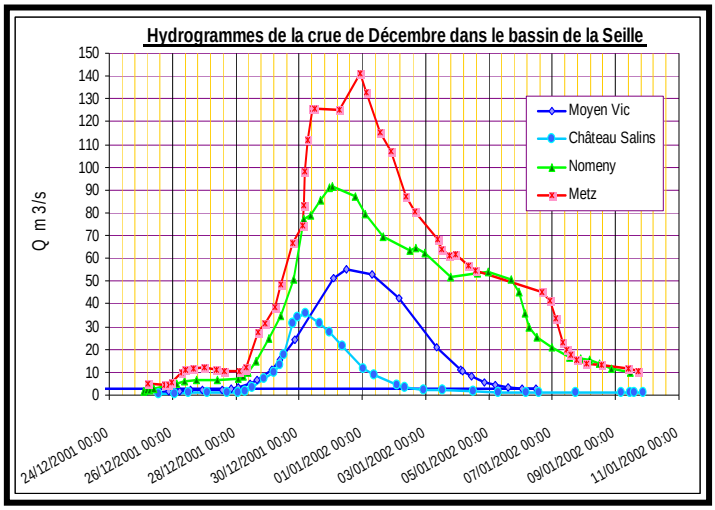


b- Propagation de l'onde de crue

Le calcul des temps de propagation des deux crues se fait à partir des débits instantanés. Le tableau n°51 et la figure 58 comportent les résultats des deux crues.

Figure n°58: Hydrogramme des deux crues de la Seille





La crue de mars (03/03/2001 – 06-04-2001) de forme complexe, ne permet pas de repérer facilement les pointes de la crue surtout au niveau de Moyen vic.

Tableau n°51: Propagation des deux crues sélectionnées

	Station	PKH	Date de la pointe de crue (temps en heure/minute)	Ecart station (Temps en heure/minute)	Vitesse de propagation (km/h)	Vitesse de propagation m3/s	Temps Cumulé en heure/ minute	Pointe de crue (m3/s)	Ecart de débit amont / aval (m3/s)
Crue de 03/03/01 06/04/01	Moyen Vic	891,9	23/3/01 12:44					30,9	
	Nomeny	951,1	23/3/01 6:51	- 5h53mn	10,06		- 5,53	65,6	34,7
	Metz	997,05	23/3/01 0:27	6h24mn	7,18		11,77	113,0	47,4
Crue de 25/12/01 09/01/02	Moyen Vic	891,9	29/12/01 21:00					54,2	
	Nomeny	951,1	31/12/01 1:36	28h36mn	2,07		28,6	88,8	34,6
	Metz	997,05	31/12/01 22:24	20h48mn	2,21		48,84	132,0	43,2

Cette situation peut être expliquée par trois éléments essentiels : la répartition des précipitations, la nature imperméable de la Seille qui facilite le ruissellement et permet une réponse rapide à la précipitation, et enfin le rôle de l'étang de Lindre qui peut agir sur le stockage de l'eau tombée sur l'amont du bassin. Pendant cette crue, la propagation est relativement rapide. Le déplacement de l'onde de crue est très visible, il faut 5 heures et 53 minutes pour effectuer 59,2 km entre Moyen Vic et Nomeny ce qui correspond à une vitesse de 10,06 km/h. Les débits de pointe, passe de 30,9 m3 /s à 65,6 m3 /s. En ce déplaçant vers l'aval, l'onde de crue met 6 heures et 24 minutes pour parcourir 45,95 km entre Nomeny et Metz avec une vitesse de 7,18 km/h. Le débit de pointe croît, il passe de 65,6 m3 /s à 110,0 m3/s.

Pour la crue de décembre (25/12/01- 9/01/02), la propagation est relativement lente. Le déplacement de l'onde de crue est très visible, il faut 28 heures et 36 minutes pour effectuer 59,2 km entre Moyen Vic et Nomeny ce qui correspond à une vitesse de 2,06 km/h. Le débit de pointe, passe de 54,2 m3 /s à 88,8 m3 /s. En ce déplaçant vers l'aval, l'onde de crue met 20 heures et 48 minutes pour parcourir 45,95 km entre Nomeny et Metz avec une vitesse de 2,21 km/h. Le débit de pointe croît, il passe de 88,8 m3 /s à 132,0 m3/s.

Les calculs effectués au niveau du temps de propagation des ondes de crue montrent que leur déplacement est très variable et dépend essentiellement des caractéristiques de l'épisode de crue, de l'abondance et de la répartition des pluies à l'intérieur du bassin.

5– Coefficient d'écoulement de crue (Kec)

L'estimation du volume directement écoulé se fait à partir d'une décomposition manuelle de l'hydrogramme. Elle repose sur le repérage des débits de base avant et après l'épisode pluvieux. Le volume de crue est celui situé au dessus du niveau de base. (figure n°59). Dans ce cas le coefficient d'écoulement de crue (Kec) est le rapport entre les volumes écoulés et les volumes précipités

$Kec = \frac{VE}{VP}$ VE= (Q r c - Q base). Nombre de seconde

$VP = \sum P * Surface$

L'application de cette méthode sur les deux épisodes de crue, donne des coefficients d'écoulement importants à cause de l'imperméabilité des sols. Les résultats sont visualisés dans le tableau si dessous.

Figure n°59

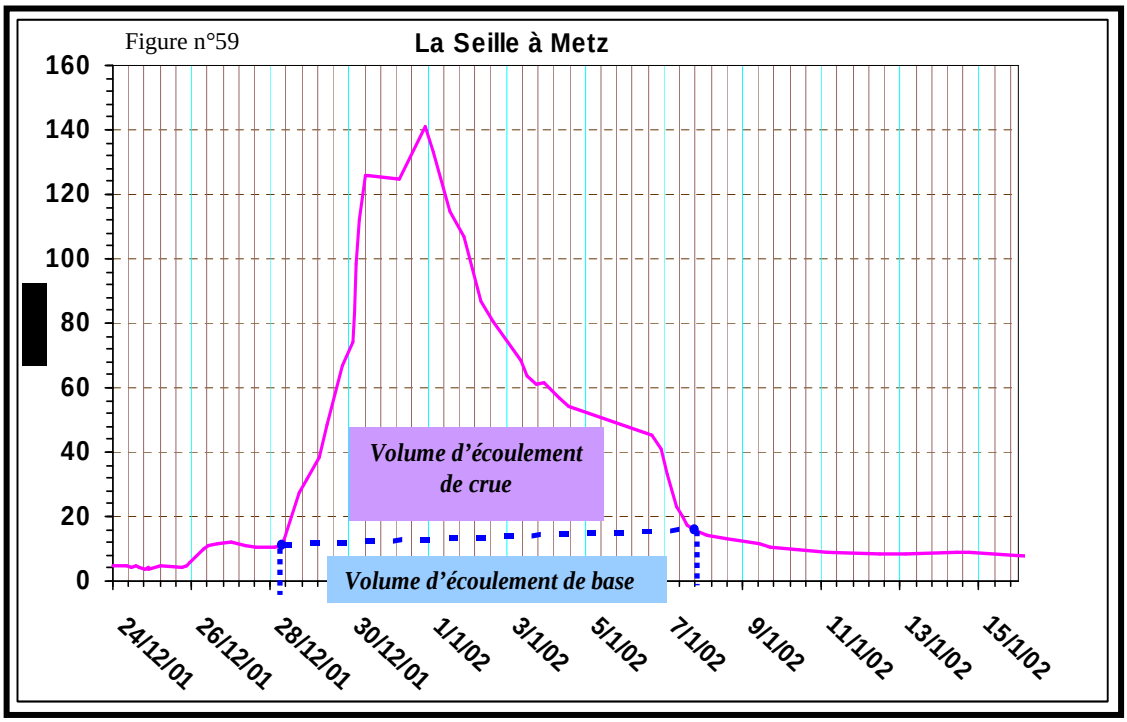


Tableau n°52: Les coefficients d'écoulement rapidesde crue dans le bassin de la Seille

Episodes	Bssain versant	Volumes écoulés de crue (m3)	Volumes précipités (m3)	(Kec) %
03/03/2001 06/04/2001	Moyen Vic	29309	59175	50
	Château-Salins	9971	21812	46
	Nomeny	73840	156172	**47**
	Metz	104058	191365	54
25/12/2001 09/01/2002	Moyen Vic	8162	28011	29
	Château Salins	5141	10127	51
	Nomeny	41535	67102	62
	Metz	53298	65734	81

La crue de mars dure 35 jours dont 30 pluvieux pour le sous bassin de Moyen Vic, 29 pour l'ensemble du bassin, 27 pour le sous bassin de Nomeny et seulement 24 pour Château-Salins. Les lames d'eau précipitées sont de l'ordre de 140 mm à 169.2mm. Malgré toutes ces

pluies, les coefficients d'écoulement rapide de crue sont faibles par rapport au premier épisode de crue. Ils sont compris entre 46 % et 54% soit 1/4 et 1/3 de la lame d'eau précipitée. Ici l'explication est vraisemblablement le rôle décisif de l'évaporation qui ne favorise pas le ruissellement.

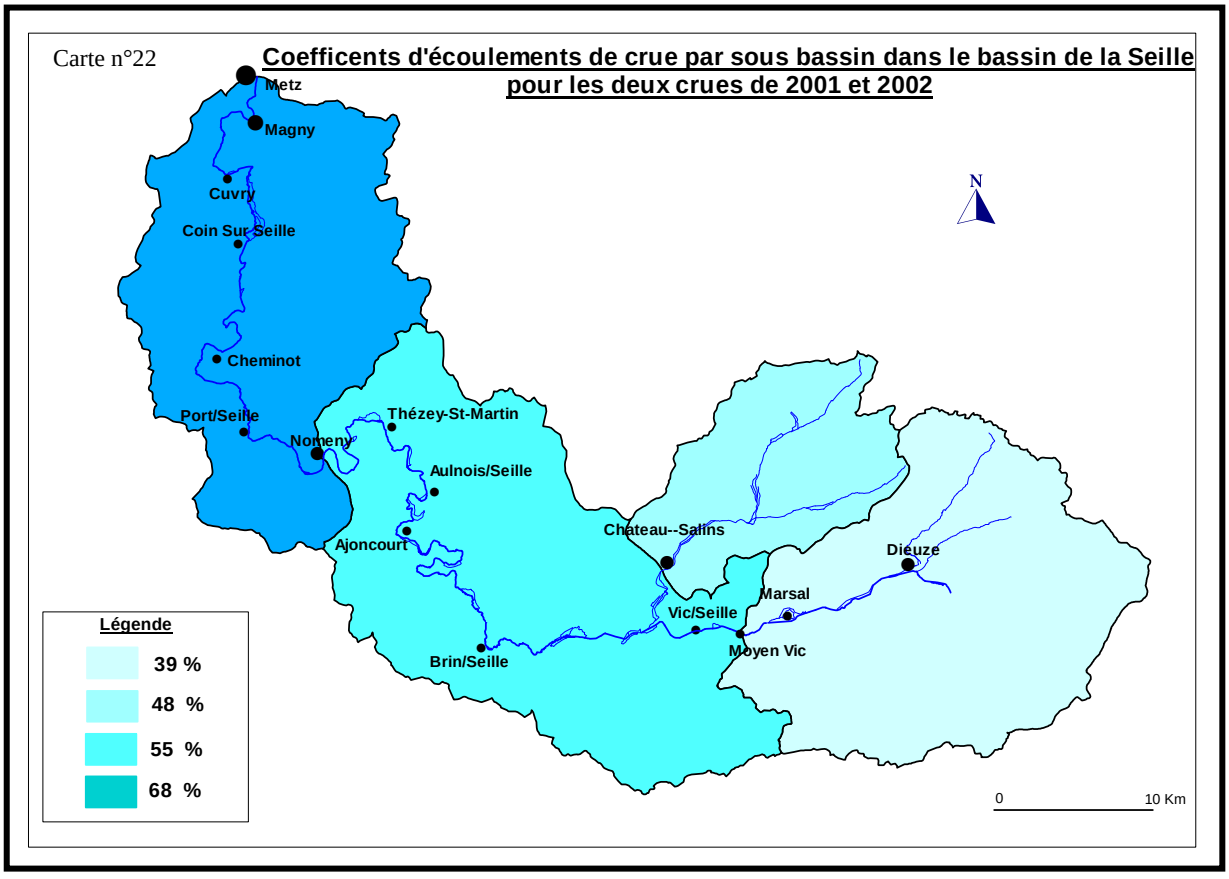
La crue de décembre dure de 16 jours dont 6 pluvieux pour le sous bassin de Château-Salins, 4 pour Moyen Vic, 5 pour Nomeny et Metz. Au cours de cet épisode, il est tombé entre 51.8 mm et 75.5 mm, alors que l'évapotranspiration peut être considérée comme négligeable (janvier à mi-mars). Cet épisode donne des coefficients d'écoulement rapide de crue très contrastés, compris entre 29 % et 81 %.

On note cependant qu'il existe une faible variabilité spatiale de ces coefficients d'écoulement de crue, que se soit pour la crue de mars ou pour celle de décembre. L'amont du bassin (Moyen Vic et Château-Salins) est caractérisé par de faibles coefficients d'écoulement de crue malgré les fortes précipitations car la nature plus perméable favorise l'infiltration mais il s'agit également de la zone de collecte du ruissellement. Au contraire l'aval (Nomeny et Metz), caractérisé par des précipitation modérées donne des coefficients d'écoulement forts qui répondent à la nature plus imperméable du substratum, c'est la zone de transit de l'eau.

Tableau n°53: Coefficients d'écoulement moyens des deux épisodes de crues

	Moyen Vic	Château Salins	Nomeny	Metz
Kec moyen %	39	48	55	68

Les pourcentages calculés peuvent être comparés à ceux des pourcentages calés dans le modèle hydrologique pour l'ensemble du bassin de la Seille (deuxième partie). Ils permettent de dire que globalement les volumes utilisés dans le bilan hydrologique Orchy II (tableau n°53) sont tout à fait plausibles. Si nous devions introduire les prélèvements et les remplissages de l'étang de Lindre, nous aurions certainement les mêmes coefficients d'écoulement de crue.



En définitif, ces coefficients d'écoulement témoignent de la disponibilité d'eau décisive pour alimenter le cours d'eau et favorisent la dynamique fluviale active pendant les s crues.

6- Débit de pointe et durée de retour

Pour décrire l'intensité d'une crue on parle de sa « fréquence » par rapport à d'autres événements. Grâce aux ajustements de ces Q de crue à des lois statistiques. Pour les sous bassins de Nomeny et Metz par la loi de Gumbel, pour le sous bassin de Moyen Vic par la loi de Fréchet. On peut désormais déterminer la période de retour des deux crues étudiées. Le tableau n°54 présente les résultats obtenus.

Tableau n°54: Débit de pointe et durée de retour pour les deux crues de la Seille

	Station	Date de pointe	Q de pointe de crue (m 3/s)	Période de retour de la crue
Crue de 03/03/01-06/04/01	Moyen Vic	23/3/01 12:44	30,9	de 2 à 5 ans
	Nomeny	23/3/01 6:51	65,6	de 2 à 5 ans
	Metz	23/3/01 0:27	110,0	de 5 à 10 ans
Crue de 25/12/01-09/01/02	Moyen Vic	29/12/01 21:00	54,2	de 5 à 10 ans
	Nomeny	31/12/01 1:36	88,8	de 5 à 10 ans
	Metz	31/12/01 22:24	132,0	De 10 à 20 ans

Les débits de pointe des deux crues ont une durée de retour inférieure à 20 ans. Cependant, la distribution de la fréquence des crues est variable selon les secteurs géographiques du bassin. Pour la crue de décembre, la durée de retour est de 5 à 10 ans dans les sous bassins de Moyen Vic et Nomeny et de 10 à 20 ans pour l'ensemble du bassin de la Seille. Pour celle de mars et avril elle est moins importante, de 2 à 5 ans pour le sous bassin de Moyen Vic et Nomeny et seulement de 5 à 10 ans pour l'ensemble du bassin. Finalement, les deux crues de la Seille ne sont pas exceptionnelles car se sont des éventements que l'on observe au moins une fois tous les cinq ans.

7- Dépassement des seuils réglementaires

Les services qui gèrent les cours d'eau (Diren) ont défini un barème de côtes de pré-alertes, alertes, et seuils de crue graves. Le tableau n°55 présente ces seuils proposés :

Tableau n°55: Côtes maximales des crues de la Seille

Bassin versant	Pré alertes (m3/s)	Alertes (m3/s)	Graves (m3/s)
La Seille à Metz	60	90	10 5
La Seille à Nomeny	35	43	56

- Pré alertes : c'est le débit avant le débordement
- Alertes : débordements dans la vallée
- Graves : débordements qui touches les habitants

Pour la première crue (03/03/01- 06/04/01), le seuil de pré-alerte a été dépassé le 13/03/2001 à 9 heures 36 minutes, trois jours après, ce même seuil a été déclenché à Metz le 16/03/2001 à 2 heures 45 minutes. La côte d'alerte a été dépassée le 14/03/2001 à 2 heures 52 minutes à Nomeny et le 21/03/2001 à 16 heures 39 minutes à Metz. Cette crue a été considérée comme une crue grave à Nomeny le 15/03/2001 à 9 heures 28 minutes et à Metz le 22/03/2001 à 3 heures 51 minutes. Le décalage qui existe entre Nomeny et Metz en terme de propagation explique la lenteur de la crue. Il a fallu 4 jours pour que la crue dépasse le deuxième seuil d'alerte et juste une journée pour être considérée comme grave.

Pour la deuxième crue 25/12/01- 09/01/02, le seuil de la pré-alerte a été déclanché le 29/12/01 dans l'ensemble du bassin avec quelques heures de différence. A Nomeny, c'était à 10 heures 32 minutes et à Metz à 19 heures 58 minutes. Le seuil d'alerte a été atteint le même jour à Nomeny mais à 19 heures 58 minutes et le lendemain (30/12/01) à Metz à 4 heures 30 minutes. Le seuil de franchissement de crue grave a été constaté à 3 heures 17 minutes à Nomeny et le même jour à 6 heures 30 minutes à Metz. Ceci veut dire qu'en deux jours, la crue est passée de la pré-alerte à une crue grave.

On retient que la première crue correspond au profil de crue rapide et courte, la deuxième à celui d'une crue longue à développement lent.

Conclusion :

Il ne semble pas que les crues et les inondations soient aujourd'hui plus importantes que lors des siècles derniers. Les informations historiques évoquent un phénomène répétitif qui a longtemps perturbé le cours d'eau. Les crues contemporaines ont permis de faire une typologie des grandes crues qui conduit à définir pour la Seille un débit de crue (trois fois et demi le module). La plupart de ces crues apparaissent en hiver et au printemps, elles ont une forme complexe, caractérisée par plusieurs pics et durent longtemps. Les cures simples sont courtes et se caractérisent par une montée et une descente d'eau plus rapide.

On retient que les crues dans la vallée de la seille sont dues à une convergence de plusieurs facteurs, ruissellements superficiels importants, précipitations élevées, saturation des sols, et faiblesse d'évaporation. Les caractéristiques du bassin interviennent à travers à travers la pente, superficie du bassin, la géologie et enfin les aménagements.

Les deux crues étudiées se manifestent d'une façon différente et se comportent certainement d'une façon différente au niveau de l'érosion des berges. La montée des eaux dans la Seille a permis de souligner l'augmentation de l'énergie du cours d'eau ce qui favorise l'évolution morphodynamique.

C'est ces crues ont des conséquences limiter dans la partie amont et médiane (la seille traverse des zones rurales) La partie aval est ainsi le plus vulnérable avec les débordements les plus spectaculaires (envahissement total du lit majeur, comme la crue de 2001).

III- Les étiages de la Seille

L'étiage se présente comme un événement qui survient en général pendant la période des basses eaux estivale. Globalement, ce n'est que récemment que les hydrologues se sont attachés aux étiages, alors que les crues constituent depuis longtemps un thème majeur de leurs recherches. Dans le cadre de notre étude, l'objectif est de déterminer les caractéristiques principales des étiages : débits, genèse, évolution fréquence d'apparition. Les impacts de ce phénomène sur la dynamique fluviale, la qualité d'eau et les aménagements seront également pris en considération. La démarche comprend :

- Une analyse statistique des étiages contemporains.
- Une régionalisation des débits caractéristiques d'étiage dans le bassin versant.
- Une analyse des phases de tarissement.
- Une étude spécifique pour l'étiage de l'année 2003.

1- Caractéristiques des étiages contemporains marquants

Contrairement aux crues, à part quelques rares citations trouvées dans les archives, nous n'avons pas pu retenir de documents qui apportent un éclairage historique sur les étiages de la Seille. Ceci prouve une nouvelle fois que les étiages constituent dans nos régions une préoccupation récente liée essentiellement à la qualité de l'eau.

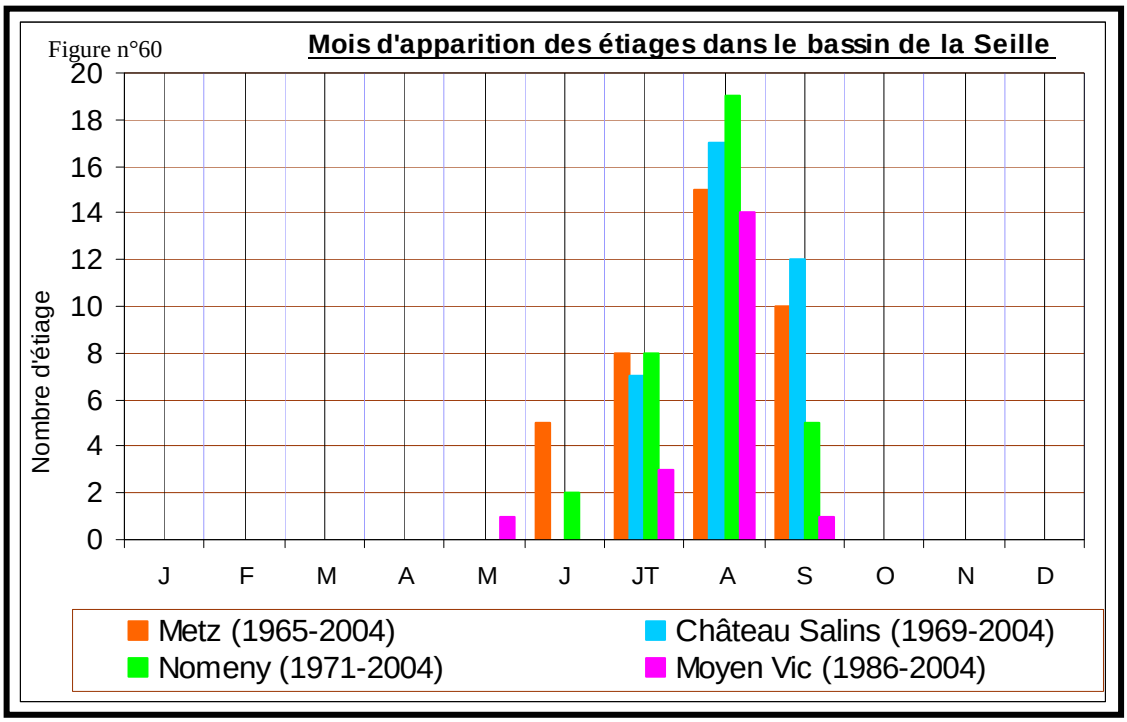
a- Qu'est ce qu'un étiage sévère ?

En France, on peut considérer que le seuil d'étiage sévère est défini par la loi du 3 janvier 1992 : c'est le débit mensuel de récurrence 5 ans (QMNA 1/5). En 2006, le ministère de l'écologie et du développement durable a confirmé l'aléa 1/5 comme seuil de crise mais n'a pas précisé le type de débit caractéristique des étiages à utiliser (QMNA, VCN ou QCN). Journal officiel le 17 mars 2006 : « Ils sont constitués, d'une part, de débits de crise en dessous desquels seuls les besoins d'alimentation en eau potable et les besoins du milieu naturel peuvent être satisfaits, d'autre part, dans les zones du bassin où un déficit chronique est constaté de débits objectifs d'étiage permettant de satisfaire l'ensemble des usages, en moyenne huit années sur dix et d'atteindre le bon état du cours d'eau ». Nous proposons de réaliser l'analyse statistique des étiages de la Seille à partir des valeurs de QMNA et de VCN.

b- Quand les étiages de la Seille apparaissent-ils ?

Les étiages se produisent le plus souvent en août comme pour la plupart des cours d'eau du bassin de la Moselle et de la Meuse (CEGUM et AERM 2006).

Figure n°60

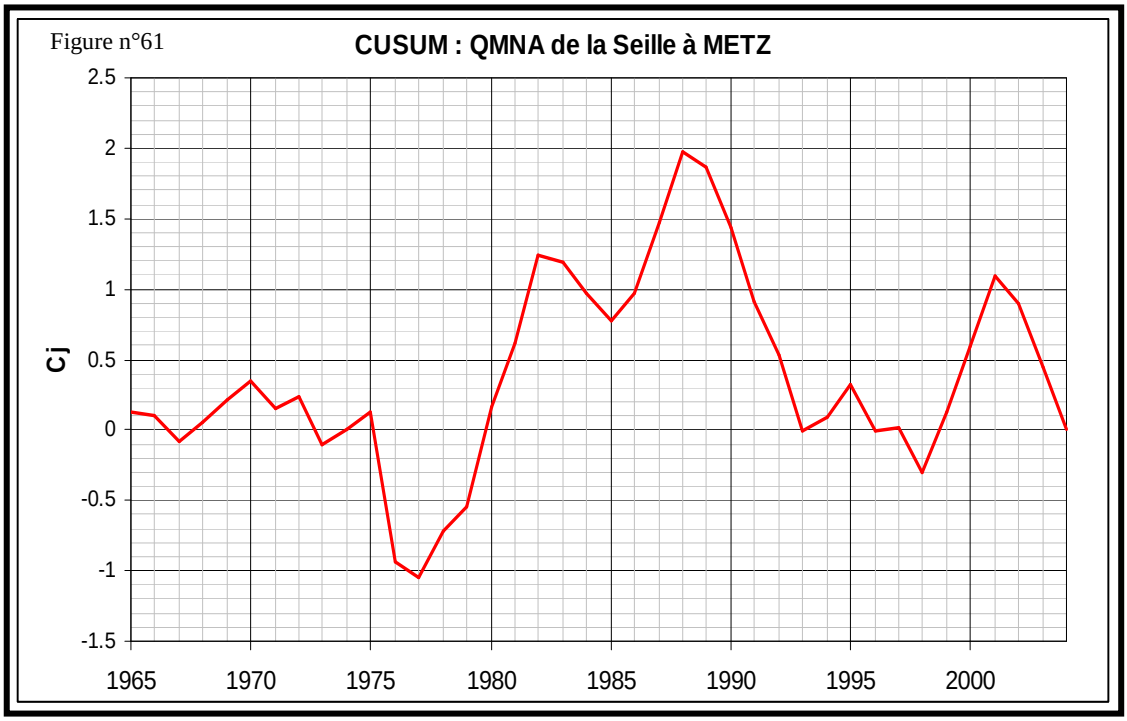


L'influence des vidanges de l'étang du Lindre apparaît quand on compare les stations de la Seille (Moyen Vic, Nomeny et Metz) à la seule station du bassin non influencée par cet étang (Château-Salins sur la Petite Seille). Le mois de septembre, où débutent la plupart des vidanges du Lindre ne connaît qu'un seul étiage à Moyen Vic sur la période récente 1986 – 2004 (vidange quasi annuelle pendant cette période). Par contre à Château-Salins pour pratiquement une année sur trois, septembre est le mois d'étiage. Pour les stations situées à l'aval de Moyen Vic cette influence est moins sensible (la part de la vidange par rapport aux écoulement naturels de la Seille est moins importante) mais les étiages gardent tout de même leur caractère précoce.

2- Variabilité des débits mensuels d'étiage

La chronique des QMNA de la Seille à Metz sur la période 1965-2004 (plus longues périodes disponibles) montre une variabilité importante. C'est pourquoi nous avons testé son homogénéité par la méthode du CUSUM (François et al., 1993)

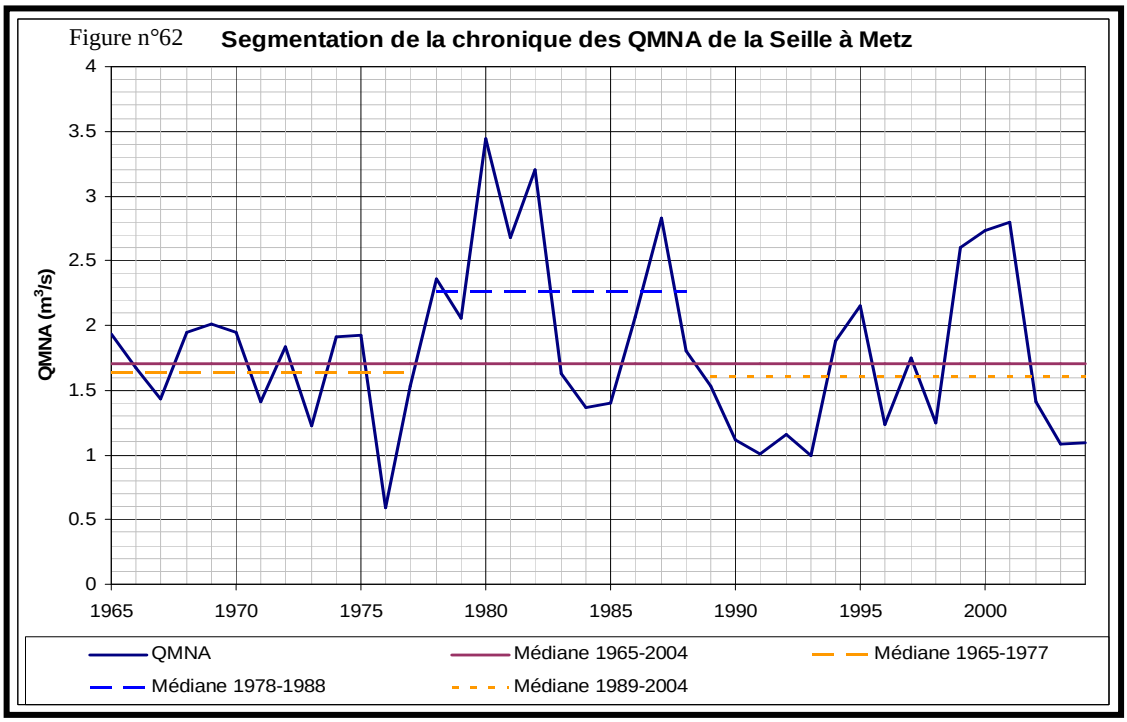
Figure n°61



La distribution des QMNA étant fortement biaisée (coefficient d'asymétrie égal à 0,58), nous avons utilisé le logarithme des valeurs des QMNA (Figure n°61). Avec un seuil d'homogénéité fixé à 95 % nous obtenons la segmentation suivante (figure n°62) :

La période étudiée étant relativement courte, il est délicat de tester l'existence d'une tendance (dérive linéaire de la moyenne).

Figure n°62



Nous avons donc réalisé des corrélations entre les valeurs des QMNA et leur rang chronologique uniquement sur des périodes glissantes de 20 ans. Une tendance vers des valeurs de plus en plus sèches apparaît de manière peu marquée entre 1979 et 1998 (la valeur du coefficient de corrélation est significative pour un seuil de rejet de 1,5%). Compte tenu de

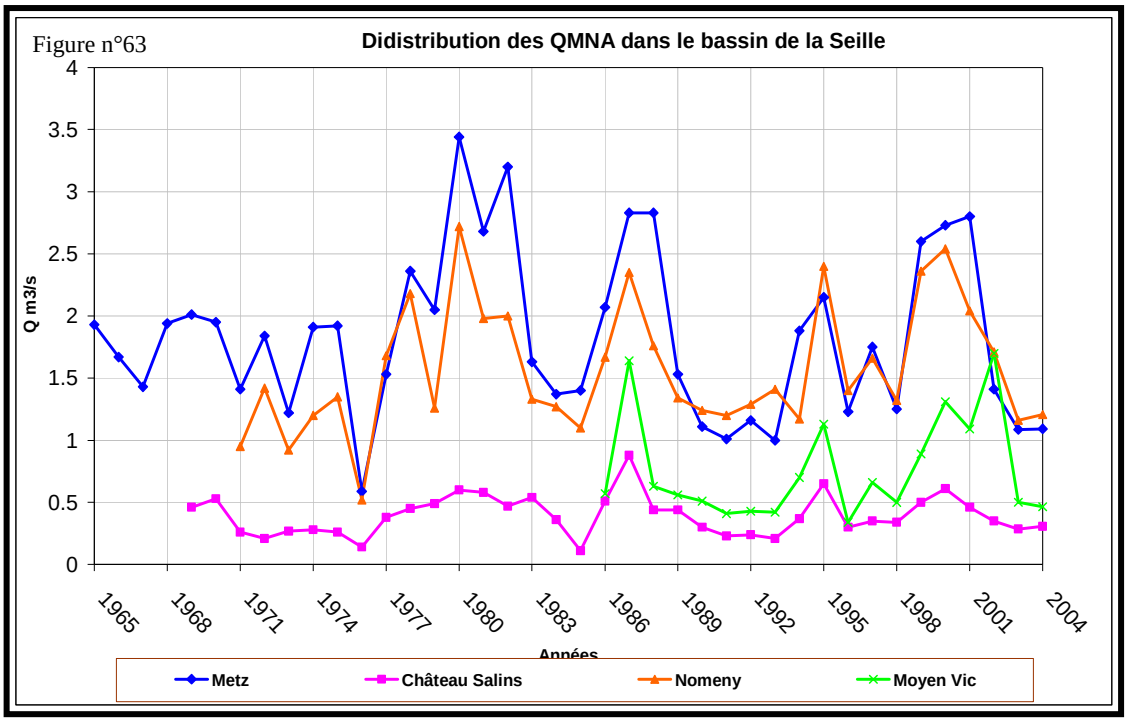
l'aspect graphique peu convaincant de cette corrélation, nous préférons présenter des sauts de médianes. Les sous périodes homogènes sont donc :

Tableau n°56: Découpage de la chronique des QMNA de la Seille à Metz 1965 -2004

Sous périodes	Médiane	Ecart - Type Ln	Nombre d'année
1965 -1977	1,57	0,32	13
1978-1988	2,15	0,30	11
1989-2004	1,50	0,35	16

Les deux sous périodes sèches présentent des médianes comparables (1,57 et 1,5), mais la sous période la plus récente est moins homogène (0,35). La sous période humide est caractérisée par un saut de médiane conséquent (+ 37 % et + 40% par rapport, et ce respectivement à 1965 – 1977 et 1989 – 2004. Pour les autres stations du bassin de la Seille qui ont des chroniques plus courtes, les variations interannuelles des QMNA sont comparables à celles de Metz. Malgré leur hétérogénéité nous allons traiter statistiquement toutes les chroniques dans leur intégralité car la prise en compte de leur non stationnarité entraîne la mise en œuvre de méthode statistique particulièrement complexe. (Renard et al., 2006).

Figure n°63



D'autre part nous ne savons pas désigner la sous période qui nous semblerait la plus représentative car leurs durées sont relativement courtes. On retiendra surtout que l'apparition des étiages sévères n'est pas uniquement aléatoire (organisation en sous périodes) et répondrait également à un phénomène de persistance.

3- Analyse fréquentielle des débits d'étiages (QMNA)

a- Ajustement de la plus longue chronique (1965 - 2004)

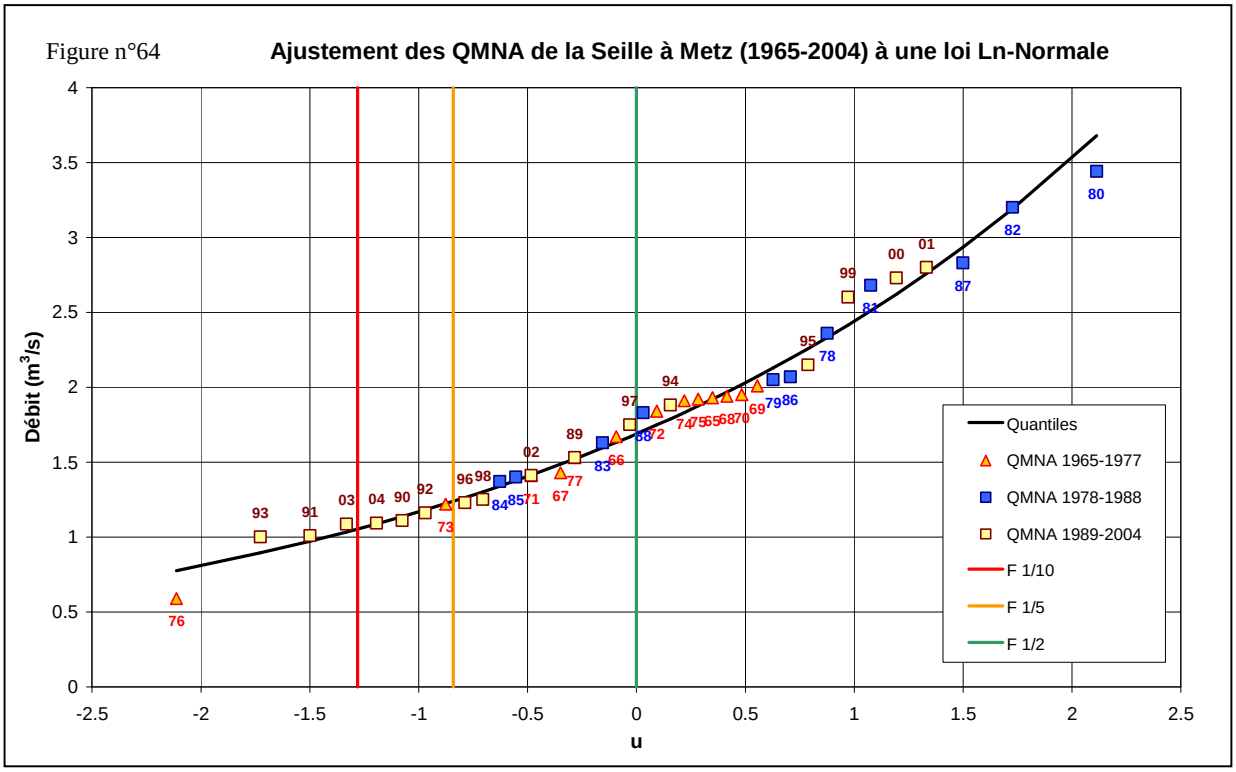
L'analyse fréquentielle des QMNA a pour intérêt de quantifier le caractère plus ou moins exceptionnel d'un étiage. Abi-Zeid et Bobée (1999) ont réalisé une synthèse exhaustive des principales lois appliquées aux débits d'étiage. Parmi ces lois on trouve la loi log normale (appelée aussi loi de Galton) qui est également préconisée par la Banque Hydro (banque de données du ministère de l'écologie). Notons que d'autres lois statistiques peuvent être

utilisées pour l'ajustement des QMNA : Weibull, Gumbel, Pearson, GEV, Pareto… (Tallaksen, Madsen, Hisdal, 2004). Ces lois n'ont pas été testées car l'expérience montre que les écarts entre les quantiles obtenus par les différentes lois sont négligeables pour des fréquences relativement « banales » (inférieures à 20 ans). L'ajustement graphique des QMNA de la station de Metz sur la période étudiée précédemment à la loi Ln-normale semble satisfaisant (figure n°64). Ce qui est confirmé par le test de Komolgorov-Smirnov (Brunet-Moret, 1978) : $Max|F\exp - Fthéo| = 0.06$ pour un seuil d'acceptation à 95% égale à 0.21. Sur cet ajustement apparaît clairement le découpage de la période :

- il n'y a pas d'étiage sévère de 1978 à 1988. - la sous série 1965-1977 comprend surtout un étiage sévère, 1976, qui, sur le graphique, apparaît comme un « horsain »,

- on remarque surtout que de 1990 à 1993 la Seille ne connaît que des étiages sévères auxquels s'ajoutent 2003 et 2004.

Figure n°64 **Ajustement des QMNA de la Seille à Metz (1965-2004) à une loi Ln-Normale**



Ces remarques expliquent comment l'aléa étiage peut être perçu par les riverains ou usagers du cours d'eau : - qui « s'ils ont la mémoire courte » (dans les années 1980) peuvent négliger l'occurrence d'atteindre des débits très bas, - ou qui, par contre, peuvent s'interroger sur les raisons d'une succession d'étiages sévères (début des années 1990). La principale raison de ces basculements de sous-périodes sèches à des sous-périodes humides est climatique. Les vidanges de l'étang du Lindre n'ont que peu d'impacts sur le caractère plus ou moins sévère de l'étiage, (Grysan, 1999).

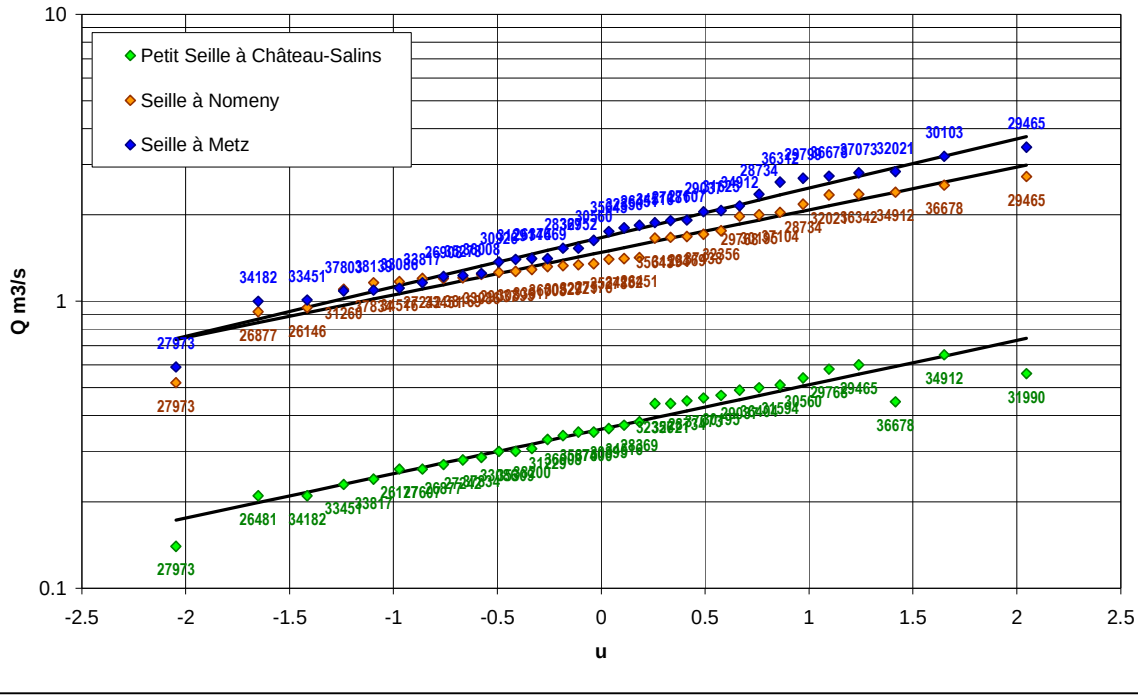
b- Ajustement des QMNA pour la période (1971 - 2004)

Compte tenu de l'hétérogénéité des chroniques de QMNA, il est important de définir une période de référence commune aux différentes stations hydrométriques du bassin versant. 1971 - 2004 est la plus longue période commune aux stations de Metz, Nomeny et Château-Salins. Seule la station de Moyen Vic a une chronique trop courte (1986 - 2004) et sera traitée à part.

Nous utilisons la méthode d'ajustement présentée plus haut. La loi Log Normale semble également un bon choix pour les stations de Château-Salins et Nomeny (figure n°65).

Les valeurs des tests de Komolgorov-Smirnov sont toutes inférieures au seuil de 95% égale à 0.23 (0.08 et 0.12, respectivement pour Château-Salins et Nomeny). 1976 apparaît également comme un « horsain » à Nomeny. La représentation des ajustements des 3 stations sur un même graphique permet de montrer que :

Figure n°65 **Ajustement des QMNA des stations du bassin de la Seille 1971-2004**



- les paramètres d'échelle (écarts-types des logarithmes des valeurs) sont du même ordre de grandeur à Nomeny et Château-Salins car les droites de Henri sont parallèles,

- les droites de Henri de Metz et Nomeny sont convergentes. Pour les étiages les plus sévères l'écart de débit entre ces deux stations est très faible (quelques dizaines de litres). Il grandit pour les fréquences plus élevées. Celui-ci correspond à des apports du bassin intermédiaires qui sont négligeables pour les années les plus sèches (bassin majoritairement imperméable). Par contre les précipitations sont très rapidement restituées (*cf* ; Partie crues).

Les régimes des bassins de Nomeny et Château-Salins semblent plus pondérés que celui de Metz.

c- Les débits caractéristiques d'étiage

Ces ajustements permettent de proposer les débits caractéristiques d'étiage suivants :

Tableau n°57: Fréquence de retour pour les QMNA dans le bassin de la Seille

Station	F 1 /2		F 1/5		F 1/10		Rapport F 1 /10 : F 1/2
	m3/s	l/s/km²	m3/s	l/s/km²	m3/s	l/s/km²	
Moyen Vic 1986 - 2004	0.63	1.80	0.43	1.21	0.35	0.99	56%
Château Salins 1971 - 2004	0.36	2.46	0.27	1.82	0.23	1.56	64%
Nomeny 1971 – 2004	1.48	1.61	1.11	1.21	0.96	1.04	65%
Metz 1971 - 2004	1.67	1.32	1.19	0.95	1.00	0.79	60%

Pour la station de Moyen Vic, nous avons pris soin de vérifier que les quantiles issus de la période 1986 - 2004 n'étaient pas trop différents de ceux de notre période de référence (1971 - 2004). Il apparaît que 1986 - 2004 est légèrement plus humide et plus homogène que 1971 - 2004 à Nomeny et Château-Salins. L'écart maximum est de +17% et concerne le QMNA de fréquence 1/10 à Nomeny. Ceci explique la faible variabilité des QMNA à Moyen Vic où le rapport des QMNA F 0.1 / F 0.5 est le plus faible du bassin. Pour les autres stations, ce même rapport quantifie la pente de la droite de Henri et a déjà été commenté en b. Par contre, il est intéressant de confronter les débits spécifiques d'étiage et le rapport des QMNA des stations de la Seille à ceux d'autres stations de la Moselle. Ceux-ci ont été choisis en fonction de leur représentativité de différentes physiographies :

Tableau n°58: Localisation de la Seille par rapport aux autres bassins de la Lorraine

Station	**Cours d'eau**	**Surface (Km²)**	P annuelles en mm	SURFACE AFFLEURANTES EN %		
				Perméable	Peu perméable	Imperméable
Epinal	MOSELLE	1215	1600	32.8	12.2	55.0
Hauconcourt	MOSELLE	9388	980	35.4	25.6	39
Mirecourt	MADON	382	940	36.5	20.3	43.2
Pulligny	MADON	940	900	23.8	32.4	43.9
Autrey	BRENON	139	900	23	31.8	45.2
Lunéville	VEZOUZE	559	970	46	16.2	37.8
Autrey St Hélène	MORTAGNE	100	1170	79	21	0
Gerbeviller	MORTAGNE	495	1000	68.2	13.4	18.4
Pontigny	NIED FRANCAISE	499	760	10.6	44,7	44,7
Metz	***SEILLE***	***1264***	***750***	**5,4**	**21,2**	**73,4**
Château-Salins	***PETITE SEILLE***	***145***	***800***	***7***	***24***	***69***
Nomeny	***SEILLE***	***918***	***760***	***12.5***	***38.7***	***48.8***

Les stations du bassin versant de la Seille présentent les modules en débits spécifiques les plus faibles de l'échantillon de stations. Malgré cette faible alimentation, les débits spécifiques d'étiage de la Petite Seille à Château Salins sont très proches de ceux de la Vezouze à Lunéville. Celle-ci draine dans sa partie amont des terrains gréseux alimentés par des précipitations abondantes (supérieures à 1000 mm / an). Cette comparaison montre que la Petite Seille a des débits d'étiage relativement bien soutenus par les grès rhétiens et les calcaires dolomitiques : le QMNA ½ représente 28% du module, niveau comparable à Gerbéviller (bassin particulièrement bien soutenu par les grès du Trias inférieur). En ce qui concerne la station de Nomeny, les débits d'étiage sont comparables ceux du Madon à Pulligny bien que ce bassin soit mieux alimenté et dispose apparemment de ressources aquifères plus abondantes. Cette partie amont du bassin n'a pas le comportement en étiage d'un bassin imperméable (cf. Autrey/Brénon). Le caractère imperméable est plus apparent pour la Seille à Metz avec des débits d'étiage qui sont très proches de ceux de la Nied à Pontigny.

Tableau n°59: QMNA fréquentiels de la Seille comparés à d'autres cours d'eau du bassin de la Moselle

Station	**Cours d'eau**	**Surface (km²)**	**Modules (L /s/m²)**	**QMNA ½ / module**	**Débits spécifiques l :s :km²**			**q 0.1 / q 0.9**
					f 1/10	**f 1/5**	**f 1/2**	
Epinal	MOSELLE	1215	31.4	20%	3.55	4.35	6.43	55%
Hauconcourt	MOSELLE	9388	14.1	23%	1.83	2.21	3.18	58%
Mirecourt	MADON	382	12.3	20%	1.64	1.90	2.51	65%
Pulligny	MADON	940	11.1	15%	1.15	1.31	1.70	67%
Autrey	BRENON	139	10.2	4%	0.15	0.21	0.39	38%
Lunéville	VEZOUZE	559	11.9	21%	1.51	1.80	2.49	61%
Autrey St Hélène	MORTAGNE	100	16.1	39%	4.00	4.68	6.30	64%
Gerbeviller	MORTAGNE	495	11.5	28%	1.79	2.19	3.22	55%

Pontigny	NIED FRANCAISE	499	7.9	17%	0.83	0.98	1.35	62%
Metz	***SEILLE***	***1264***	***7.6***	***17%***	***0.79***	***0.95***	***1.32***	***60%***
Château-Salins	***PETITE SEILLE***	***145***	***8.7***	***28%***	***1.56***	***1.82***	***2.45***	***63%***
Nomeny	***SEILLE***	***918***	***8.4***	***19%***	***1.04***	***1.21***	***1.61***	***65%***

Il a déjà été démontré (Lang, 2006) que l'étude des étiages à l'échelle mensuelle pouvait masquer des situations d'étiage très sévères. C'est pourquoi nous avons également réalisé le même traitement statistique pour les VCN3 (moyenne des trois débits moyens journaliers consécutifs les plus bas de chaque année).

Tableau n°60: VCN3 fréquentiels de la Seille comparés à d'autres cours d'eau du bassin de la Moselle

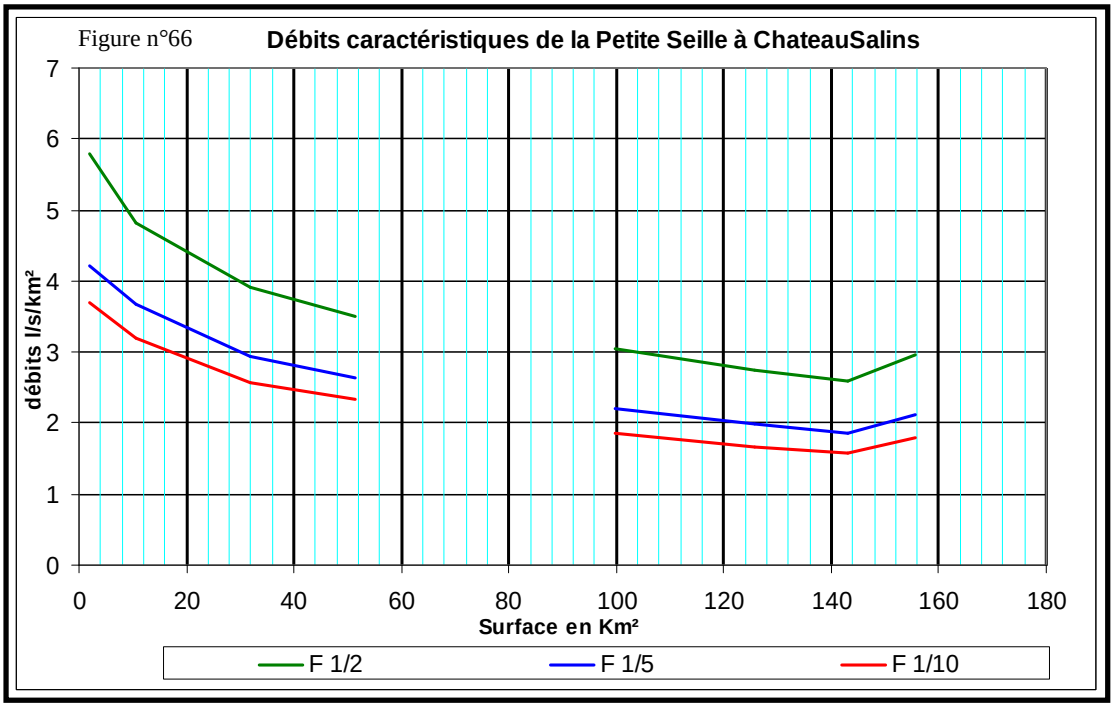
Station	**Cours d'eau**	**Surface (km²)**	**Débits spécifiques l/s /km²**		
			f 1/10	**f 1/5**	**f 1/2**
Epinal	MOSELLE	1215	2.47	2.95	4.17
Hauconcourt	MOSELLE	9388	1.28	1.53	2.17
Mirecourt	MADON	382	0.97	1.23	1.90
Pulligny	MADON	940	0.75	0.87	1.15
Autrey	BRENON	139	0.07	0.10	0.20
Lunéville	VEZOUZE	559	1.25	1.42	1.83
Autrey St Hélène	MORTAGNE	100	3.30	3.81	5.02
Gerbeviller	MORTAGNE	495	1.44	1.75	2.53
Pontigny	NIED FRANCAISE	499	0.62	0.70	0.90
Metz	***SEILLE***	***1264***	*0.61*	*0.71*	*0.98*
Château-Salins	***PETITE SEILLE***	***145***	*1.11*	*1.33*	*1.86*
Nomeny	***SEILLE***	***918***	*0.74*	*0.86*	*1.15*

Les associations entre stations déjà réalisées pour les QMNA peuvent être reproduites pour les VCN3. L'abondance relative des écoulements d'étiage dans le bassin de la Seille n'est donc pas imputable à l'échelle mensuelle. Au final, si on se réfère uniquement à sa physiographie, la Seille devrait présenter des débits d'étiage particulièrement indigents. Or les quelques ressources aquifères dont elle dispose (présentes surtout dans la partie amont) et les vidanges de l'étang du Lindre lui assurent des débits relativement bien soutenus (comparables à des bassins plus perméables et mieux alimentés par les précipitations).

4 - Les caractères des profils hydrologiques

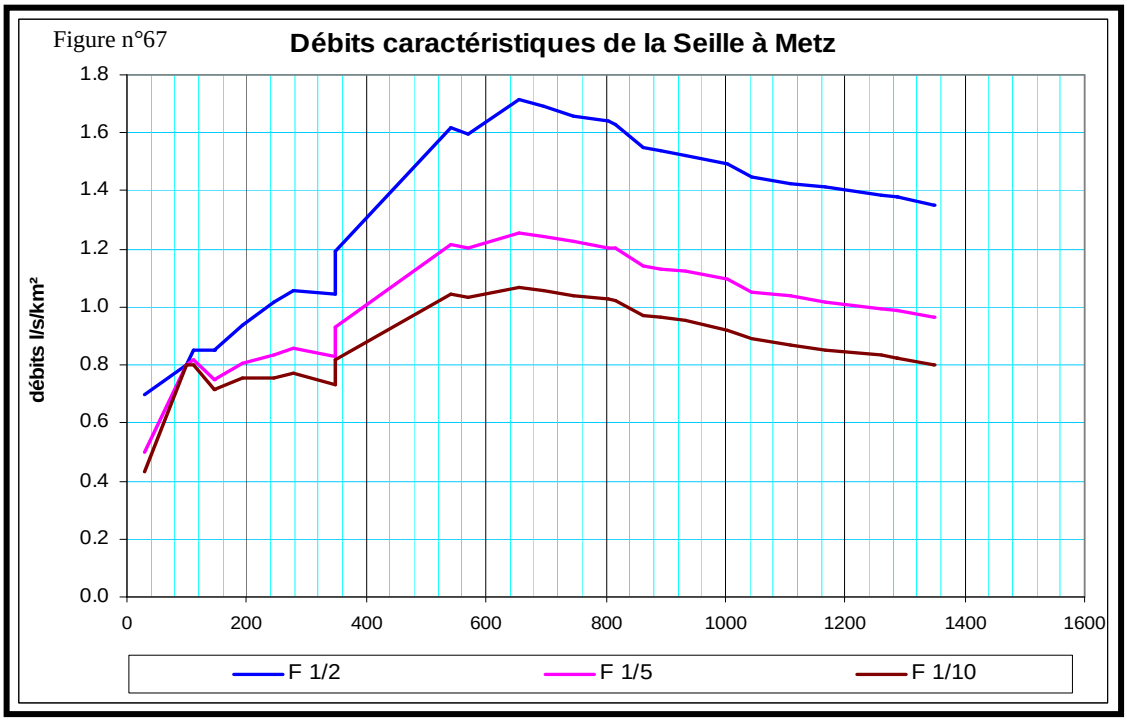
Les profils servent à déterminer la progression des débits d'étiages de l'amont vers l'aval en relation avec la surface des sous bassins (Decloux. et Sary, 1991). Ils sont réalisés pour la période 1971 - 2004 pour les débits calculés pour les fréquences ½, 1/5, 1/10 des QMNA.

Figure n°66



Ces profils hydrologiques (figure n°66 et 67) montrent l'existence de trois régions hydrologiques, caractéristiques de conditions d'alimentation homogènes et représentatives de l'ensemble du bassin. A l'amont du bassin, qui regroupe les sous bassins de Moyen Vic et Château-Salins le substratum peu perméable garantit un soutien naturel pendant la période des basses eaux, sans négliger le rôle de l'étang de Lindre.

Figure n°67



Dans la partie centrale du bassin qui correspond au sous bassin de Nomeny, la nature du substratum est perméable avec des faibles précipitations, ce qui entraîne dans cette zone un étiage précoce. Le seul soutien vient des débits gonflés de l'amont plus quelques affluents qui permettent une augmentation du débit. A l'aval du bassin qui correspond à l'exécutoire à Metz, la Seille coule sur des terrains entièrement imperméables, les précipitations sont

abondantes mais moins qu'à l'amont. Le soutien pendant la période des étiages provient essentiellement de l'amont du bassin et du rôle des affluents.

5- Le coefficient de tarissement moyen

Dans la bibliographie, il existe plusieurs définitions du tarissement, nous retiendrons celle proposée par (M. Dacharry, Dictionnaire Français d'Hydrologie, 1997) « la phase d'écoulement d'un cours d'eau ou d'une source correspondant à la décroissance régulière du débit en l'absence de tout apport météorique et d'intervention humaine ». En effet, le coefficient de tarissement caractérise la vitesse de vidange des réservoirs et rend compte, par conséquent, de la vitesse de circulation de l'eau dans l'aquifère. Le calcul du coefficient de tarissement (α) se fait à partir de phases hydrologiques non directement influencées par les précipitations. Dans les régions au climat de type océanique, comme en Lorraine, les périodes non influencées par les pluies sont extrêmement courtes. Pour étudier les tarissements nous avons procédé selon la méthode proposée par Lang et Gille (2006). Nous avons fixé deux paramètres pour la détermination des phases de tarissement :

- Le nombre de jours après l'arrêt des pluies, est ce qu'on appelle la période de ressuyage. Cette période dépend de la taille du bassin versant.

- Le nombre de jours minimums qui compose les phases de tarissements : pour le repérage des épisodes de tarissement. On a fixé un nombre minimum de 5 jours pour la composition de ces épisodes. Toutes les phases sont ensuite traitées selon la loi de Maillet (Tallaksen, 1995), qui est la plus couramment utilisée. L'hydrogramme de tarissement présente l'aspect d'une courbe exponentielle décroissante, asymptote à l'axe du temps. Le coefficient de tarissement est envisagé selon la formulation de Maillet, dont l'équation liant le débit à un instant **t**, à partir d'un débit initial est la suivante : $Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t}$

Qt : débit à l'instant t. - a : coefficient de tarissement. - Q0 : débit initial.1er débit de la période de tarissement. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°61: Extraction des phases de tarissement dans la Seille

Stations	Cours d'eau	Temps de ressuage	Nombres d'épisodes	Alpha Minimum	Alpha Maximum	Alpha retenu
Moyen Vic	La Seille	3	41	0.01624	0.1624	0.067
Château-Salins	La Petite Seille	3	91	0.0087	0.1356	0.037
Nomeny	La Seille	4	80	0.0090	0.1174	0.048
Metz	La Seille	5	83	0.0087	0.0997	0.045

Ces repérages excluent les épisodes de septembre influencés par la vidange de l'étang de Lindre. Les valeurs des coefficients de tarissement retenus correspondent à la moyenne des coefficients calculés sur des phases d'égale durée. Ces valeurs confirment les observations déjà citées auparavant. Malgré l'absence prolongée de précipitations, la rivière continue à être alimentée. L'écoulement provient alors uniquement des réserves souterraines et le débit diminue régulièrement avec le temps. La variation des coefficients de tarissement peut être expliquée par les grandeurs de la géologie. La Petite Seille, qui coule sur un substratum majoritairement perméable, se caractérise par le coefficient de tarissement le plus faible du bassin. En ce qui concerne le coefficient moyen de tarissement, il est de l'ordre de 0.49.

Conclusion :

A la suite de cette étude des étiages de la Seille pour la période 1971 - 2004 on peut remarquer que le bassin de la Seille, qui appartient à un climat régional océanique sous influence continentale avec précipitations assez abondantes, connaît de temps en temps un déficit pluviométrique. Ces conditions sont propices à l'apparition d'étiages qui peuvent être sévères (inférieurs à 1,26 m3/s à la station de Metz).

Plus en détail, les débits des QMNA ont montré que les étiages se produisent le plus souvent en août : les débits à la station de Metz sont compris entre 1,5 et 3,5 m3/s pour un module de 10 m3/s pour une durée d'étude de 39 ans. En terme de durée, les VCN ont permis de déterminer les débits les plus bas enregistrés dans le cours d'eau pendant 3 jours consécutifs et plus représentatifs de la période des étiages. Les coefficients de tarissement ont montré que les débits de la Seille sont très influencés par le soutien des nappes. Les valeurs sont comprises entre 0.037 et 0.067. Dans le but de pousser notre analyse plus loin, nous proposons d'analyser le caractère exceptionnel de l'année 2003.

IV- Analyse de l'étiage 2003

L'étude de l'année 2003 sert à préciser le mécanisme d'apparition de l'étiage : mise en évidence de la décroissance des débits liée au tarissement des nappes d'eau souterraines et définition des principales caractéristiques du fonctionnement hydrologique. Les principaux critères de sélection de l'année 2003, comme année sèche, résident dans le caractère récent de cet événement et la fréquence du débit d'étiage qui est de 1/10. L'année 2003 a été relativement sèche (493 mm) et particulièrement chaude (11,7 °C), notamment durant la période estivale (août 20 °C). Les températures ont été élevées et qualifiées de caniculaires par les médias. Cette situation a eu des conséquences désastreuses sur l'écoulement ainsi que sur la vie aquatique. C'est dans ces conditions que les apports d'eau venant de la vidange annuelle de l'étang de Lindre peuvent participer au soutien des débits d'étiage. Pour évaluer la situation hydrologique particulière de 2003 la recherche sera orientée dans deux sens : - l'étude de la sécheresse des 12 mois de l'année. - l'étude de la période des basses eaux (six mois), avec un zoom sur l'étiage.

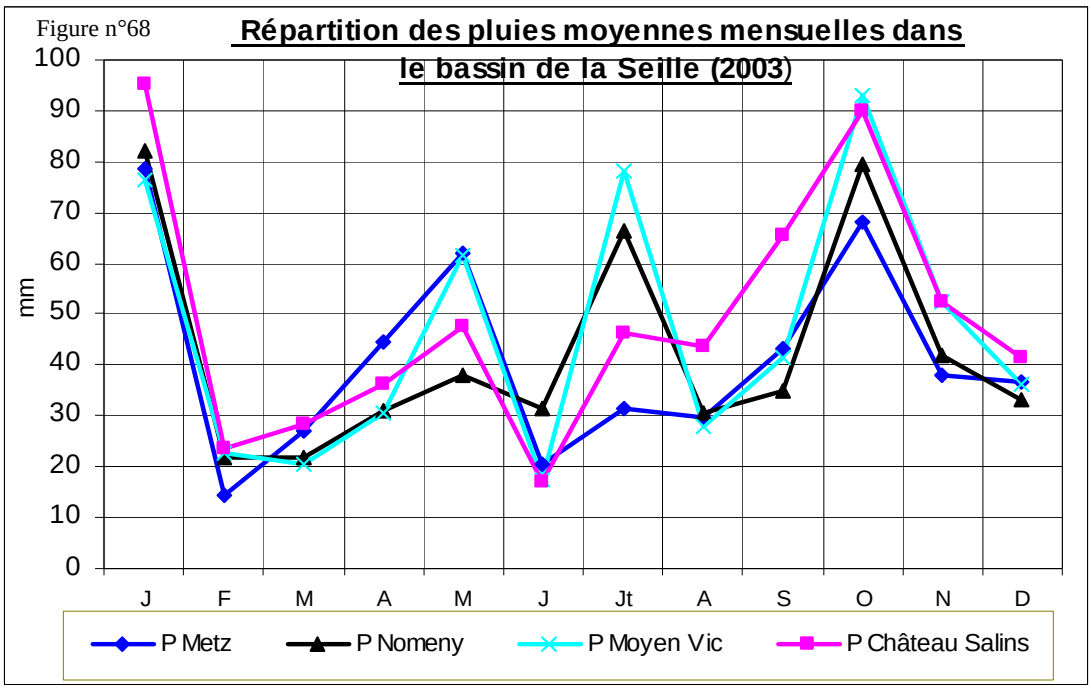
1- Un constat climatique général du bassin de la Seille en 2003

La démarche proposée consiste en une analyse mensuelle des apports pluviométriques, des températures, de l'évapotranspiration et enfin de l'écoulement. La suite de l'analyse consiste à comparer les valeurs climatiques de l'année 2003 à la moyenne de la chronique 1971 - 2004.

a- La situation pluviométrique

Dans la vallée de la Seille les apports pluviométriques représentent la principale ressource en eau. Leurs variations influencent directement l'écoulement. L'examen des précipitations qui sont tombées en 2003 montre qu'elles sont peu abondantes. A titre comparatif le manque pluviométrique entre l'année 2003 et la moyenne 1971-2004 atteint 216 mm dans le sous bassin de Château-Salins, 228 mm à Moyen Vic, 162 mm à Nomeny et 257 mm sur l'ensemble du bassin. A l'échelle mensuelle, on remarque que le mois de janvier est un mois normal, (tableau n° 61) 78 mm à Metz, 82 mm à Nomeny, 95 mm à Château-Salins et 77 mm à Moyen Vic, les autres mois ont enregistré des pluies largement inférieures.

Figure n°68



La pluviométrie est réduite de moitié en novembre, décembre et mars mais qui représentent en général avec le mois de janvier, les mois les plus pluvieux de l'année dans le bassin (*cf.* 2ème partie : chapitres 3). Pour le mois de février, on enregistre une pluie trois fois inférieure à la moyenne.

Tableau n°62: Comparaison des précipitations de 2003 par rapport à la moyenne 71-04

Station	Période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moyenne
Metz	2003	78	14	27	44	62	21	31	30	43	68	38	37	**493**
	71-04	64	55	59	51	60	63	67	56	61	71	66	77	**750**
Nomeny	2003	82	22	22	31	38	31	66	31	35	79	42	33	**512**
	71-04	57	48	51	45	54	56	63	54	54	63	60	69	**675**
Château-Salins	2003	95	24	28	36	48	17	46	44	66	90	52	22	**588**
	71-04	65	57	61	53	71	71	67	61	67	74	74	83	**804**
Moyen Vic	2003	77	23	21	31	61	18	78	28	41	93	52	36	**558**
	71-04	65	55	60	48	69	68	62	61	67	76	78	78	**786**

A l'échelle saisonnière, on constate que la période hivernale de l'année 2002/2003 A connu une augmentation des apports pluviométriques avec un maximum enregistré à Château-Salins de plus 85 mm, et une baisse pendant la période estivale qui atteint 128 mm à Metz.

Tableau n°63: Comparaison des précipitations saisonnières 02/03 par rapport à la moyenne 71-04

	Pluies 2002/2003		Pluies 1971 - 2004		Différence pluviométrique	
	P hivernales	P estivales	P hivernales	P estivales	P hivernales	P estivales
Metz	424	255	379	382	+ 46	- 128
Nomeny	473	311	398	416	+ 74	- 105
Château Salins	418	281	333	346	+ 85	- 65
Moyen Vic	438	319	389	404	49	85

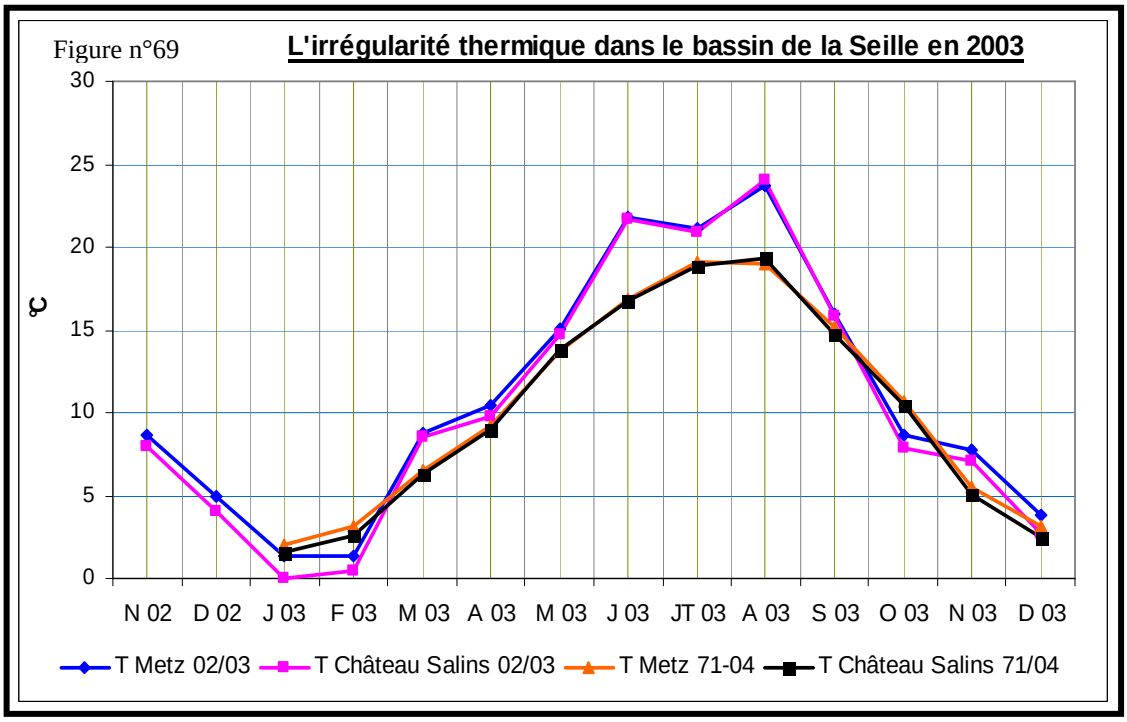
Sur la totalité de l'année 2002/2003, on enregistre un manque pluviométrique qui va entraîner un déficit d'écoulement élevé. Seul le mois de janvier présente une hauteur normale,

les autres mois ont enregistré une baisse pluviométrique globale inférieure à 70% de la normale.

b- Les caractéristiques thermiques

Les températures restent les premiers responsables de l'apparition du phénomène d'étiage. Pour l'analyse à une échelle de temps mensuelle, on découvre l'énorme écart qui existe entre la période estivale de 2003 et celle de 1971 - 2004. Les températures des mois de juin, juillet et août dépassent largement les 20 °C, juin (+ 4° à 5° pour Metz et Château-Salins), juillet (+ 2° à 3° pour les deux stations), août (+ 4° à 5° pour les deux stations).

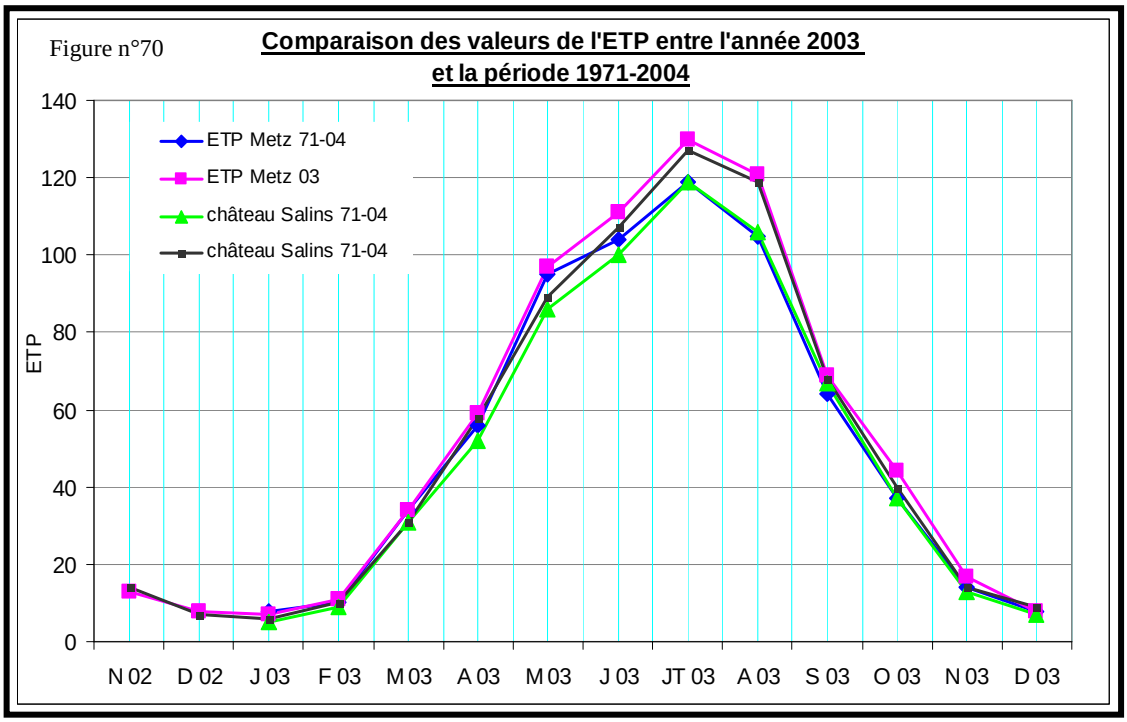
Figure n°69



On notera que les températures élevées ont également touché les mois hivernaux : janvier et février.

Les valeurs de l'ETP ont été évaluées par la méthode de Turc pour deux stations, Metz et Château-Salins. La figure n°70 présente les résultats de ces calculs.

Figure n°70



Les résultats obtenus vont dans le même sens des températures, avec une augmentation notable pour l'année 2003 par rapport à la période 1971 - 2004, l'écart est de 54 mm pour la station de Metz et 46 mm pour celle de Château-Salins. Quant à l'échelle mensuelle, 9 mois sur 12 enregistrent une augmentation des lames d'eau évaporées.

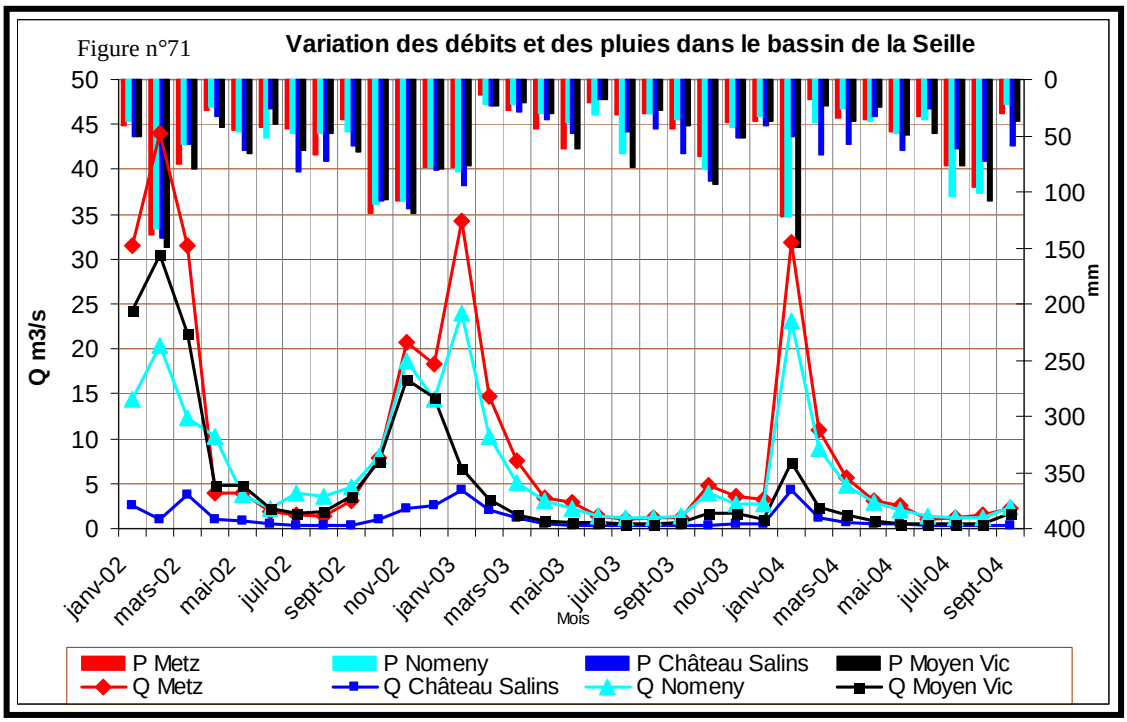
- La saison hivernale enregistre une augmentation des lames évaporées de 27 mm à Metz et 32 mm à Château-Salins.

- Pour la saison estivale le déficit hydrique est de l'ordre de 48 mm à Metz et 35 mm à Château-Salins pour l'année 02/03.

c- Un constat hydrologique mensuel

Le graphique n°71, présente l'évolution de ces débits aux quatre stations du bassin de la Seille de janvier 2002 à septembre 2004.

Figure n°71



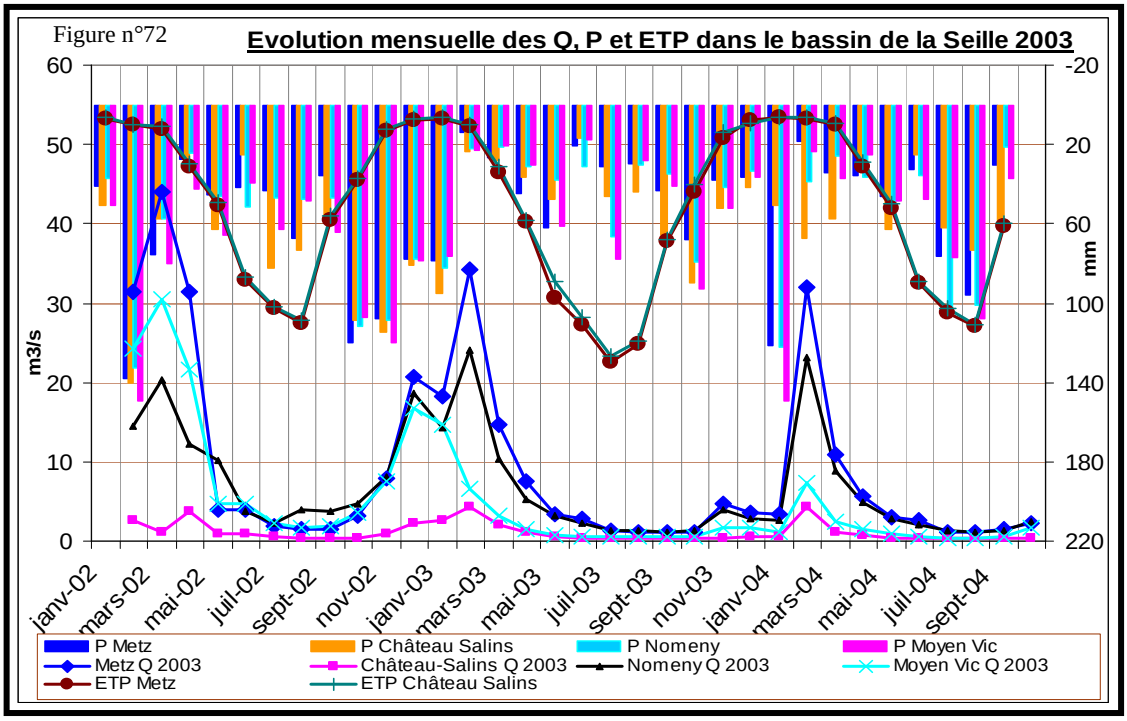
On constate une ressemblance entre les trois années au niveau des mois de février et mars avec un léger avantage hydrométrique pour l'année 2002. La différence apparaît très clairement au niveau des mois estivaux avec un faible débit pour l'année 2003. La décroissance des débits s'annonce dès le mois de mars 2003 et se poursuit jusqu'en octobre 2003. Ainsi, sur les 12 mois de l'année 2003 représentés dans le graphique, seuls 3 mois (janvier, février et mars) enregistrent un débit supérieur au module (10 m3/s). Sur les 9 autres inférieurs au module ; 8 mois ont un débit inférieur à 5 m3/s, malgré le soutien du cours d'eau par les lâchers de l'étang de Lindre.

Tableau n°64: Comparaison des débits de 2003 par rapport à la moyenne 71 - 04

Station	Période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moyenne
Metz	**2003**	34,2	14,8	7,5	**3,4**	**2,9**	**1,4**	**1,1**	**1,1**	**1,2**	**4,7**	3,5	3,3	6,6
	71-04	20,7	19,9	15,8	10,1	5,8	4,7	3,1	2,1	2,9	7,2	9,7	17,5	10,0
Nomeny	**2003**	24,1	10,3	5,2	**3,2**	**2,3**	**1,4**	**1,3**	**1,2**	**1,4**	**4,0**	2,8	2,7	5,0
	71-04	14,9	14,3	11,7	8,1	5,1	4,1	2,7	1,9	2,7	6,6	8,3	13,1	7,8
Château Salins	**2003**	4,3	2,1	1,2	**0,5**	**0,4**	**0,3**	**0,3**	**0,3**	**0,4**	**0,4**	0,5	0,6	0,9
	71-04	2,4	2,1	1,9	1,3	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,9	1,2	2,2	1,3
Moyen Vic	**2003**	6,6	3,3	1,5	**0,8**	**0,6**	**0,6**	**0,5**	**0,5**	**0,6**	**1,7**	1,6	1,1	1,6
	71-04	5,3	5,0	5,1	2,6	2,6	2,0	1,0	0,8	2,0	3,8	3,9	4,6	3,1

La comparaison des débits de l'année 2003 et de la période 1971 - 2004 montre que les débits enregistrés pendant la période estivale de l'année 2003 sont largement inférieurs à ceux de la période 1971 - 2004. Ces faibles débits expliquent la phase d'étiage qui caractérise le cours d'eau pendant cette période.

Figure n°72



L'analyse des trois facteurs climatiques (P, ETP et Q) des années 2002, 2003 et 2004, montre l'ampleur du déficit en eau de l'année 2003 dû à la sécheresse de l'année, un manque de précipitation mais aussi à une évaporation intense liée à des températures tout à fait anormales. Le manque d'eau se manifeste dès le printemps, déterminant des niveaux limnimétriques normalement dans le lit de la Seille.

2 - Les caractéristiques de l'étiage de 2003

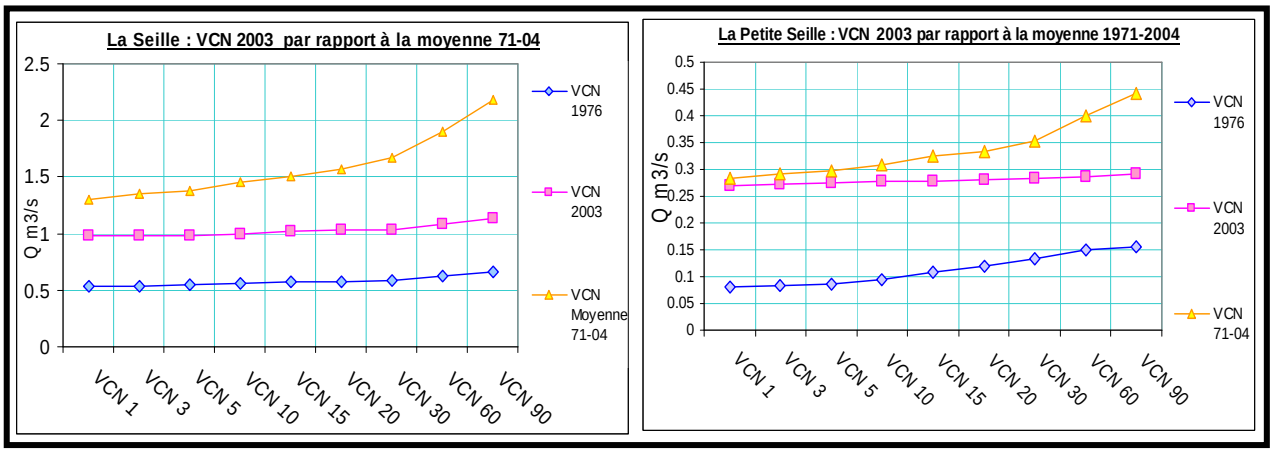
Les données exploitées pour cette analyse sont des données journalières. La démarche comprend un traitement statistique qui permet d'extraire des indicateurs peuvent informer sur les caractéristiques de l'étiage 2003. - Détermination des VCN pour les faibles débits et leur durée. - Détermination des coefficients de tarissement (α) utiles à la compréhension du comportement hydrologique de la rivière en période d'étiage.

a- Les VCN dans le bassin de la Seille

Elles sont déterminées et comparées à celles de 1971 - 2004 et de l'année 1976 qui reste une année de référence pour toute la région Lorraine.

Les valeurs des VCN ont été calculées pour les quatre sous bassins de la Seille. L'examen des résultats obtenus (figure n°73) montre que les VCN de l'année 2003 sont inférieures à la moyenne des VCN 1971-2004 que se soit dans la Seille à Metz ou dans la Petite Seille.

Figure n°73: Les VCN 2003 de la Seille par rapport à la moyenne 1971 - 2004



La différence entre les valeurs des VCN 2003 et la moyenne 1971 - 2004 est forte, ce qui explique l'importance de l'étiage de 2003. Elles prennent une grande ampleur à partir des VCN_{30}, VCN_{60} et VCN_{90} dans les deux cours d'eau. Ce qui veut dire que dès qu'on monte dans le temps, les débits affaiblis par le manque des précipitations ainsi que l'augmentation de l'évaporation, entraînent le cours d'eau dans un étiage prononcé.

Tableau n°65: La variabilité des moyennes des VCN dans le bassin de la Seille

Durée des VCN		**VCN1**	**VCN3**	**VCN5**	**VCN10**	**VCN15**	**VCN20**	**VCN30**	**VCN60**	**VCN90**
La Seille à Metz	2003	0,978	0,981	0,981	0,999	1,015	1,034	1,038	1,089	1,136
	1976	0,535	0,539	0,545	0,560	0,568	0,572	0,591	0,622	0,664
La Seille à Nomeny	2003	1,000	1,017	1,018	1,036	1,042	1,046	1,125	1,185	1,237
	1976	0,418	0,421	0,423	0,432	0,440	0,457	0,495	0,605	0,668
La Petite Seille	2003	0,269	0,271	0,274	0,277	0,278	0,279	0,282	0,285	0,292
	1976	0,081	0,084	0,087	0,094	0,107	0,121	0,134	0,150	0,156

Mais cette situation de 2003 a été moins sévère que celle de 1976. Nous proposons le calcul des fréquences d'apparition (ajustement à une loi log normale) dont les valeurs sont exposées dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°66 : Fréquence de retour pour les VCN dans le bassin de la Seille

	Débits d'étiage (m3/s) VCN_1				**Débits d'étiage (m3/s) VCN_{10}**				**Débits d'étiage (m3/s) VCN_{30}**			
	F 1/2	**F 1/5**	**F 1/10**	**F 1/50**	**F 1/2**	**F 1/5**	**F 1/10**	**F 1/50**	**F ½**	**F 1/5**	**F 1/10**	**F 1/50**
La Petite Seille	0.258	0.180	0.149	0.128	0.287	0.206	0.17	0.150	0.334	0.247	0.211	0.186
La Seille à Nomeny	1.021	0.743	0.629	0.548	1.147	0.856	0.734	0.646	1.341	0.998	0.855	0.752
La Seille à Metz	1.214	0.885	0.750	0.654	1.356	0.992	0.842	0.736	1.549	1.119	0.944	0.820

D'abord pour la chronique 1971 - 2004 toutes les valeurs des VCN_1 (1,301 m3/s) VCN_{10} (1,451 m3/s) VCN_{30} (1,665 m3/s) à la station de Metz ont une durée de retour de 2 ans. Les mêmes durées de retour (2 ans) sont obtenues dans les autres sous bassins. Les durées de retour pour les VCN des années 1976 et 2003 surtout pour les VCN_1 (les valeurs les plus faibles de la Seille) donnent les résultats suivants : - L'année 1976 constitue l'étiage de référence en terme de temps de retour (50 ans). - Pour l'année 2003, les VCN_1 ont une durée de retour de 1/2 ans dans les trois sous bassins (Metz 0,978 m3/s, Nomeny 1,00 m3/s, Château-Salins 0,269 m3/s). Les VCN_{10} ont une fréquence de 1/2 ans à Château Salins et à Nomeny et 1/5 ans à Metz. En ce qui concerne les VCN_{30} seule la station de Nomeny a une

durée de retour de 1/2 ans, les autres sous bassins enregistrent une durée de retour entre 1/5 ans et 1/10 ans. Malgré les faibles débits d'étiage enregistrés en 2003 on constate qu'on est largement loin de l'étiage de 1976. A partir de ces résultats de durée de retour, on peut même considérer l'année 2003 comme année à caractère sec, mais on est loin d'une année exceptionnelle au plan hydrologique.

b- Le coefficient de tarissement

Comme pour la période 1971 - 2004 on a appliqué la loi de tarissement de Maillet. Nous avons fixé deux paramètres qui paraissent importants pour la détermination des phases de tarissement mais qui seront différents de ceux de la chronique 1971 - 2004 :- Le nombre de jours après l'arrêt des pluies est de 5 jours. - Le nombre de jours minimums qui compose les phases de tarissements est fixé en 6 jours. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°67: Les coefficients de tarissement pour l'année 2003

Bassin versant	N	Episodes	Nombre de jours	Coefficient de tarissement
La Petite Seille	1	09/07/2003 - 15/07/2003	6	0,0420
La Seille à Moyen Vic	1	10/07/2003 - 16/07/2003	6	0,0326
La Seille à Nomeny	1	05/08/2003 - 11/08/2003	6	0,0225
La Seille à Metz	1	20/06/2003 - 26/06/2003	6	0,0215

A l'échelle d'une année, la difficulté de repérage des épisodes de tarissement est très grande. Ce sont donc les critères de repérage que l'on a changé par rapport à la longue chronique 1971 - 2004. Dans l'ensemble des stations du bassin de la Seille, on aperçoit que les phases de tarissement sont courtes, ce qui explique que les débits de la Seille, malgré l'absence des pluies, sont sans cesse perturbés, même en période d'étiage. L'origine de cette perturbation provient du soutien des nappes. Une durée de 6 jours consécutifs sans pluies détermine un épisode pour chaque sous bassin. La rareté des épisodes de tarissement conduit à nous interroger sur la réalité du tarissement pour un bassin très arrosé et imperméable. Les résultats montrent deux types de coefficients de tarissement :

- les coefficients élevés qui caractérisent la partie amont du bassin (sous bassins de Moyen Vic et Nomeny) et qui sont supérieurs à 0,030.
- les coefficients faibles qui caractérisent la partie médiane (sous bassin de Nomeny) et la partie aval (sous bassin de Metz) et qui sont inférieurs à 0,030. Les valeurs obtenues pour l'année 2003 sont proches des coefficients de tarissement de la période 1971 - 2004 et les ordres de grandeur fixés par la géologie sont respectés.
- l'amont du bassin présente des coefficients forts qui prouvent que les débits sont soutenus pendant cette période.
- à l'aval du bassin, l'absence d'aquifères importants est donc confirmée par les coefficients de tarissement qui sont faibles et qui témoignent d'une décroissance extrêmement rapide des débits en l'absence de précipitations.

On peut s'intéresser plus précisément à un coefficient moyen pour l'année 2003, à ce propos on a fait appel à la méthode de «Matching Strip». L'utilisation d'une valeur moyenne permet d'appréhender le comportement hydrogéologique moyen du cours d'eau en tarissement. Les résultats obtenus par cette méthode donne un coefficient de tarissement moyen de 0.033 (coefficient mensuel de vidange de nappe à presque 42 %). Maintenant on peut comparer les deux coefficients de tarissement moyens de la période 1971 - 2004 (0.049) et de 2003 (0.033). L'année 2003 est caractérisée par un coefficient de tarissement plus faible très représentatif de la situation de 2003 qui ne vient pas seulement des faibles précipitations hivernales mais aussi de l'intensité de l'évaporation à cause des températures élevées que la région a connue pendant cet été.

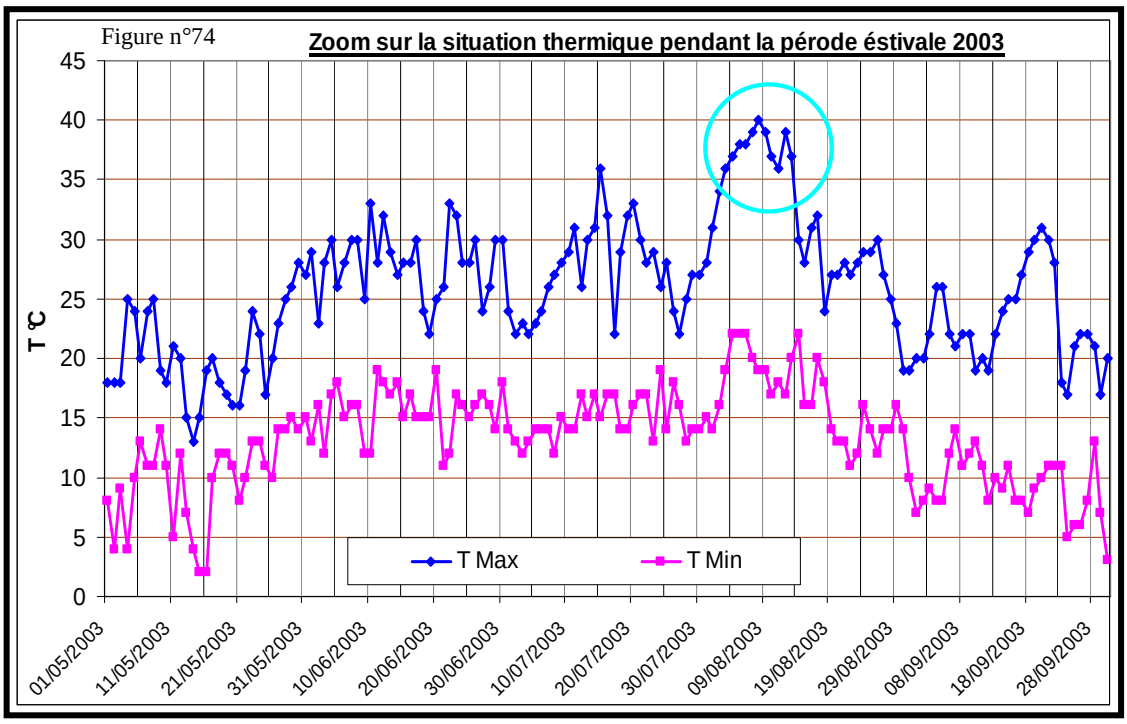
3- Explication de l'étiage de 2003

L'année 2003 a été particulièrement sèche. A présent il s'agit d'analyser les excès thermiques exceptionnels expliqués par les types de temps inhabituel dans le bassin de la Seille. La démonstration se base sur le traitement des données journalières ainsi que sur l'analyse des cartes météorologiques publiée par Météo France « Météo-heb 2003 n° 31, 32 et 33 ».

a- La situation thermique

L'été 2003 a connu des températures élevées (supérieures à 35 °C) avec des valeurs similaires à celle d'un climat méditerranéen (figure n°74).

Figure n°74



Dés le mois de mai, températures maximales ont été normales frôlent les 25°C. Au début du mois de juin elles grimpent et dépassent largement les 25°C parfois les 30°C pendant quelques jours. A la fin du mois de juin les températures chutent, avant de remonter en juillet pour dépasser pour la première fois les 35°C. La forte chaleur a atteint son maximum à partir du 27 juillet. Cette situation a duré jusqu'au 28 août pour voir les températures redescendent à 25°C. Ce sont ces jours là qui ont eu des conséquences sur la santé publique et au niveau de l'hydrologie.

D'un point de vue statistique, sur presque 150 jours de la période estivale (qui va de mai à septembre) on note que la moitié ont une température maximale qui dépasse les 25°C, plus de 40 jours dépassent les 30 °C et presque 14 jours atteignent les 35°C, enfin une journée enregistre les 40°C. Si on sait d'avance que l'année 2003 a été déficitaire en terme de précipitations tombées par rapport à la chronique (1971-2004), les températures élevées enregistrées pendant la période estivale augmentent certainement les besoins en eau à travers l'évaporation. Les débits faibles entraînent logiquement la Seille vers une phase d'étiage plutôt sévère.

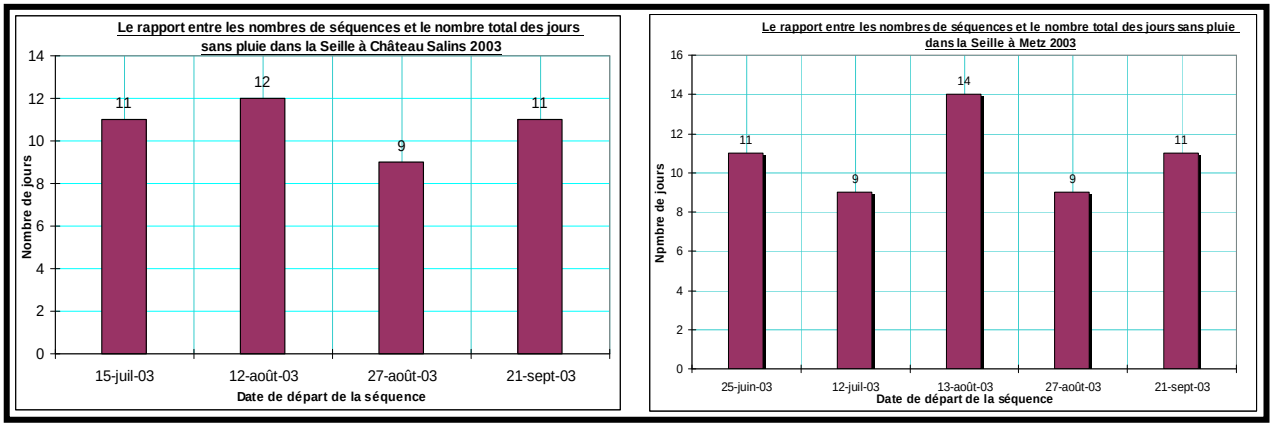
b- Nombre de jours sans pluie

Le nombre de jours consécutifs sans pluies (NJSP) explique les situations d'étiages dans un bassin majoritairement imperméable où le ruissellement représente la ressource

principale pour soutenir les débits de la Seille. Trois indicateurs ont été définis pour repérer les périodes propices à l'apparition de l'étiage :

- Un seuil de pluies fixé à 0 mm,
- Un minimum de jours qui constituent l'épisode supérieur où égal à 6 jours

Figure n°75: Le rapport entre les nombres de séquences et le nombre total des jours sans pluie dans la Seille 2003



Pour l'année 2003 le mois d'août est le plus sec dans l'ensemble du bassin avec une moyenne de 12 à 14 jours sans pluie. A partir de la loi de Poisson nous avons calculé les probabilités de ces jours sans pluie pour l'année 2003 (tableau n°68).

Tableau n°68 : Fréquence de retour pour les NJSP dans le bassin de la Seille 2003

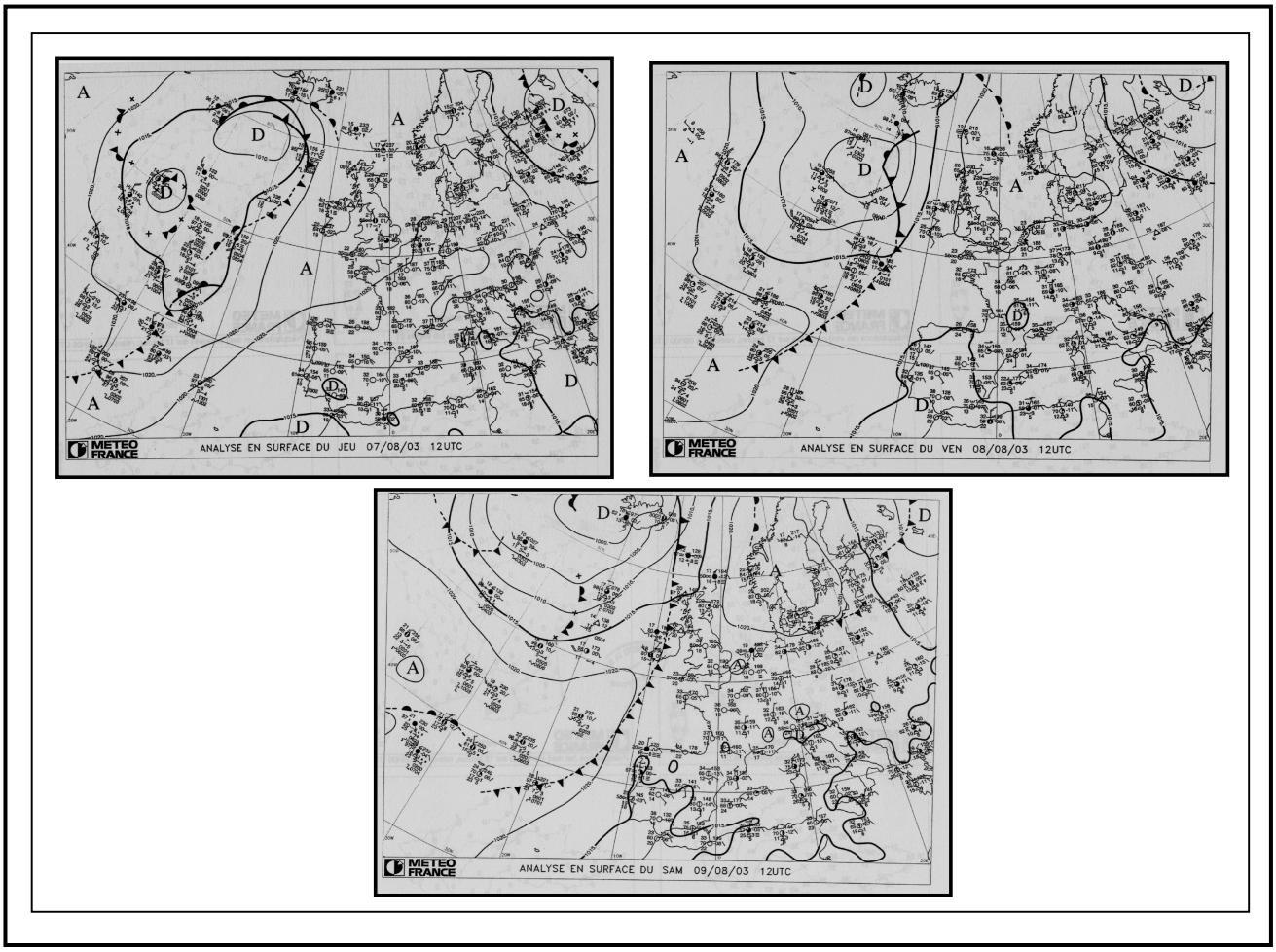
B.V	**Fréquence**					
	F 1/2	**F 1/ 3**	**F 1/5**	**F 1/10**	**F 1/20**	**F 1/50**
La Petite Seille	14	16	17	**20**	22	**25**
La Seille à Metz	15	16	18	20	23	26

La durée de retour de ces jours sans pluie n'atteint même pas 2 ans ce qui veut dire que ce n'est pas encore le manque de pluie de l'été qui est responsable de la situation des étiages de 2003. Ainsi, des températures élevées enregistrées en été et surtout en août, sont responsables de la situation des étiages.

c- Situation météorologique en été 2003

La saison estivale de 2003, d'une façon générale, a été sous un type de temps de sud ouest ce qui a conduit à une situation de blocage sur la Lorraine et entraîné une sécheresse. L'analyse des cartes météorologiques (Figure n°76) montre que l'été 2003 a comporté plus de 57 % de situations anticycloniques, la normale étant autour de 45 %, d'où la rareté des précipitations estivales. Le déficit en type de temps pluvieux provient essentiellement des circulations cycloniques d'ouest qui ne sont représentées que dans la portion de 10% au lieu de 20 d'où la baisse des précipitations estivales ce qui ne favorise pas le soutien du cours d'eau. La figure n°76 concerne les trois jours les plus chauds de la saison estivale, situées en août. Elles traduisent des situations météorologiques particulières. Le temps chaud qui a régné pendant ces trois jours.

Figure n°76: Analyse en surface du 7, 8 et 9/8/03



Ainsi à partir du mercredi 06-08-03 l'Est de la France a été sous la pression d'un talweg thermique, qui contient des masses d'air sèches et caniculaires. Le jeudi 07-08-03 la situation est toujours bloquée à l'image du jour précédent. La masse d'air demeure caniculaire et on observe une nouvelle fois des excès dans les températures. Le vendredi 08-08-03, l'anticyclone persiste sur la France et provoque une situation de blocage par une dorsale d'altitude et une masse d'air très chaude en surface. Une nouvelle anomalie de haute troposphère aborde le pays par le nord tandis qu'une dépression thermique se développe. Le lendemain (samedi 09-08-03) la situation n'évolue guère avec la persistance sur l'Europe de l'anticyclone d'une puissance dorsale en altitude qui donne un soleil chaud sur l'ensemble du pays. Cette situation déclenche une canicule sur l'ensemble de la Lorraine. Elle a permis à la région de battre des records de températures pendant ces trois jours autour de 40°C. La période des basses eaux correspond à une succession de types de temps anticyclonique qui contient des masses d'air sèches et caniculaires peu porteuses de précipitations.

Conclusion :

Etiage de 2003 est considérée comme sévère à cause des manques de précipitations, de l'augmentation de la température et des faibles débits (1,08 m3/s). Plus en détail, lors de cette analyse on a pu noter que les hauteurs précipitées ne dépassent pas les 493 mm contre 750 pour la période 1971-2004, ce qui veut dire un déficit pluviométrique de 257 mm. Les outils statistiques ont permis de comprendre cette situation.

Les débits de la Seille ont réagi rapidement aux conditions climatiques. Ils ont connu une baisse notable durant cette année surtout pendant la période estivale. L'impact de cette

situation a donc été très fort sur les réserves en eaux souterraines et ses effets ont été accentués par une pression anthropique supplémentaire en vue d'assurer la continuité de l'alimentation en eaux.

4- Gestion des étiages dans l'ensemble du bassin de la Seille

a- Le soutien des débits de la Seille pendant la période des étiages

Le soutien de la Seille pendant la période estivale est assuré de deux manières : - les aquifères malgré leur faible potentiel (substratum imperméable 75%) - les lâchers de l'étang du Lindre.

1-1 Le soutien des débits d'étiage par les nappes

Le soutien des aquifères varie d'un sous bassin à l'autre. Nous reprendrons les résultats du bilan hydrologique pour déterminer le rôle des nappes (cf. 2ème partie, chapitre 2). On détecte ainsi deux types de soutien du cours d'eau :

- un soutien permanent avec des apports > à 3 m3/s.
- un soutien temporaire qui finit fin août à cause de l'arrêt des apports.

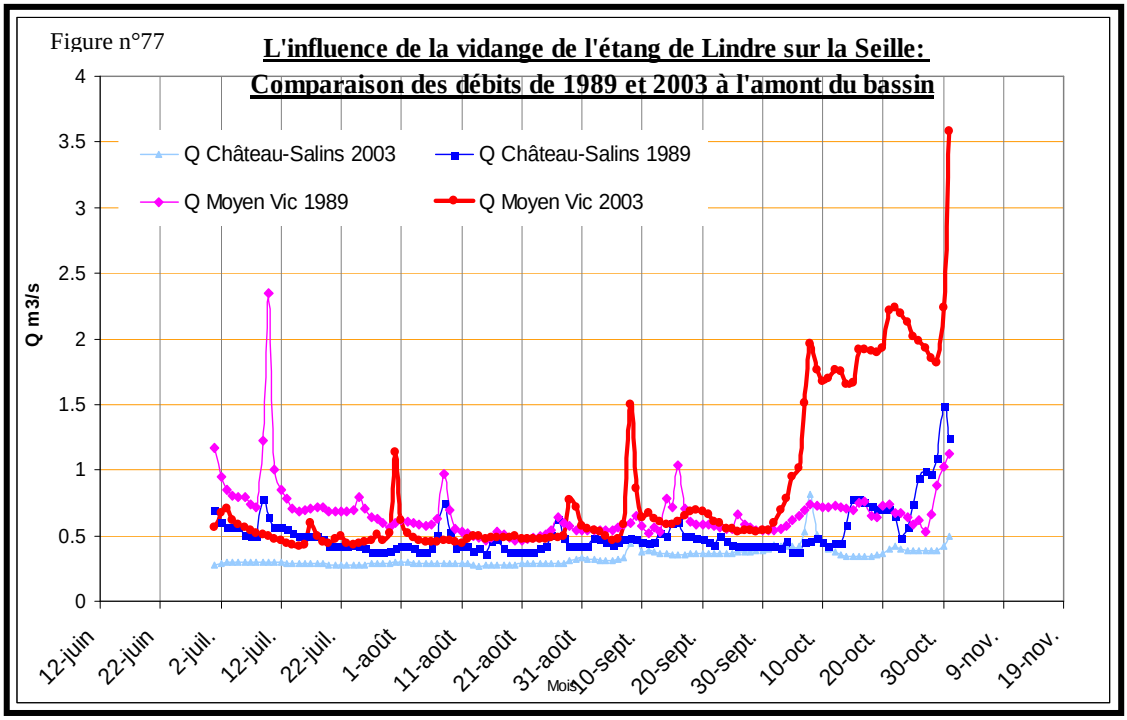
Ces deux fonctionnements sont expliqués par la lithologie. Le premier fonctionnement est celui de l'amont du bassin de la Seille (sous bassins de Moyen Vic et de Château-Salins) qui bénéficie d'un soutien permanent des nappes de grès roseaux et de grès Rhétien ainsi que des nappes de marnes irisées. Le deuxième fonctionnement regroupe la partie médiane (sous bassin de Nomeny) et aval (sous bassin de Metz) à substratum plus imperméable et soutien discret par des nappes suspendues vite vidangées, des aquifères du calcaire Cératites et des alluvions qui présentent des réservoirs locaux de faible étendue.

Les résultats du bilan hydrologique (1986 - 2004) montrent que ce soutien par les nappes dure 4 mois (juillet à octobre) à l'amont du bassin. Il donne une lame d'eau de 23 mm dans le bassin de Château-Salins et 8 mm à Moyen Vic. A l'aval du bassin le soutien des nappes dure 8 mois (avril jusqu'en novembre) dont trois mois où la nappe est presque épuisée (< 1mm) (août, septembre, octobre et novembre). En effet, les lames d'eau écoulées dans le cours d'eau sont de 17 mm pour Nomeny et de 16 mm pour la Seille à Metz. Pendant les années sèches (1976, 1992 et 2003) les sollicitations de ces nappes peuvent apparaître tôt et conduisent à une apparition des phases d'étiages précoces.

1-2 Le soutien des débits d'étiage par la vidange de l'étang du Lindre

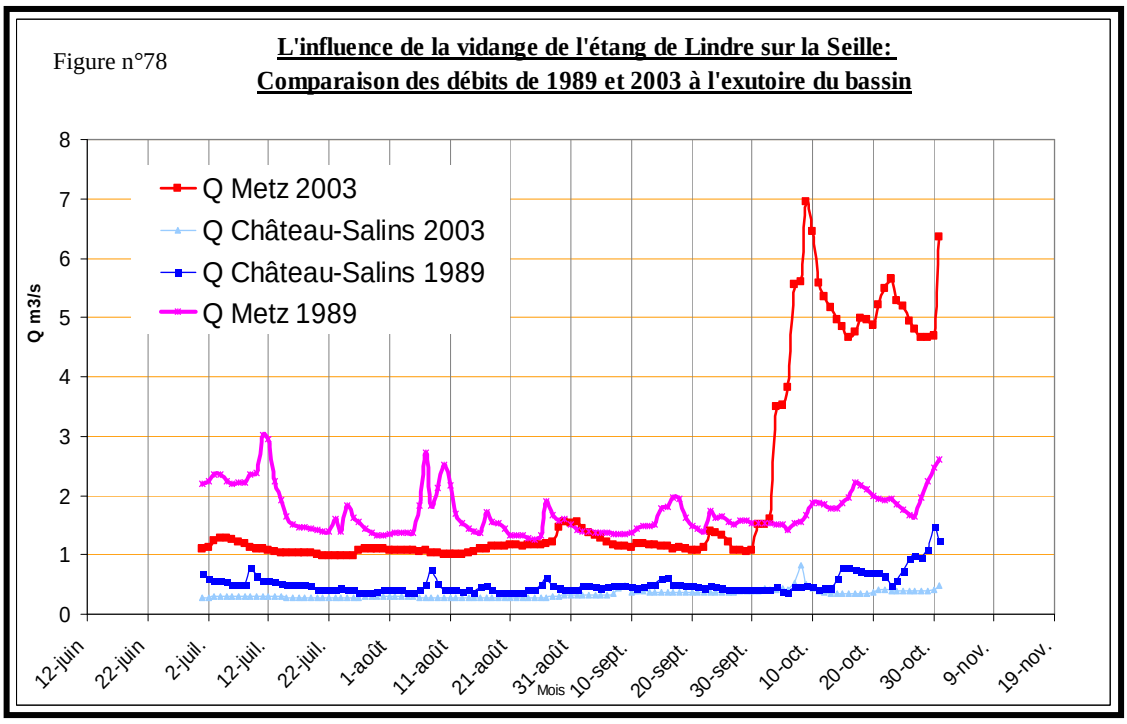
En comparant une année sans vidange comme celle de 1989 (Grysan, 1999) à l'année 2003 qui a connu une vidange de l'étang de Lindre, nous espérons déterminer l'influence de cet étang sur les débits de la Seille. L'année 1989 était une année moyenne avec des précipitations de 718 mm à Metz, supérieures à celle de 2003 (493 mm). L'évaporation est de 691 mm à Metz et 692 mm à Château-Salins, elle a été inférieure à celle de l'année 2003, 775 mm à Metz et 745 mm enregistrée à Château-Salins. L'année 1989 est une année plutôt humide par rapport à celle de 2003 globalement sèche. La comparaison concerne d'abord les stations de Château Salins puis celles de Metz. Les graphiques n°77 et 78, présentent les résultats de cette comparaison.

Figure n°77



La rapide montée des débits à Moyen Vic à partir de fin septembre 2003 est flagrante. Elle reflète bien ces influences avec un débit qui passe de 0,5 m3/s à 2 m3/s en sept jours. A côté, les débits de la Petite Seille restent stables et montrent que cette augmentation n'est pas due aux précipitations. Le même accroissement est visible à l'aval à la station de Metz avec une augmentation de 1 à 5 m3/s pendant la même période. Les configurations sont dues au Lindre. La période estivale se caractérise ainsi par deux situations :

Figure n°78



- Un étiage naturel qui dure jusqu'à fin juillet et répond à la situation climatique du bassin.

- Un étiage artificiel qui démarre fin août avec le soutien des débits par lâchers du Lindre.

b- La gestion de l'étiage par les interventions des riverains

Les gestionnaires et riverains ont recours à plusieurs mesures afin de réduire l'impact des débits d'étiages sur l'hydrosystème:

- L'association des pêcheurs ainsi que les gestionnaires (les syndicats, l'Agence de l'Eau, la Diren …) veillent à garantir un débit suffisant pour éviter tout risque de dégradation de la vie aquatique ainsi que de la qualité de l'eau. Les vannes de l'étang de Lindre seront ouvertes pour soutenir les faibles débits du cours d'eau et les barrages abaissés pour favoriser les mouvements de l'eau.

- Les usages de l'eau sont limités (prélèvement pour des raisons économiques, d'élevage, d'arrosage d'espace vert…..). La réglementation permet au préfet de prendre des arrêtés nécessaires.

- Les actions d'entretien visent à enlever les embâcles, nettoyage de la végétation aquatique et à enlever les branches des arbres qui s'étendent sur le cours d'eau, ce qui doit faciliter les écoulements.

- La construction des seuils au fond du lit mineur permet d'augmenter localement la vitesse de circulation de l'eau.

Ces mesures prises par les gestionnaires de la rivière pendant la période d'étiage, nécessitent une réelle communication afin d'expliquer à tous les riverains leur nécessaire participation à la gestion de crise et de rappeler les conséquences de toutes ces mesures sur la vie aquatique et la qualité de l'eau.

Conclusion : Globalement, l'étiage survient en juillet, août et septembre. Il résulte de la combinaison complexe de divers éléments climatiques :

- L'insuffisance des précipitations qui ne compense pas l'ETP ce qui entraîne un manque d'eau. - la nature imperméable des terrains qui affleurent dans le bassin de la Seille qui ne garantissent pas un soutien pendant la période des basses eaux.

- Les facteurs humains qui interviennent pour aggraver l'effet des phénomènes naturels avec la dégradation de la qualité d'eau. Aussi, pendant cette période, la Seille souffre d'un manque d'eau marqué par une baisse du niveau d'eau dans le lit mineur et surtout un ralentissement des vitesses de l'écoulement. En résumé, l'étude de ce phénomène d'étiage apporte quelques renseignements essentiels :

- On retient ainsi que le bassin de la Seille, qui appartient à un climat régional océanique sous influence continentale, dont les précipitations sont assez abondantes, connaît de temps en temps un déficit pluviométrique. Ces conditions sont propices à l'apparition du phénomène d'étiage (1976-1992-2003).

- L'utilisation d'outils statistiques tels que l'analyse fréquentielle des QMNA, l'approche des VSN et le coefficient de tarissement ont permis d'estimer la sévérité des étiages de la Seille en terme de temps, de durée de retour.

- Les débits de la Seille sont alors influencées par des lâchers du Lindre. Leur artificialisation est d'autant plus visible que l'étiage est sévère.

- Le phénomène d'étiage dans le bassin de la Seille a des impacts d'abord sur la dégradation de la qualité d'eau, sur l'apparition des embâcles et enfin sur le développement de la végétation aquatique.

- Les faibles débits de la période d'étiage qui s'étendent sur une durée de trois mois minimum (VCN_{90}) ne favorisent par la dynamique fluviale, ce qui veut dire une stabilité des processus érosifs.

V- L'impact des extrêmes hydrologiques sur la Seille

Les extrêmes hydrologiques posent des problèmes difficiles aux gestionnaires car l'excès d'eau exige la protection contre les débordements et la protection du bien des riverains. D'un autre côté, le manque d'eau menace la vie aquatique et dégrade la qualité

d'eau. Dans ce chapitre on va essayer de déterminer les conséquences de ces extrêmes hydrologiques sur le cours d'eau. Pour les crues, nous allons expliquer leur rôle dans le déplacement des embâcles et les dommages provoqués dans la vallée lorsque le cours d'eau déborde (crue 2001). En ce qui concerne les étiages nous proposons d'aborder leur impact sur la qualité de l'eau et sur l'apparition des phénomènes d'embâcles ainsi que sur la végétation aquatique.

1- Les conséquences des crues sur le cours d'eau

Ces phénomènes de crues sont difficiles à prévoir malgré le développement d'outils de prévention. Pour les riverains de la Seille l'objectif était de réduire les inondations dans la vallée en menant un nombre important d'actions d'aménagements (3ème partie, chapitre 6).

a- Le déplacement des embâcles

Suivant les modalités de circulation de l'eau, plusieurs produits sont transportés par le cours d'eau. Les observations faites sur le terrain ont amené à distinguer deux situations de transport :

- la première entraîne le déplacement des embâcles lors des premières pluies de l'automne qui permettent au niveau de l'eau de réoccuper l'ensemble du chenal. Cette situation entraîne un flottage des objets légers, un transport des sédiments fins dans le lit. Les grands objets restent stables au fond du chenal car la capacité du cours d'eau ne permet pas de les bouger, il faut attendre les écoulements forts. Ceux ci mettent le mouvement, tous les produits flottants se retrouvent un peu plus tard à naviguer librement dans la Seille.



Photo n°6: Débordements à l'aval de la Seille (Marly) en décembre 2001 Source : Diren

- la deuxième intervient lorsque l'eau commence à déborder du lit mineur, alors elle va chercher a transporter tous les objets qui entourent les berges (le lit majeur immédiat).

On notera qu'au début de la décrue tous les objets flottants commenceront à être stockés et déposés. Les lieux idéals sont les piliers de ponts (exemple du pont de Sillegny), les barrages, les endroits où il y a des arbres.

b- Les dommages

Malgré toutes les tentations, comme nous le virons plus loin (3ème partie, chapitre 6), la Seille souffre encore des débordements à répétition. Lors des crues exceptionnelles de 2001, le cours d'eau a envahi le lit majeur, ce qui a provoqué des dégâts visibles sur les photos prises pendant la crue de décembre 2001.



Photo n°7 : Prise le 31/12/2001à 16h40.à Marly Source : Diren



Photo n°8: Prise le 30/12/2001 à 16h15. 1er plan : la blanche borne (Marly) Source : Diren



Photo n°9: Prise le 30/12/2001 à 11h20 La Seille entre Orée Nord et le village de Marly de la RD 113A Source : Diren

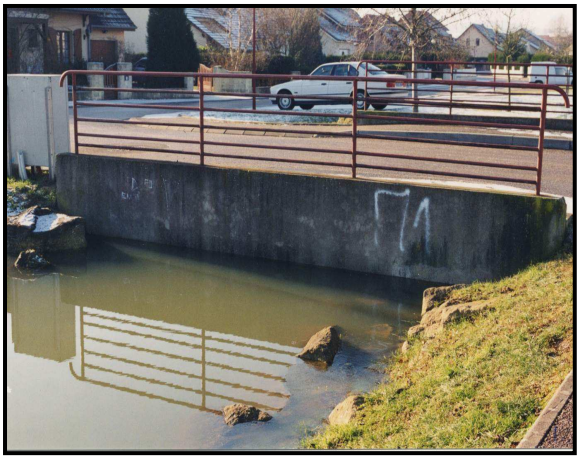


Photo n°10: Prise le 31/12/2001 à 16h20 Marly Source : Diren



Photo n°11: Prise le 30/12/2001 à 6h15. Clos des Lilas et la Grange aux Ormes - Golf au 1er plan Source : Diren



Photo n°12: Prise le 30/12/2001 à 6h15. Blanche borne, village rive droite Charmille, Largourtier, Chevrus rive gauche. Source : Diren

En ce qui concerne les inondations de 2001, leur déroulement rapide a provoqué des dégâts matériels. A partir des photos (Diren) on constate l'ampleur de l'événement.



Photo n°13: Prise le 30/12/2001 à 16h00 après décollage vue sur tvx RSM (aval de la Seille Marly) Source : Diren



Photo n°14: Prise le 31/12/2001 à 16h20 depuis le chemin vers la passerelle entre Orée Nord et Hameaux du Golf (aval de la Seille) Source : Diren

Au fil de la journée du 31/12/01, la Seille ne cesse de monter. Ces débordements ont été très spectaculaires à l'aval du bassin, à Marly. La plupart des terrains qui entourent le cours d'eau ont été submergés, des terrains agricoles ont été inondés. Les ponts ont été bouchés, ce qui a facilité la montée de l'eau dans les rues ; les maisons, n'ont pas échappé à ces inondations. Les témoignages qu'on a pu recueillir sur le terrain (2003) concernant les crues du 31/12 /01 soulignent la situation catastrophique. Les dégâts ressentis restent matériels.

On peut noter que les débordements de la Seille restent des phénomènes naturels malgré les multiples interventions des riverains.

2- L'impact des étiages sur l'état du cours d'eau

La baisse du niveau d'eau dans la Seille perturbe le fonctionnement de la rivière et provoque un déséquilibre dans le cours d'eau. La qualité de l'eau qui est présentée dans l'ensemble du linéaire de la Seille, souffre d'importants problèmes de pollution. Ceux ci sont en partie liés aux embâcles qui apparaissent dès que le niveau d'eau baisse et qui varient selon les secteurs ; leur enlèvement reste un défi pour les gestionnaires. La végétation aquatique envahit le chenal dès que le niveau d'eau baisse. Ces impacts ont des effets sur la dynamique fluviale du cours d'eau, comme nous le virons plus loin (4ème partie). Nous avons fait appel à la bibliographie, aux rapports de l'Agence de l'Eau (1994, 2000) et de S.R.A.E.L. (1990) pour appréhender le problème de la qualité de l'eau.

a- La qualité de l'eau

De tout temps, la qualité de l'eau a fait partie des grands problèmes de la Seille. Elle dépend de la nature géologique, de l'occupation du sol du bassin versant, des rejets ponctuels et diffus etc. L'origine de cette pollution est naturelle puisque les eaux de la Seille sont caractérisées par une salinité importante (lessivage des terrains salifères par les eaux). Mais l'essentiel de la pollution provient des rejets domestiques, des rejets d'élevages et des déchets industriels (rejets des usines de Dieuze, de Bioncourt, de Mécleuve, ou encore de Marly) ce qui correspond à des eaux usées. En dehors du cours d'eau, on peut ajouter à cette pollution une autre pollution par les nitrates qui menace les eaux des nappes. Cette dégradation a de graves conséquences sur la vie aquatique. D'ailleurs, les riverains de la Seille ne parviennent pas à oublier la catastrophe du 16 mai 1990. A cause de l'augmentation du taux de pollution, près de 20 milles tonnes de poissons ont trouvé la mort et ont été retirés de la rivière. Le rapport du service régional d'aménagement des eaux (1990) a démontré que les rejets domestiques, les rejets d'élevage ainsi que la pollution agricole ont été responsables de cette

pollution inhabituelle. Cet événement, entre autre montre la dégradation de la qualité des eaux de la Seille qui s'aggrave pendant la période d'étiage.

Plusieurs services ont mené des étude afin d'améliorer la qualité des eaux du cours d'eau. La police de l'eau (DDAF) mène depuis 1989 un suivi de la pollution dans le cours d'eau. Le Conseil Supérieur de Pêche a mené des études sur la qualité des eaux en 1988, 1990, 1994. On peut citer le rapport de l'Agence de l'Eau 1999-2000 qui fait partie du programme d'étude du milieu physique. L'objectif principal de ces programmes étaient de réaliser un état des lieux de la qualité physique de toutes les rivières du bassin Rhin - Meuse. En ce qui concerne la Seille, la qualité est globalement passable (d'après les données de RNB 1991 et les données de RNB 2000). Aujourd'hui la Seille comprend huit stations d'épuration sur le cours d'eau principal, une sur la Petite Seille ainsi que 9 autres réparties sur l'ensemble des affluents de la Seille (carte n°23). Ces stations d'épuration font l'objet d'un suivi du Service d'Assistance Technique aux Stations d'Epuration (SATESE).

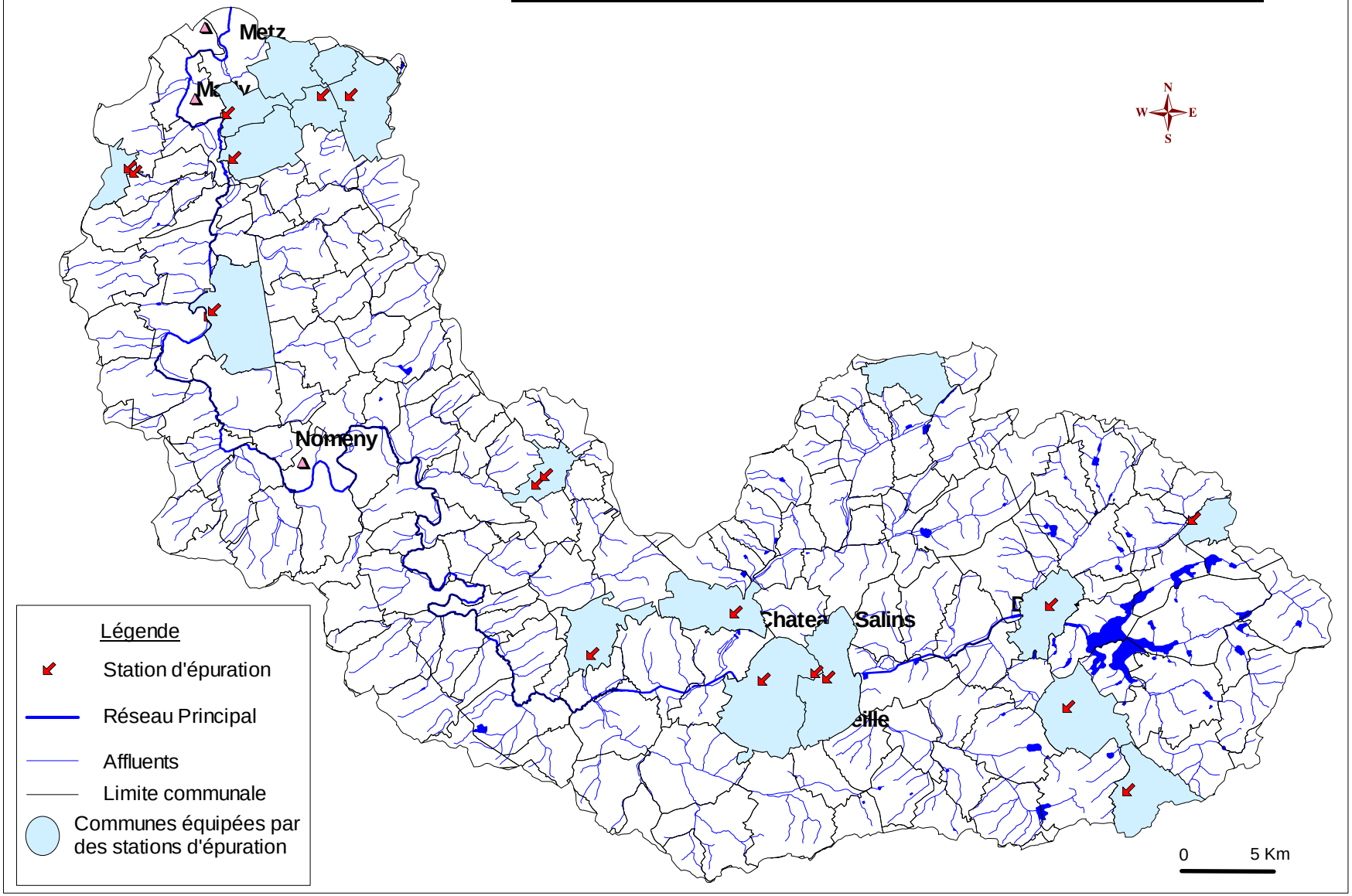
Actuellement avec toute les précautions prises et les moyens mis en œuvre, on peut généralement distinguer deux types de qualité d'eau :

- La qualité piscicole déterminée en fonction de la catégorie de poissons.
- La qualité d'eau définie selon des caractéristiques physico-chimiques.

L'Agence de l'Eau a financé un programme d'étude du milieu physique du bassin Rhin-Meuse. L'objectif est d'évaluer l'état de la qualité des composantes physiques des cours d'eau en mesurant leurs degrés d'altération par rapport à un état de référence. Dans le cadre de ce programme, la Seille a été découpée en 51 tronçons homogènes avec la qualité d'eau correspondante (le rapport de l'Agence de l'Eau 1999-2000). Les résultats de cette analyse montrent une grande variation des indices de qualité des eaux. La note la plus mauvaise est attribuée à la zone de Vic-Sur-Seille, tandis que la meilleure est attribuée à la zone de Azoudange (à l'amont du bassin). La qualité des eaux de la Seille se dégrade considérablement de l'amont vers l'aval.

Carte n°23

Localisation des stations d'épuration dans le bassin de la Seille



b- L'apparition des embâcles : perturbateurs des écoulements du cours d'eau

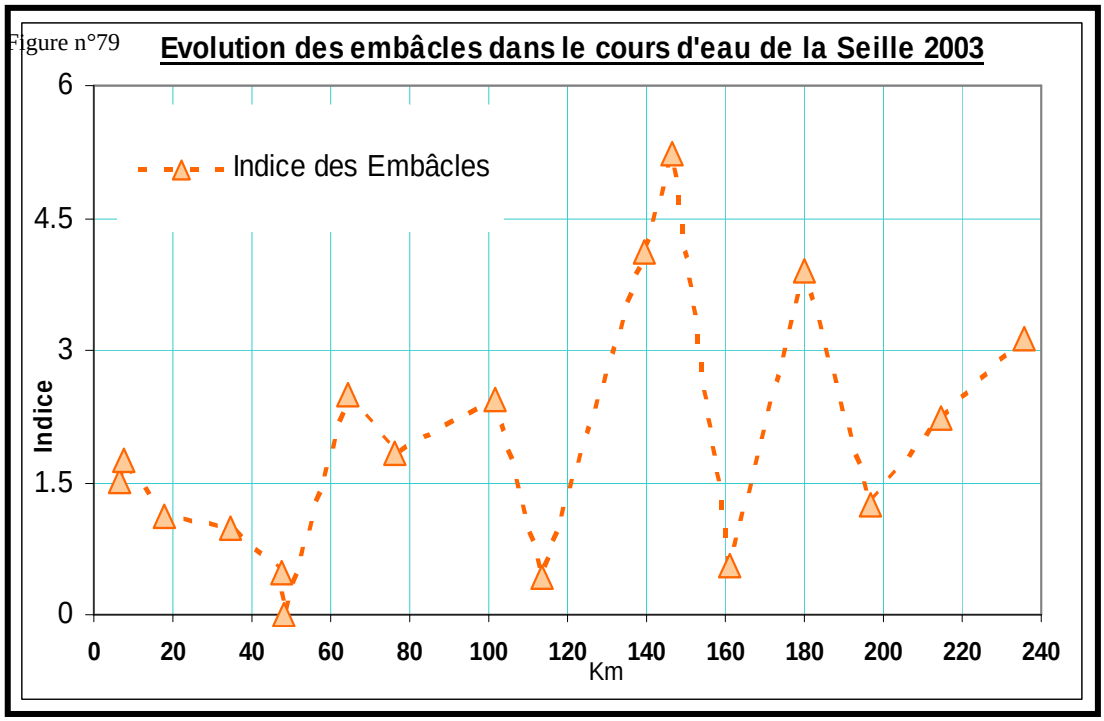
Ils concernent tous les objets qui font obstacles et qui empêchent l'eau de s'écouler (Gazelle, 2003). Ces obstacles restent un phénomène naturel parfois aggravé par l'homme, qui varient d'un secteur à l'autre (Loup, 1974). Ils entraînent des modifications importantes au niveau biotique et abiotique. Formés par des matériaux, des corps d'arbres et des déchets humains, leur accumulation provoque une stagnation de l'eau dont résulte une dégradation de la qualité et une vraie menace pour la vie aquatique.

1-1 Description cartographique

La carte des morphologies fluviales qui a été dressée à partir des données de 2003/2004 présente la localisation des embâcles (figure n°79) qui caractérise l'ensemble du linéaire du cours d'eau.

Nous avons procédé à repérer par tronçon, les longueurs de lit et de berges occupées par des embâcles exprimées en % de la longueur du tronçon. (découpage des tronçons, 3ème partie, chapitre 5). On note ainsi que globalement la fréquence des embâcles augmente vers l'aval (figure n°79).

Figure n°79



1-2 Les types d'embâcles

Sur le terrain on a pu identifier plusieurs types d'embâcles qui varient selon leur nature et leurs impacts sur le cours d'eau :

* Les embâcles végétaux : (débris végétaux, de feuilles (petite taille), de branches (taille moyenne), de troncs d'arbres ainsi que parfois d'arbres entiers (grande taille)). Ces produits végétaux sont les témoins d'une érosion des berges pendant la période des hautes eaux. Ces embâcles sont présents tout au long de la Seille et plus particulièrement dans les parties médiane et aval. La taille varie selon les endroits.



Photo n°15: Exemple de quelques débris végétaux au niveau de Cheminot (aval de la Seille)



Photo n°16: Quelques accumulations qui rendent l'écoulement plus difficile

* Les matériaux: Il se composent de sédiments et d'alluvions et sont les premiers effets de la diminution des débits dans le cours d'eau, ils provoquent des dépôts au pied des berges, mais aussi au milieu du cours d'eau si leur profondeur est faible, ils représentent des obstacles à la circulation du cours d'eau.

* Les déchets: Les objets qui nourrissent les embâcles sont des sacs plastiques, des bidons métalliques, des bâches, des piquets, des pneus, des palettes, des caisses….Tous ces produits sont jetés et transportés par le cours d'eau.



Photo n°17: Bloc d'embâcles végétaux (aval de la Seille)



Photo n°18: Ponts, endroit idéal pour des accumulations d'embâcles

Les embâcles végétaux restent les plus fréquents et les plus visibles. La plupart seront enlevés du cours d'eau grâce à des actions d'entretien que mènent les syndicats de temps en temps, sinon ils disparaîtront pendant la période hivernale. Les embâcles qui perturbent l'écoulement de l'eau ont des impacts importants : d'abord sur la vie aquatique car ils empêchent la circulation des poissons dans le chenal, ils entraînent la formation de zones d'eau stagnantes qui agissent sur la qualité de l'eau et conduisent à une apparition de la végétation aquatique et enfin conduisent à la dégradation du milieu. Par ailleurs, ils contribuent à diminuer la vitesse d'écoulement de l'eau, ce qui se traduit par une faible dynamique du cours d'eau. Ils perturbent les lignes de courant et favorisent l'érosion des berges.

c- Le développement de la végétation aquatique, synonyme d'une stabilité dynamique

Dans les cours d'eau du plateau Lorrain, durant la période estivale, le chenal est envahi par la végétation aquatique de plusieurs types. On peut citer : algues, bryophytes et macrocytes (d'après le laboratoire d'écologie de Metz 1999).



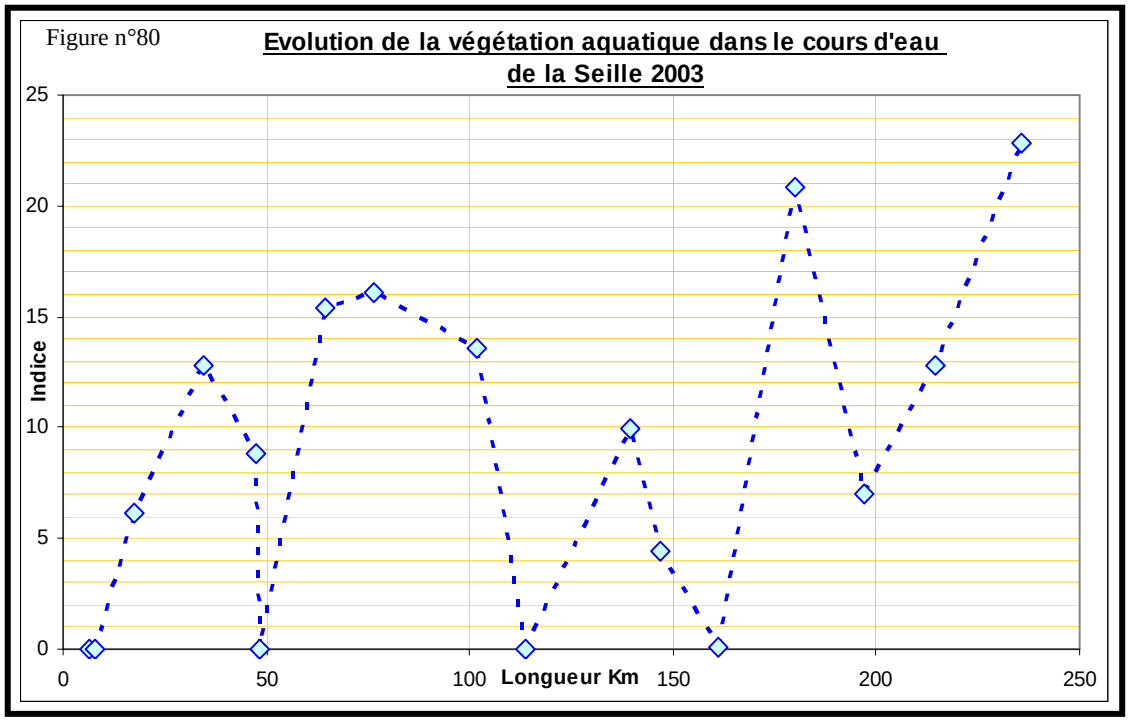
Photo n°19: Végétation aquatique profondément enracinée dans le chenal



Photo n°20: Quasi domination de la végétation aquatique

L'apparition de ces végétaux signifie la lenteur de l'écoulement, la faible profondeur, et l'augmentation de la température de l'eau avec instauration d'une stabilité dynamique. A l'inverse d'un point de vue biologique, la présence de cette végétation aquatique mène à une déstabilisation biologique de l'environnement. Durant la prospection du terrain on a pu localiser les endroits où se développe cette végétation aquatique (carte des morphologies fluviales, tome II). Pour déterminer l'évolution de ce phénomène dans le cours d'eau, on a procédé comme pour les embâcles (sélectionnés à l'intérieur des tronçons ; la longueur des endroits occupés par les végétations aquatiques et exprimée en % de la surface du tronçon) (figure n°80).

Figure n°80



Globalement, la végétation aquatique caractérise tout le linéaire du cours d'eau. Sur les 17 tronçons du cours d'eau seuls 4 tronçons ne contiennent pas de végétation. A l'amont et au centre du bassin l'apparition de cette végétation aquatique est observée au milieu du chenal. A l'aval ce phénomène se développe au pied des berges car les débits et la vitesse de l'eau sont un peu plus forts qu'à l'amont.

- Au niveau esthétique, l'apparition de la végétation donne une allure inhabituelle au cours d'eau.

- Au niveau biologique, cette végétation perturbe la vie aquatique.

- Au niveau de la qualité d'eau elle attire plusieurs insectes qui finissent dans les écoulements.

- Au niveau dynamique l'apparition de ce phénomène est synonyme d'une vitesse réduite, ce qui veut dire une absence du processus d'érosion.

Pour conclure la végétation aquatique reste un phénomène naturel qui peut apparaître dans tous les cours d'eau et qui peut conduire à la dégradation du milieu.

Conclusion :

Il faut reconnaître que la question posée par Bravard (2000) « les extrêmes hydrologiques : handicaps redoutables ou composantes patrimoniales à sauvegarder ? » divise les chercheurs et les spécialistes car on sait que la société civile exige des garanties sécuritaires contre les risques d'inondations et en même temps plaide aussi pour une sécurité concernant l'alimentation d'eau. Il est vrai que la sécurité recherchée par l'ensemble de la société civile passe par ces extrêmes hydrologiques qui apportent un certain équilibre en terme d'eau. L'essentiel est de mettre en œuvre des moyens de protection contre certains phénomènes qui accompagnent ces extrêmes (risque naturel et dégradation de la qualité d'eau). Au final, on sait que la vallée de la Seille est confrontée presque tous les ans à ces extrêmes hydrologiques qui sont devenus avec le temps des phénomènes naturels. Le problème qui se pose concerne les phénomènes qui apparaissent lors de ces extrêmes hydrologiques (risque d'inondation pour les crues, qualité d'eau, végétation aquatique et embâcles pour les étiages) qui agacent les riverains de la Seille. Si les crues apportent un surplus d'eau qui alimente le cours d'eau et recharge les nappes, il faut également ajouter que le risque de débordements reste permanent dans la vallée. Malgré le fait que les gestionnaires de l'eau ont pris en considération non seulement la gestion des flux, mais également les espaces qui entourent le cours d'eau, la vallée souffre d'importants problèmes, essentiellement liés aux risques hydrologiques qui agacent les riverains de la Seille. Pour les étiages, il faut reconnaître que l'existence de l'étang de Lindre à l'amont du bassin présente un atout dans la gestion de ce phénomène car il permet un soutien de la rivière. En effet, lors de cette période la dégradation de la qualité d'eau reste quand même un grand souci qui interpelle les gestionnaires de la rivière. La stagnation de l'eau causée par les embâcles et le développement de la végétation aquatique, accélère la dégradation de la qualité d'eau. Malgré cette anthropisation, la rivière reste très sensible aux risques d'inondations et à la dégradation de la qualité d'eau. L'augmentation de la surveillance et l'entretien permanent du cours d'eau restent de grandes priorités pour le développement du cours d'eau.

Conclusion générale de la deuxième partie

Comment récapituler l'hydrologie dans le bassin de la Seille ? La connaissance du contexte climatique est nécessaire pour expliquer le fonctionnement dynamique de la Seille. En effet, cette étude hydrologique de la Seille a permis de regarder à la loupe les écarts qui peuvent se produire entre une année humide caractérisée par des montées des eaux spectaculaires, ce qui se traduit par un excès d'eau, et une année sèche dominée par une par un manque d'eau dans le cours d'eau et conduisent à un étiage sévère. Il a permis aussi de démontrer la variabilité du fonctionnement hydrologique qui s'est confirmé tout au long de l'histoire, en témoigne la littérature ancienne. Ainsi note-t-on trois tendances hydrologiques qui s'affirment sur le cours d'eau à trois échelles de temps différentes. Le tableau n°69 présente les trois fonctionnements de la Seille:

Tableau n°69: Récapitulatif du fonctionnement hydrologique de la Seille

Situation Hydrologique	**Situation moyenne**	**Extrêmes hydrologiques**	
		CRUE	**ETIAGE**
Type de fonctionnement	moyen	fort	faible
La durée	Mars, Avril, Mai, Octobre et Novembre	Décembre à Février	Juin à Septembre
La période	normal	Hautes eaux	Basses eaux
Le débit à l'exutoire	10 m3/s	> 36 m3/s	< 5 m3/s
Impact dans le lit mineur	Faible érosion	Accélération du processus de l'érosion	Stabilité dynamique
Conséquences hydrologiques	Ecoulement normal dans le chenal principal	Débordement dans le lit majeur	Diminution du débit et apparition de végétation aquatique et d'embâcle
Caractéristiques hydrologiques	Concentration des écoulements dans le chenal principal	Transport solide	Dépôt et dégradation de la qualité d'eau

Finalement, trois conclusions s'imposent, on note :

- Un fonctionnement moyen avec un débit de la Seille à Metz de 10 m3/s. Il s'étend sur 5 mois (Mars, Avril, Mai, Octobre et Novembre) et offre au cours d'eau des débits écoulées satisfaisants avec des conséquences morphodynamiques variables selon les zones drainées.

- Un fonctionnement a caractère « fort » que nous pouvons apercevoir pendant la période des hautes eaux dont le débit est supérieur à 36 m3/s et s'étend sur trois mois (décembre, janvier et février). Les lames d'eau écoulées pendant cette période s'étalent en lit majeur (selon les secteurs) et conduisent à une érosions qui touchent l'ensemble du cours d'eau avec un degré différent.

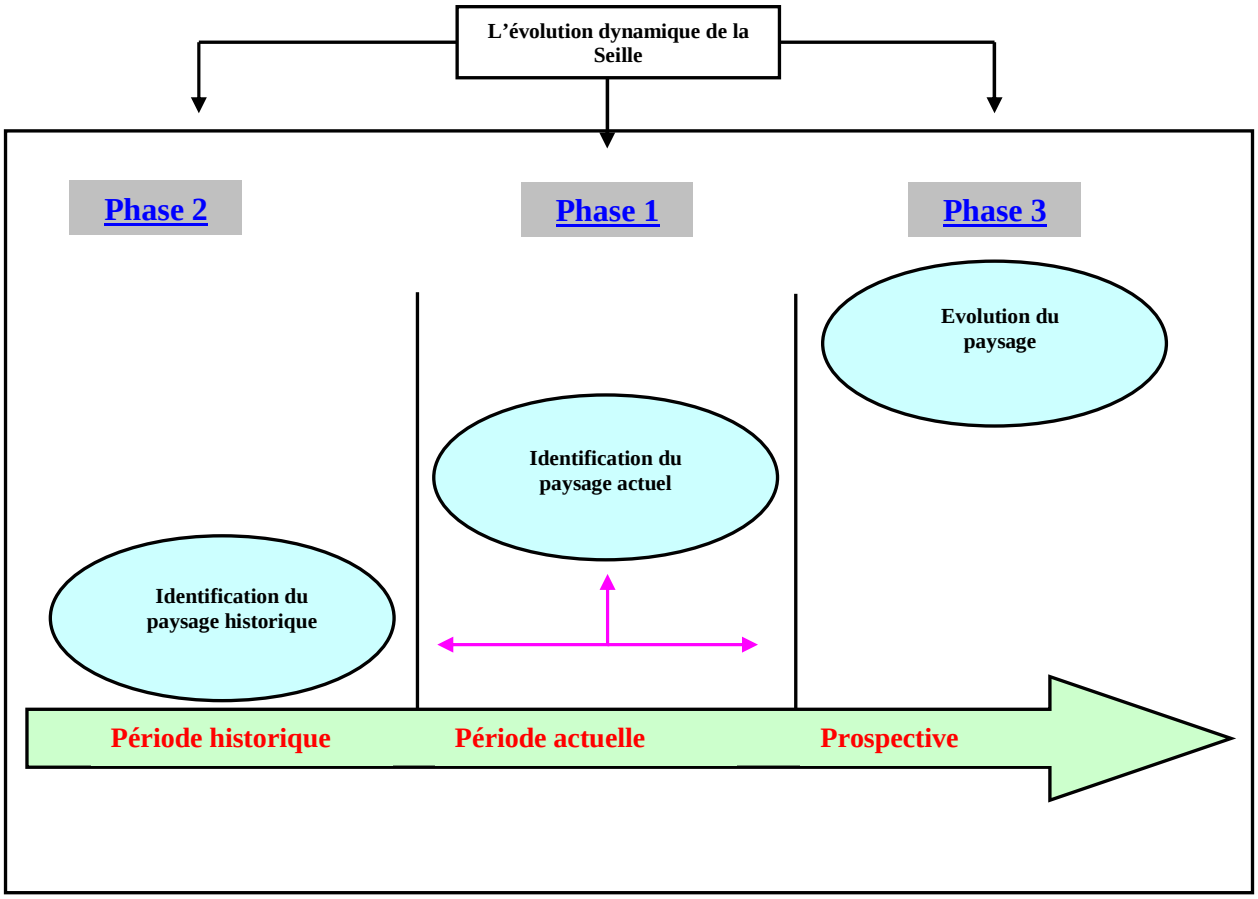
- Un fonctionnement a caractère « faible » lors de la période estivale dont le débit est inférieur à 3 m3/s et s'étend sur 4 mois, de juin à septembre. L'érosion est très faible car le cours d'eau est en phase d'étiage.

Il est utile ici de rappeler, que ces trois fonctionnements hydrologiques de la Seille, peuvent être influencées par des actions humaines qui ont engendré des changements dans la morphologie et la géométrie du lit du cours d'eau. D'ailleurs le paysage fluvial porte toujours des marques de ces actions qu'on peut grouper en deux types : des aménagements directs menés au sein du lit mineur qui visent à améliorer les conditions d'écoulement, et des aménagements indirects qui sont menés dans le lit majeur et qui visent à lutter contre les risques de débordements. Ces modifications anthropiques ont aussi un impact sur l'écoulement de la Seille en période des crues mais aussi en période d'étiage.

Introduction générale de la troisième partie

Dans cette partie nous allons démontrer quelles sont les modifications d'origine anthropiques qui ont affecté le fonctionnement fluvial de la Seille. L'objectif est de décrire et d'interpréter les changements subis au fond de la vallée de la Seille. L'analyse est faite en trois phases qui apparaissent sur la figure suivante :

Figure n°81: Les différentes phases de l'évolution de la Seille



- Dans la phase 1, nous menons un diagnostic du **paysage fluvial actuel** à travers l'identification des formes du lit mineur et majeur réalisé à partir de leur cartographie du lit mineur (2003) et lit majeur (1967, 1994, 1999 et 2003).
- Dans la phase 2, nous déterminons les modifications subies par le lit mineur à partir des aménagements intervenus pendant la période historique (qui démarre au 12ème siècle jusqu'en 1970) puis des actions menées pendant la période actuelle (de 1970 jusqu'à aujourd'hui).

Ces éléments permettent de définir les trajectoires des lits fluviaux et de proposer au final des hypothèses quant à leur évolution (phase 3).

Chapitre 5 : Physionomie du paysage fluvial actuel de la Seille

Ce chapitre a pour objectif d'établir un diagnostic du paysage fluvial de la Seille. Il comprend deux grands axes:

- Identification des formes dans le lit mineur par le biais de la cartographie des morphologies fluviales et détermination des modalités de leur évolution actuelle par grandes zones, par tronçons et par secteurs.
- Identification des formes dans le lit majeur par le biais de la cartographie du lit majeur et détermination des modalités de circulation d'eau dans le lit majeur par grandes zones et par tronçons.

I- Identification des formes du lit mineur

Les formes du lit mineur de la Seille qui ont été cartographiées au cours de l'été 2003, servent à repérer l'état actuel. Les cartes sont présentées dans le tome II de la thèse.

1-Objectifs et méthodologie de la cartographie

Les principales données de terrain prises en considération concernent : l'état des berges, la position des digues, la localisation des barrages, la végétation, etc…Elles permettent de déterminer, selon les endroits, un milieu plus ou moins dynamique. Les repères rassemblés fournissent les bases d'une réflexion sur le paysage fluvial, qu'il faut associer aux connaissances acquises dans la bibliographie afin de formuler et de vérifier les hypothèses quant à la formation et à l'évolution des morphologies fluviales. La réalisation des cartes au 1/25 000 a été faite à pied en parcourant l'ensemble du linéaire de la rivière, soit 120 km. Les informations ont ensuite été reportées sur des cartes à 1/25 000 numérisées ou sur les orthophotoplans sous Map Info.

Les observations ont été effectuées lors de la canicule de l'été 2003 (juin, juillet et août), dans des conditions d'étiage assez sévères, ce qui a permis le repérage de nombreux phénomènes : embâcles, végétation aquatique, … ainsi que la médiocrité de la qualité de l'eau. La légende des cartes se compose de trois rubriques : les berges, le lit mineur et les aménagements, regroupant chacune plusieurs éléments (*cf*. tome II, page 4).

2- Eléments cartographiés

Le lit mineur, inscrit entre les berges, est considéré comme le lieu où se déroulent presque toutes les opérations de la dynamique fluviale, Frécaut (1982).

a- Les types de berges

Les berges présentent plusieurs états selon l'importance de l'érosion et les aménagements qui les caractérisent. Entre le sapement généralisé et la stabilité, les berges de la Seille se caractérisent par plusieurs états intermédiaires liés au fonctionnement naturel du cours d'eau (faible érosion fluviale, globalement) et aux actions anthropiques. Ces états intermédiaires constituent des degrés d'une érosion qui reste ténue malgré tout.

* Berges entièrement sapées : Ce sont des berges verticales qui ont subi une érosion importante, ce qui a provoqué leur recul. Souvent, la sinuosité du tracé facilite le sapement pendant la période hivernale lorsque le débit du cours d'eau est important. Les berges sapées sont cartographiées par un trait rouge qui signifie une «dynamique active».

* Glissement de berge : Le glissement de berge constitue une étape ultérieure à la dégradation. Il concerne :
- Les berges hautes (supérieures à 2 m) : leur sapement à la base favorise un glissement de la partie haute qui progresse petit à petit.
- Les berges basses (inférieures à 1,5m) : les dégradations sont essentiellement dues à la dynamique fluviale et à l'affluence de bétail. Elles sont fréquentes dans la partie aval de la Seille. Sur la carte, les berges qui ont glissé, sont présentées par un signe rouge quadrillé.
* Berge dégradée : Ce type caractérise souvent les berges qui ont une faible hauteur (moins de 1 m), ce qui favorise le débordement du cours d'eau pendant la période hivernale et aboutit à une dégradation totale de la berge. Elle est représentée en trait rose pointillé.
* Berges affaissées : Les berges affaissées sont des berges qui sont soumises à un début de dégradation caractérisant la partie haute de la berge. L'affaissement se propage ensuite à toute la hauteur et peut provoquer plus tard une dégradation totale. Ces affaissements sont représentés sur la carte par des flèches roses. Elles sont présentes sur une grande partie du tracé de la Seille.
* Encoches d'érosion : Dégradation localisée, les encoches d'érosion sont souvent situées entre les arbres et constituent le point de départ duquel se développent les sapements. Elles sont représentées sur la carte par un symbole rouge. Elles sont très fréquentes.
* Affaissements dus au bétail (abreuvoir) : Comme indiqué auparavant, la Seille qui traverse souvent des prairies où l'élevage constitue l'activité dominante sert d'abreuvoir pour le bétail qui piétine les berges et provoque des affaissements.
- Quand la berge est basse (moins de 1 m), la dégradation favorise des débordements localisés en crue, pendant la période hivernale.
- Quand la berge est haute (plus de 1,5 m), elle entraîne le glissement des matériaux dans le cours d'eau et la formation de banquettes.
Ils sont représentés sur la carte par des hachures roses.
* Berges sapées à la base : C'est un état de transition entre les berges stables et les berges sapées. Ce type essentiellement observé sur la partie médiane et aval est représenté par des pointillés rouges.
* Berges stables : Globalement, elles sont végétalisées ou protégées par des blocs de roches ou par une technique géotextile. Les berges végétalisées de façon naturelle sont généralement stables. Les berges protégées, sont des berges qui ont subi une dégradation avant que ne soient réalisés des aménagements humains. Observées tout au long du cours d'eau, elles sont représentées par une ligne de couleur kaki.

Finalement, dans la quasi-totalité des cas, la stabilité de ces berges tient à la végétation ou aux aménagements de protection.

b- Les éléments qui composent le chenal

Généralement, la tranche d'eau dans le chenal est supérieure à 50 cm et les secteurs émergeants sont rares. Cependant quelques morphologies apparaissent dans le chenal et sont cartographiées.

* Seuil naturel : Ce type de seuil est formé dans des endroits caractérisés soit par des embâcles, soit par un changement brutal d'orientation du cours d'eau, là où la profondeur est faible. Le seuil naturel est représenté par une flèche bleue coupée de deux traits.
* Végétation aquatique : Elle est très répandue pendant la période estivale. D'un point de vue biologique, la présence de cette végétation aquatique conduit à un réchauffement de l'eau qui a des impacts négatifs sur la vie aquatique. L'apparition de cette végétation diminue aussi la vitesse de l'eau. Pour la représentation sur la carte, un symbole de couleur vert brillant a été adopté.

* Embâcles : Ils font obstacle à l'écoulement. Ces obstacles apparaissent plus particulièrement pendant la période d'étiage. Les embâcles végétaux restent les plus les plus fréquents (*cf.* 2ème partie, chapitre 4). Ils sont représentés sur la carte par un symbole vert foncé.

II- Le découpage de la Seille en ensembles homogènes

Dans le détail, les résultats de cette cartographie permettent de découper le cours d'eau en tronçons homogènes, selon les morphologies dominantes représentatives du fonctionnement de chaque partie.

1-La méthodologie pour le découpage de la Seille

Dans le domaine fluvial, il est nécessaire de mettre en place une démarche d'analyse afin d'étudier la structure du paysage fluvial actuel. A ce propos, de nombreux auteurs ont mis au point des méthodes d'analyse du paysage comme : Lizet et de Ravignan (1987), Béringuier (1991), Cros (1993) ou Lelli (2000). Pour notre part, nous proposons une méthodologie inspirée des travaux effectués au CEGUM (Corbonnois et Zumestein 1994, Corbonnois et Beck 2002). L'objectif principal est de déterminer l'évolution des formes fluviales par tronçons et par compartiments physiques : lit mineur (berges, chenal, seuil, …), lit majeur. Cette identification permet ensuite d'envisager les scénarios possibles pour le fonctionnement de chaque tronçon. La méthode d'analyse retenue se compose de trois phases : - le découpage en zones : il correspond à la macro-observation du domaine d'étude. Celui-ci est découpé selon les grands ensembles de relief qui agissent sur la configuration des vallées et des fonds alluviaux. - le découpage en tronçons homogènes : il est effectué à l'intérieur des zones en fonction de la largeur du fond alluvial et du tracé du cours d'eau. - le découpage en secteurs : il s'agit de déterminer différentes particularités à l'intérieur des tronçons. Cette échelle d'analyse permet de choisir des sites d'études qui sont représentatifs d'un mode de fonctionnement du cours d'eau et de les comparer les uns aux autres.

2- Les critères de découpage

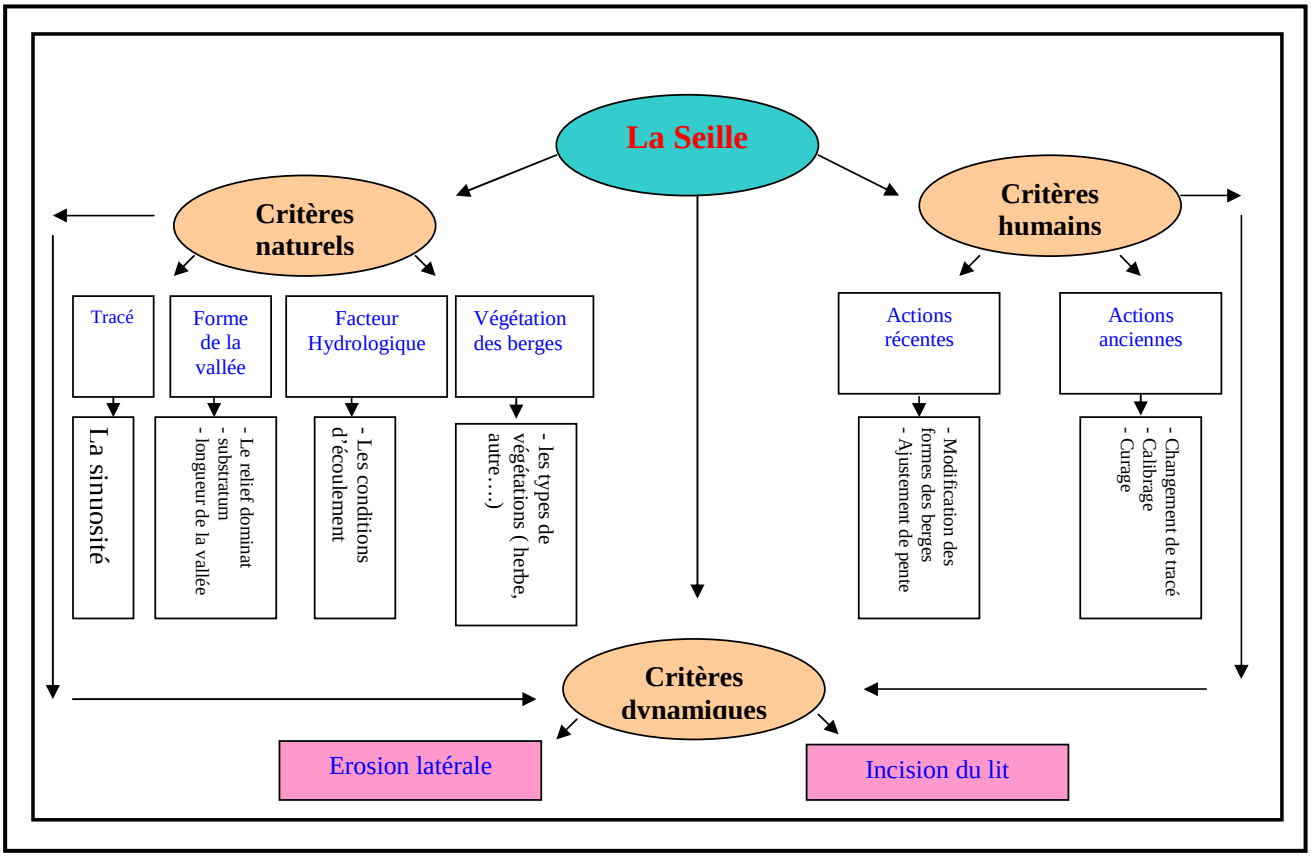
L'objectif est de déterminer parmi tous ces indicateurs, les éléments qui forment prioritairement le paysage et qui conditionnent la dynamique fluviale. Trois ensembles ont été définis :

* Critères naturels : Substratum, tracé du lit mineur, végétation, …

* Critères humains : Ils regroupent toutes les interventions effectuées sur le cours d'eau.

* Critères dynamiques : Ils présentent la réaction du cours à travers les morphologies fluviales.

Figure n°82: Les critères du découpage de la Seille



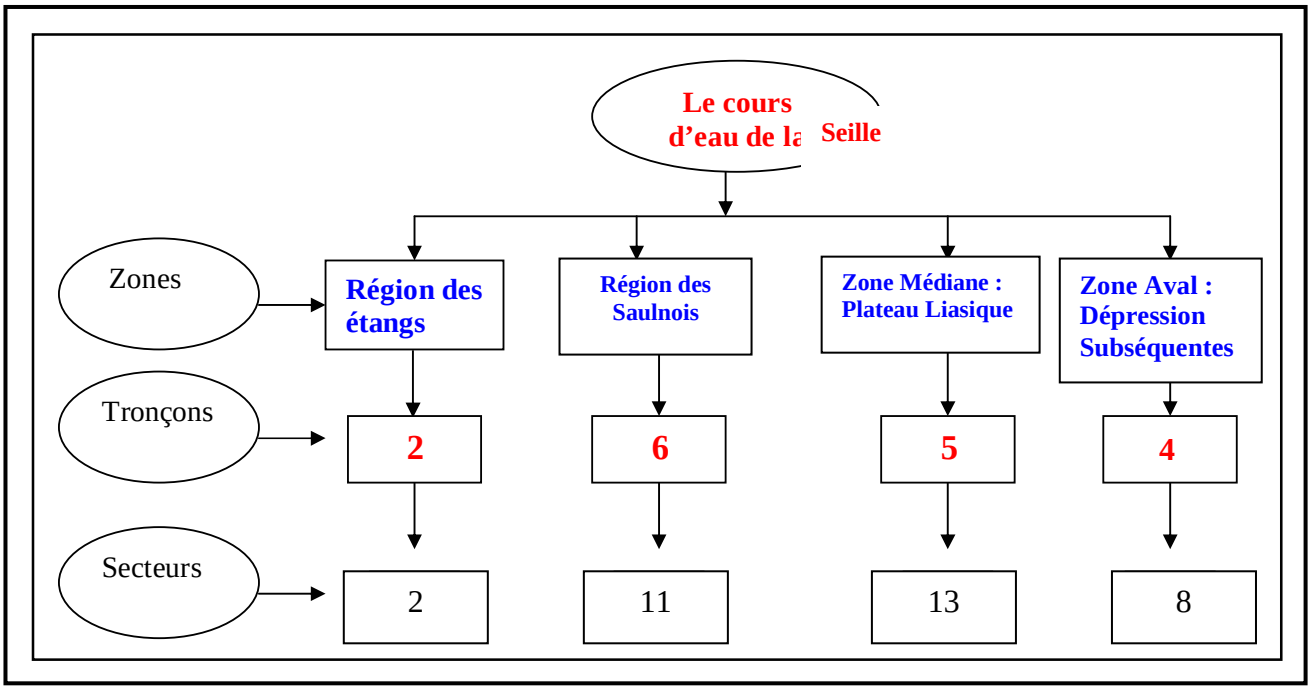
Les interactions entre les éléments, se manifestent dans le paysage par des processus morphogènes. A l'échelle du cours d'eau, ces processus agissent par érosion, transport et dépôt des matériaux. Ils peuvent entraîner l'érosion latérale ou verticale, plus rarement des phénomènes d'accumulation, puisque les bancs sont peu répandus dans le lit mineur. En résultent les formes décrites par la légende des cartes.

3- Les caractéristiques générales de ce découpage

En référence à la classification des cours d'eau du bassin Rhin - Meuse (Agence de l'eau AERM 1999) selon leurs caractéristiques morphologiques (pente, lithologie, …) qui commandent la dynamique fluviale, l'ensemble du linéaire de la Seille présente deux grands types : la partie amont du cours d'eau appartient au type de cours d'eau des basses vallées de plateaux calcaires et marno-calcaires (type 5), la partie aval, correspond au type de cours d'eau des collines, des plateaux argilo-limoneux et des plaines d'accumulation (type 6).

Ce premier découpage correspond aux grandes régions qui caractérisent le bassin de la Seille suivant les formes de relief majeures. Au sein de chaque zone, la dynamique fluviale est influencée par la morphologie de la vallée. Le bassin de la Seille est inscrit dans deux ensembles de roches différentes (*cf.* 1ère partie, chapitre 1) : les marnes et les Calcaires à gryphées (Jurassique inférieur) qui forment le plateau liasique et les marnes du Trias qui affleurent dans la région du Saulnois; chaque ensemble comprend deux zones. Finalement, à partir de ce découpage on retient quatre zones différentes, selon les substratums, les formes et les allures de la vallée.

Figure n°83: Les caractéristiques générales des tronçons



Dans chaque zone, la Seille a été découpée en tronçons homogènes, au nombre de 17 au total (carte n°24). Ce découpage en tronçons est proche du découpage réalisé par l'Agence de l'Eau en 1996, et qui concerne l'étude de l'évaluation de la qualité physique de la Seille (Etude de la restauration de la Seille et ses affluents).

Tableau n°70: Le découpage de la Seille en tronçons homogènes

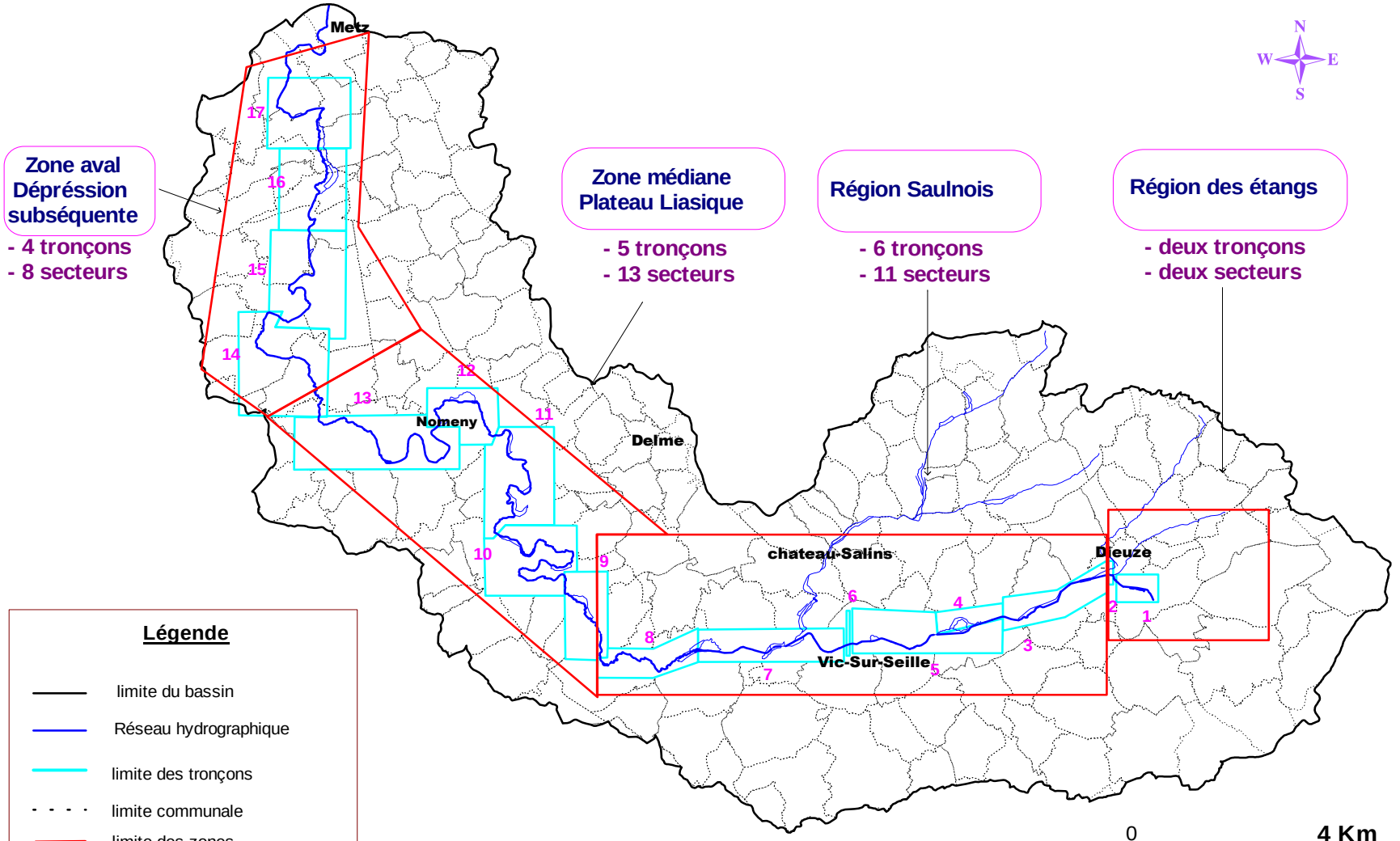
	Linéaire étudié (km)	Nombre de tronçons	Linéaire moyen par tronçon	Tronçon le plus court (km)	Tronçon le plus long (km)
La Seille	113,6	17	3,9	0,44	6,78

En se basant sur le tracé et les morphologies fluviales cartographiées auparavant, nous avons redécoupé ces tronçons en secteurs afin de donner une description plus précise et d'obtenir une meilleure cohérence au niveau du fonctionnement du cours d'eau. Pour chaque tronçon, les principales caractéristiques par compartiment du milieu physique sont récapitulées dans le tableau n°70.

Ce découpage de la Seille en zones, tronçons et secteurs, va permettre de déterminer le fonctionnement géomorphologique de la rivière.

Care n° 24

Assemblage des tronçons homogènes de la Seille



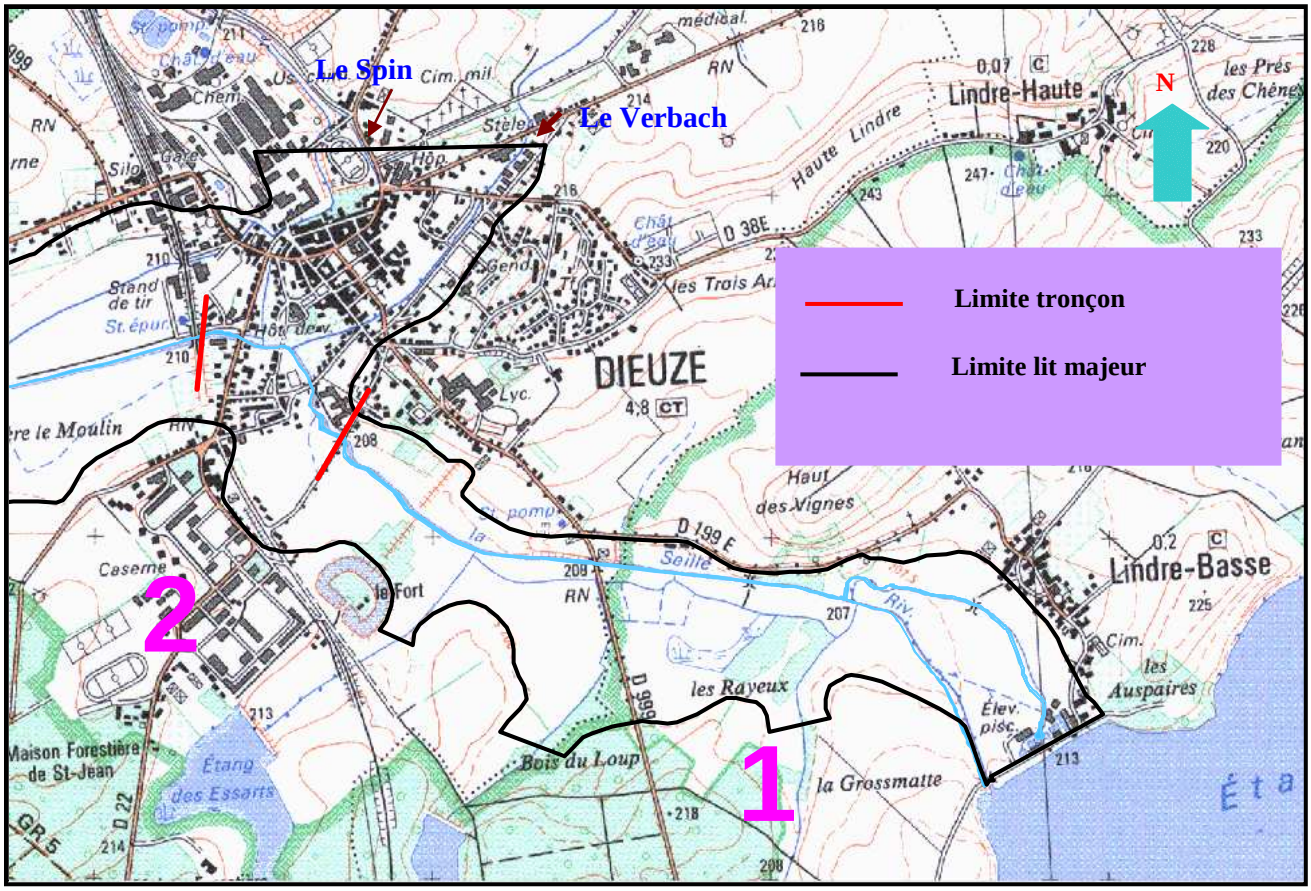
a- La zone des Etangs

Située à l'amont du bassin de la Seille, cette région appartient au « Pays des étangs » qui totalise 134 étangs dont le plus important est l'étang du Lindre où la rivière prend sa source. Dans cette zone, l'agriculture, l'élevage et la pisciculture constituent les principales activités humaines. La Seille coule d'est en ouest sur une longueur de 3 km. L'altitude en amont est de 225 m et en aval de 199 m. À l'aval, on trouve les confluents du ruisseau de Verbach et du Spin, dont les modules interannuels sont respectivement de 1,01 m³/s et de 1,33 m³/s.

Tableau n°71: Le découpage de la Seille dans la zone des Etangs

Zone	Nombre de tronçons	Nombre de secteurs
Région des Etangs	2	2

Carte n°25: Localisation des tronçons dans la région des Etangs



La Seille, coule sur les argiles et marnes du Keuper, grès rhétiens, argiles de Levallois, calcaires à gryphées, avec un fond de vallée moins large vers l'aval. La nature imperméable du substratum de cette région est très favorable à la création des étangs. La pente longitudinale du cours d'eau, de 0.24‰ d'après les profils en travers de 2004. Le tracé de la Seille a subi d'anciennes actions de calibrage. D'un point de vue dynamique, le lit est relativement stable, avec des berges basses. On n'observe que quelques sapements et encoches d'érosion très localisés. Cette stabilité ne dure que pendant la courte période estivale, car pendant la période hivernale, et parfois avec la vidange de l'étang de Lindre, le cours d'eau quitte son lit mineur pour déborder dans le lit majeur. L'occupation du sol dans cette zone est entièrement constituée par des prairies, sauf à Dieuze (zone urbanisée).

Tableau n°72: Les caractéristiques des tronçons de la Seille

		Tronçon 1	Tronçon 2
Sous tronçon	Secteur	1	1
Morphologie	Tracé	Rectiligne	Rectiligne
	Largeur du lit mineur	1 à 7 m	7 à 10 m
	Longueur du tronçon	2,3 Km	0,6 km.
	Profondeur	< 15 cm	< 40 cm.
	Hauteur de la berge	< 1 m	entre 1m et 1,5 m
Aménagement	Aménagement ancien	Curage, calibrage	Curage, calibrage
	Aménagement récent	Protection des berges : enrochement, protection végétale, digues	Protection des berges : Enrochement, protection végétale, digues
	Ouvrage		Barrage
Dynamique	Ecoulement	Faible	Rapide
	Embâcle	Faible	Nul
	Nature des berges	Sapée à la base	Stable

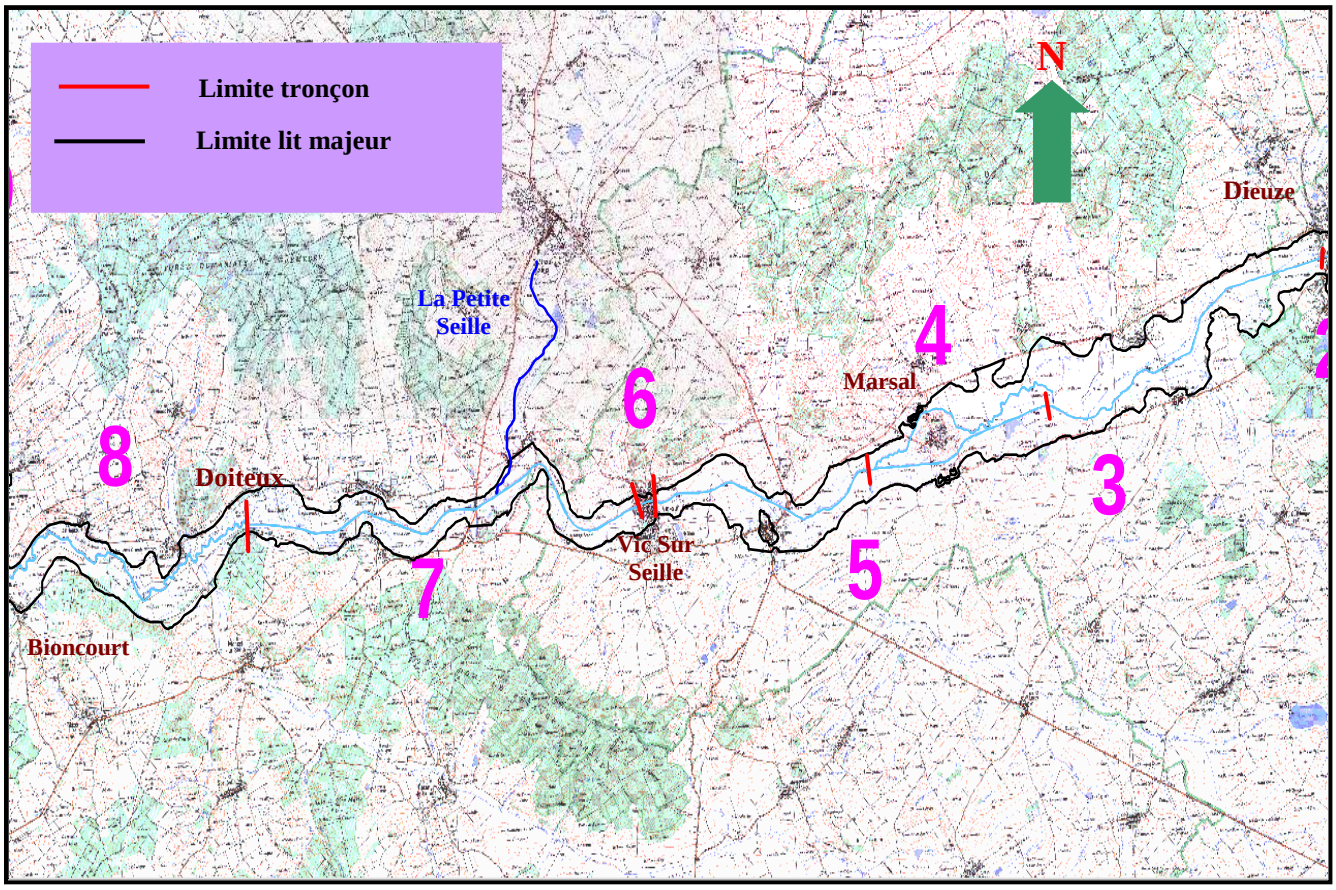
Cette zone a été découpée en deux tronçons, qui se composent chacun d'un seul secteur. Ces tronçons ont presque les mêmes caractéristiques sauf l'occupation du sol (tableau n°72). Dans la traversé de Dieuze, le lit fluvial est surveillé, et bien calibré. La vitesse de l'eau est contrôlée par un barrage, les berges sont hautes et latéralement fixées afin d'éviter toute dégradation. Ce tronçon comprend tout un réseau de routes, de digues de protection et de ponts.

Dans l'ensemble de ces deux tronçons, les marques de la dynamique sont discrètes, ce qui illustre bien l'impact des aménagements. Dans tout ce premier tronçon, les conditions sont donc favorables à une évolution lente des morphologies fluviales (*cf.* tome II, planches 1 et 2).

b- La région ou la zone du Saulnois

Cette zone s'étend de l'aval de Dieuze à Bioncourt, avec une longueur de 23 km. Elle s'inscrit dans un substratum varié : argiles et marnes du Keuper, grès rhétiens, argiles de Levallois et calcaires à gryphées. Dans cette zone, la Seille reçoit de nombreux affluents (dont la Petite Seille). Le débit à Vic-sur-Seille est de 2,52 m³/s (1986-2004). Le chenal profond de 50 cm (*cf.* profils en travers de 2004) a un tracé rectiligne entretenu par de nombreuses actions d'aménagements, en témoignent le canal de Marsal, ainsi que les anciens méandres visibles sur des orthophotoplans (carte n°26).

Carte n°26: Localisation des tronçons dans la région du Saulnois



Dans cette zone la dynamique est faible. Les hauteurs des berges varient selon les secteurs ; elles sont faibles à l'amont (< 1,5 m) et importantes à l'aval (> 2,5 m). Les prairies et les pâturages constituent l'occupation du sol dominante. L'élevage de bétail a des conséquences négatives sur les berges, avec la présence d'abreuvoirs très fréquents dans cette zone, malgré les fils électriques de protection. A signaler l'absence de la végétation arborée (*cf.* tome II, planches 3 à 21).

Tableau n°73: Le découpage de la Seille dans la zone du Saulnois

Zone	Nombre de tronçons	Nombre de secteurs
Région du Saulnois	6	11

* Le tronçon n°3 (*cf.* tome II, planches 3 à 6) : Il s'étend à l'aval de Dieuze et se termine à la confluence du canal de Marsal. Le tracé est rectiligne avec quelques petits méandres à l'aval. La totalité de ce tronçon est caractérisée par une évolution faible correspondant à l'absence d'aménagements récents. Seul le bétail participe à la dégradation des berges.

* Le tronçon n°4 (*cf.* tome II, planches 7 à 9) : Il concerne essentiellement la Vieille Seille (toute la partie doublée par le canal) et démarre à la prise amont du canal (à l'amont de Marsal) jusqu'à la confluence avec ce même canal, à l'aval de Marsal. Dans l'ensemble, le fonctionnement géomorphologique indique une tendance à l'érosion, essentiellement caractérisée par des berges basses sapées, dégradées et parfois glissées. Les échanges entre le lit mineur et le lit majeur sont fréquents.

* Le tronçon n°5 (*cf.* tome II, planches 7 à 12) : Il s'étend de la confluence de la Vieille Seille au canal de Vic-sur-Seille. Contrairement à la Vieille Seille, ici le tracé est rectiligne ou se distingue deux secteurs :

- la partie amont correspond au canal de Marsal jusqu'à la confluence avec la Vieille Seille. L'ensemble de ce secteur est caractérisé par une relative stabilité, accompagnée de quelques sapements à la base des berges.

- la partie aval s'étend de la confluence du canal de Marsal avec la Vieille Seille, jusqu'à l'amont de Vic-sur-Seille. Ce secteur connaît une plus grande mobilité, exprimée par des encoches d'érosion, des glissements de terrain très influencés par le bétail et des débordements sur le lit majeur, surtout à l'aval de la confluence du canal et de la Vieille Seille.

Tableau n°74: Les caractéristiques des tronçons de la zone du Saulnois

		Tronçon 3 2	Tronçon 4 2	Tronçon 5 2	Tronçon 6 1	Tronçon 7 2	Tronçon 8 2
Sous tronçon	Secteur						
Morphologie	Tracé	Rectiligne avec quelques méandres	Très sinueux	Rectiligne	Rectiligne	Rectiligne avec des coudes	Sinueux
	Largeur du lit mineur	7 à 9m	5 à 6m	10 à 12m	7 et 9m	5 à 6m.	8 à10m.
	Longueur du tronçon	6,3 Km	4,9 Km	8,5 Km,	0,4 Km,	8,4 Km	7,9 Km
	Profondeur	< 60 cm.	< 40 cm	< 60 cm.	< 60 cm.	< 30 cm	< 35 cm
	Hauteur de la berge	> 1,5m	entre 1 et 2m	Entre 1 et 2,5 m	Entre 1 et 2,5 m	Entre 1 et 2,5 m	Entre 1 e 4 m
Aménagement	Ancien	Curage, calibrage	Curage, calibrage	Curage, calibrage, canalisé	calibrage	Calibrage, rectification	Curage,
	Récent	Absent	Absent	Absent	Lit mineur entièrement bétonné	Protection végétale, enrochement	Enrochement, protection végétal
	Ouvrage	Absent	Absent	Seuil construit	Barrage	Absent	Absent
Dynamique	Ecoulement	Rapide	Faible	Faible	Rapide	faible	Rapide
	Embâcle	Faible	Végétaux dans les deux rives	Végétaux	Nul	Moyen	Végétaux
	Nature des berges	Sapée à la base	Sapée à la base	Sapée + glissement	Stable	Sapée, encoches, glissement	Sapée + glissement + affaissement + Encoches

* Le tronçon n°6 (*cf.* tome II, planche 12) : Le tronçon de Vic-sur-Seille est essentiellement urbanisé. L'emprise humaine et l'influence des actions d'aménagements sur le fonctionnement du cours d'eau sont importantes. Les berges sont stables et témoignent d'une dynamique quasi absente.

* Le tronçon n°7 (*cf.* tome II, planches 13 à 17) : Il s'étend de l'aval de Vic-sur-Seille à Doiteux. Malgré quelques coudes, le tracé ressemble ici à un canal, avec une forme géométrique. On reconnaît dans ce tronçon deux comportements différents de la Seille :

- à l'amont de la confluence de la Petite Seille, les plus faibles débits ainsi que la forme du tracé rectiligne conduisent à une faible érosion.

- à l'aval, l'augmentation des débits imputables à la Petite Seille et à l'influence du bétail, conduisent à une dynamique moyenne, en témoignent les morphologies fluviales (encoches d'érosion, glissements de terrain).

* Le tronçon n°8 (*cf.* tome II, planches 18 à 21) : C'est un tronçon qui s'étend de Doiteux jusqu'au pont de la Haute Brin. Dans cette zone, la Seille présente un tracé un peu plus naturel, caractérisé par des petites sinuosités. L'ensemble de ce tronçon est marqué par des berges basses qui sont submergées pendant les périodes de crues.

Ainsi, les six tronçons qui composent la partie amont de la Seille ne fonctionnent pas de la même façon. On peut distinguer quatre types de fonctionnement :

** Une dynamique nulle : dans les tronçons n° 2 et 6, entièrement bétonnés.

** Une dynamique faible : tronçon n° 1 dont le tracé est rectiligne. Les morphologies dominantes sont les sapements des berges à la base, les encoches d'érosion et quelques affaissements.

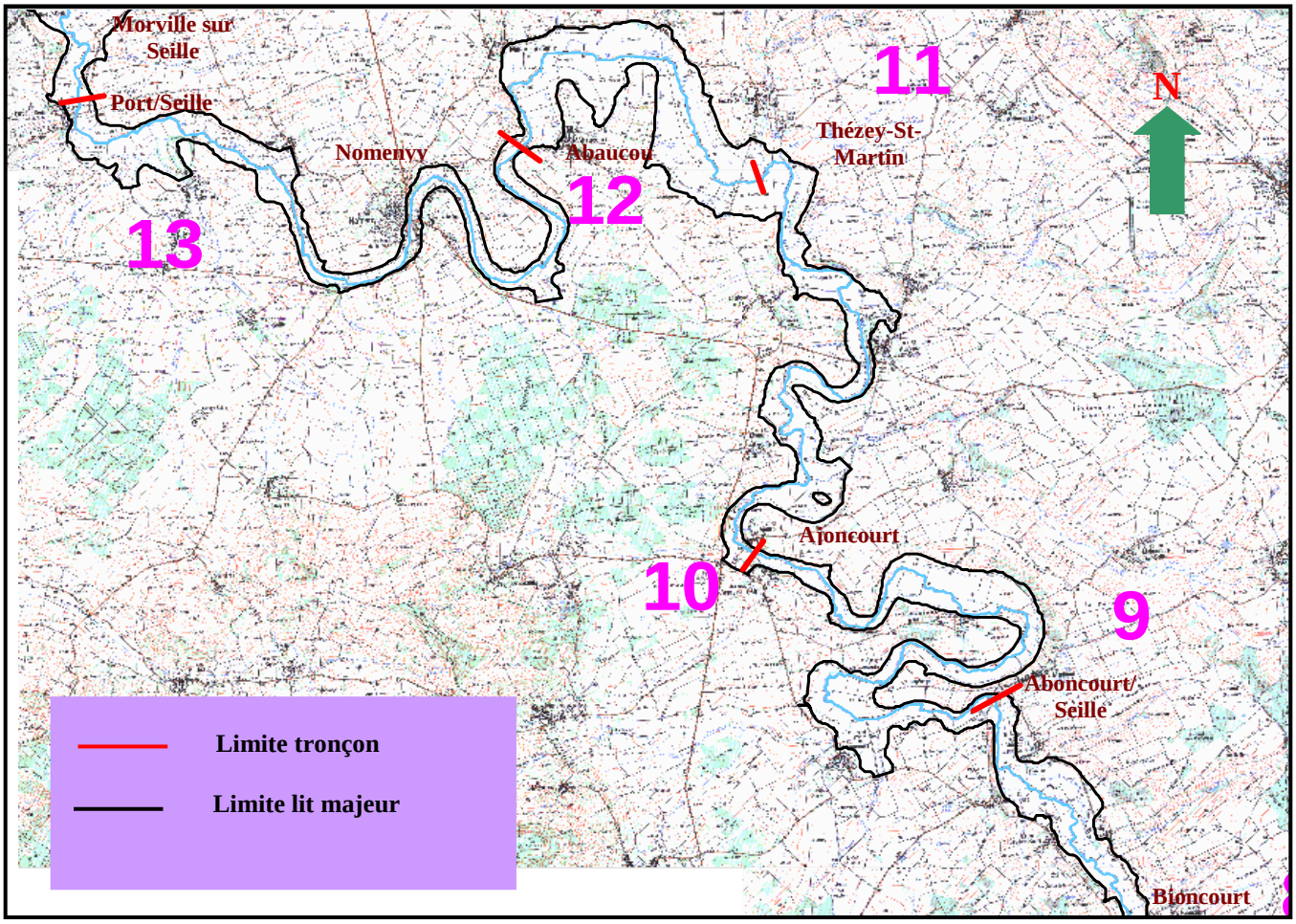
** Une dynamique modérée : dans les tronçons 3, 5, 7 et 8 les tracés sont sinueux. Les morphologies fluviales dominantes sont les sapements et les glissements de berges.

** Une dynamique forte : cela concerne le tronçon 4 dont le tracé est sinueux et caractérisé par l'apparition des berges entièrement sapées et des berges glissées. Au final, dans toute la zone amont de la Seille de l'étang du Lindre à Bioncourt, les morphologies peu caractéristiques (une domination des berges sapées à la base) témoignent d'une dynamique globalement faible. Mais des différences entre l'amont et l'aval sont à mettre en relation avec les débits écoulés (plus importants à l'aval) et la forme du tracé (un peu sinueux à l'aval), ainsi que l'influence du bétail.

c- La zone médiane (le plateau Liasique)

Cette zone s'étend de Bioncourt à Morville-sur-Seille, avec une longueur de 48 km. La Seille, qui a changé de direction et va vers le nord, coule sur les marnes du Keuper (t9) et les grès rhétiens (t10a). L'altitude varie entre 199 m en amont et 186 m en aval. La pente est faible, en moyenne 0,37‰ La largeur du cours d'eau varie entre 12 et 20 m et la profondeur moyenne du chenal est assez faible (< 80 cm) (profils en travers de 2004).

Carte n°27: Localisation des tronçons et des secteurs dans la zone médiane



Le lit mineur est généralement encaissé dans des berges argilo-limoneuses. Le tracé est sinueux surtout à Pettoncourt et Aboncourt-sur-Seille. Il garde des traces de curage ancien. Dans cette zone, la Seille décrit de grands méandres encaissés dans le substratum. Les types d'aménagements dominants sont les enrochements et la protection végétale. Quant à l'occupation du sol dans le fond alluvial, elle est essentiellement caractérisée par les prairies et les cultures (*cf.* tome II, planches 22 à 50). Cette zone se compose de 5 tronçons.

Tableau n°75: Le découpage de la Seille dans la zone médiane

Zone	Nombre de tronçons	Nombre de secteurs
La zone médiane	5	13

* Le tronçon n°9 (*cf.* tome II, planches 22 à 25) : Il démarre du pont de la Haute Brin jusqu'au pont de Manhoué. Ce tronçon correspond à un couloir bien délimité par les deux versants. La rivière, peu dynamique, coule dans un lit mineur marqué par de nombreux abreuvoirs, synonymes d'une dégradation des berges qui favorise les débordements lors de la période des hautes eaux.

* Le tronçon n°10 (*cf.* tome II, planches 26 à 32) : Ce tronçon démarre de Aboncourt-sur-Seille jusqu'au pont d'Ajoncourt. Dans cette partie, le tracé est caractérisé par deux grandes boucles. L'ensemble est très marqué par l'emprise humaine avec un endiguement dans les villages traversés et une protection végétale des deux berges essentiellement localisée dans les coudes du tracé. Dans tous les cas, l'ensemble du tronçon est caractérisé par une érosion localisée dans les méandres et les coudes. Cette érosion peut être forte, avec des glissements de berges hautes (plus de 2 m) dus au sapement à la base, ou des glissements de berges basses dus essentiellement au bétail. Cependant, l'érosion moyenne, déterminée par les encoches d'érosion et les affaissements de berges, est très localisée.

Tableau n°76: Les caractéristiques des tronçons de la zone médiane de la Seille

		Tronçon 9	Tronçon 10	Tronçon 11	Tronçon 12	Tronçon 13
		3	3	2	1	4
Sous tronçon	Secteur					
Morphologie	Tracé	Rectiligne et sinueux	Sinueux avec deux grand boucles	Sinueux	Sinueux	Sinueux avec deux boucles
	Largeur du lit mineur	5 à 6m	6 à 7m	8 à10m	8 à 9 m	8 à 10 m
	Longueur du tronçon	8,4 Km	12,7 Km	10,5 Km	5,9 Km	12,9 Km
	Profondeur	< 30 cm	< 40 cm	< 40 cm	45 cm.	40 cm
	Hauteur de la berge	Entre 1 et 2,5 m	Entre 1 et 3,5m	1 et 2m	entre 2 et 3,5m	1,5 et 2,5m
Aménagement	Ancien	Curage, calibrage, redressement	Curage, calibrage, redressement	Curage, recoupement des méandres	Curage, recoupement des méandres	Curage, calibrage,
	Récent	Digues, enrochement, géotextile	Digues, enrochement protection végétal, terrassement	Digues, enrochement, protection végétal	Enrochement, digues et protection végétale	Fixation des berges
	Ouvrage	Seuils construit	Barrage	Seuil	Seuil	Seuils construit
Dynamique	Ecoulement	Moyen, favorisé par des seuils	Moyen,	Moyen	Faible	Faible
	Embâcle	Végétaux, matériaux,	Végétaux, matériaux,	Matériaux, végétal	Nul	Végétaux, déchet
	Nature des berges	Entièrement sapée + glissement des berges	Entièrement sapée + glissement des berges + Encoches d'érosion	Encoches d'érosion, berges entièrement sapées et affaissement	Sapée + encoches d'érosion + Affaissement	Glissement de la berge, affaissement, sapement entier, encoches d'érosion

* Le tronçon n°11 (*cf.* tome II, planches 33 à 38) **:** Il s'étend du pont d'Ajoncourt à Thézey-Saint-Martin. Ce tronçon est sinueux avec de grandes courbures. Dans l'ensemble, le fonctionnement géomorphologique se traduit par la persistance d'une tendance à l'incision plus ou moins exprimée dans les coudes et les méandres. A la vue des morphologies qui caractérisent ce tronçon, nous pouvons penser que la dynamique fluviale est très active. Les berges subissent une érosion forte dans les méandres compte tenu de leurs aménagements moyens, voire faibles entre les courbures. Par conséquent, l'accumulation des matériaux dans les coudes, témoignent d'une ancienne dynamique et montrent le niveau de la submersion pendant la période des crues.

* Le tronçon n°12 (*cf.* tome II, planches 39 à 42) : De Thézey-Saint-Martin à Abaucourt, il correspond à une grande courbure. Présentant le détail, un tracé est sinueux, avec quelques portions rectilignes. Ce tronçon dynamique, est caractérisé par des berges hautes souvent stabilisées par des protections végétales. On relève ici une tendance au sapement localisé aux pieds de ces berges, avec l'existence d'abreuvoirs. Plus à l'aval, on trouve une dynamique plus ou moins active, (peu de protection végétale et plus d'abreuvoirs). Les berges sont affaissées et sapées avec quelques encoches d'érosion.

* Le tronçon n°13 (*cf.* tome II, planches 43 à 50) **:** Ce tronçon qui va d'Abaucourt à Port-sur-Seille se compose de deux grandes courbes. Le tracé a subi de nombreuses actions anthropiques : changement et recoupement des méandres. La dynamique fluviale est très soutenue, comme le montrent les berges souvent sapées ou glissés.

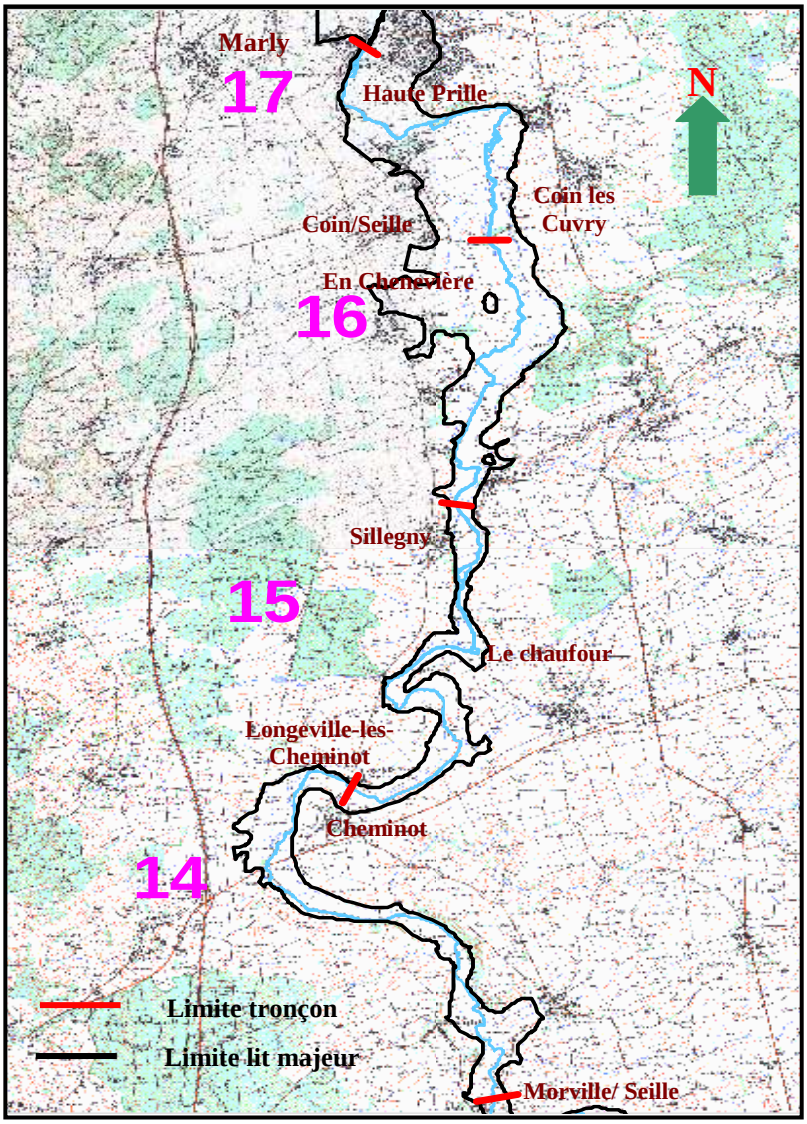
d- La zone aval (dépressions subséquentes)

Cette zone correspond aux typologies des « cours d'eau des basses vallées de plateaux calcaires et marno-calcaires » AERM, (1999). La Seille y coule dans une large plaine d'inondation. Entre Morville-sur-Seille et Marly, sur une longueur de 32,2 km et reçoit de nombreux petits affluents. Les altitudes sont faibles, comprises entre 165 m et 250 m. La largeur du cours d'eau est de 20 m environ, avec une profondeur très faible. Le lit décrit de grands méandres, avec un état des berges stables dans l'ensemble. La pente moyenne est très faible (0,42‰ de moyenne).

Tableau n°77: Le découpage de la Seille dans la zone aval

Zone	Nombre de tronçons	Nombre de secteurs
La zone aval	4	8

Carte n°28: Localisation des tronçons et des secteurs dans la zone aval



Au sein de cette zone, la dynamique fluviale est influencée par la géomorphologie de la vallée et les conditions hydrologiques : augmentation des quantités écoulées, élargissement du fond alluvial et rapidité de la vitesse d'écoulement. Le tracé de la Seille a été la cible de nombreuses actions anthropiques anciennes ou récentes (enrochement des berges, protection végétale, redressement de certains méandres, élargissement du lit, …). Toutes ces actions d'aménagement visent à lutter contre les inondations et à protéger ainsi les abords de l'agglomération messine. (*cf.* tome II, planches 51 à 72).

Tableau n°78: Les caractéristiques des tronçons de la zone avale de la Seille

		Tronçon 14 2	Tronçon 15 2	Tronçon 16 2	Tronçon 17 2
Sous tronçon	Secteur				
Morphologie	Tracé	Sinueux et rectiligne	Rectiligne avec quelques méandres	Rectiligne	Rectiligne avec une grande courbe
	Largeur du lit mineur	7 à 10m	12 à 13m	14 et 17 m	16 à 20m
	Longueur du tronçon	7,9 Km	8,4 Km,	6, 3 Km	7,1 Km
	Profondeur	45 cm.	40 cm	45 cm	40 cm
	Hauteur de la berge	1m et 2 m.	< 3m	1,5 et 3,5m	2 et 3,5m
Aménagement	Ancien	Curage, recoupement du méandre	Curage, rectification	Curage, rectification	Curage, rectification du tracé
	Récent	Protection végétale, digues, enrochement	Fixation de berges	Fixation des berges + protection végétal	
	Ouvrage	Barrage, seuil	Barrage, seuil	Barrage de coin sur Seille	- Seuils à Pouilly - Seuils bétonnée à Cuvry - Barrage à Marly
Dynamique	Ecoulement	Faible	Faible	Faible	Rapide
	Embâcle	Végétal, dépôt au niveau du pont	Végétal	Végétal	Nul
	Nature des berges	Glissement, sapée, encoche d'érosion	Stable, Sapée à la base, encoche d'érosion	Stable, sapées à la base, encoches	Sapement, recoupement des méandres, creusement vertical

* Le tronçon n°14 (*cf.* tome II, planches 51 à 57) : De Port-sur-Seille au pont de Longeville-lès-Cheminot. Le tracé alterne entre un tracé sinueux et rectiligne. Ce tronçon comprend un secteur stable et un autre secteur évolutif, tous deux aménagés

* Le tronçon n°15 (*cf.* tome II, planches 58 à 63) : Il va du pont de Longeville-lès-Cheminot jusqu'au pont de Sillegny. Dans cette partie, la Seille est relativement rectiligne, avec quelques méandres. Ce tronçon se compose de deux secteurs :

- Le secteur amont est sinueux, avec la grande boucle de Louvigny qui comporte les marques des aménagements récents de type protection végétale, enrochements, digues. Ceux-ci diminuent l'érosion.

- Le secteur aval au tracé rectiligne à deux fonctionnements distincts de part et d'autre du barrage de Sillegny. A l'amont, le secteur est en cours de réajustement car le recoupement du méandre au niveau du « Chaufour » permet le fonctionnement du bras mort situé sur la rive droite. A l'aval, la dynamique est faible comme en témoignent les morphologies fluviales (quelques berges sapées à la base et quelques encoches d'érosion très localisées).

* Le tronçon n°16 (*cf.* tome II, planches 64 à 68) : Ce tronçon va du pont de Sillegny à Coin-lès-Cuvry. Le tracé est presque rectiligne, avec quelques petites sinuosités. L'ensemble est sous l'emprise humaine : succession d'un secteur plus ou moins stable et d'une portion très active. Le premier secteur a une configuration similaire à celle du tronçon n°15 (secteur n° 2) : concentration des aménagements tout au long du tracé avec des protections végétales et des endiguements. Malgré cela, on identifie quelques «poches» très érodées surtout au niveau du coude de « Pommérieux ». Le deuxième secteur, malgré l'existence du barrage de Coin-sur-Seille qui contrôle la vitesse de l'eau, présente des formes plus évolutives, avec un élargissement du lit mineur favorisant une dynamique de dépôt. Les berges sont affaissées malgré leur hauteur (plus de 3 m) et sapées à la base. Dans l'ensemble, malgré une anthropisation généralisée, ce tronçon connaît une érosion notoire.

* Le tronçon n°17(*cf.* tome II, planches 69 à 72) : De Coin-lès-Cuvry à Marly, le tracé est rectiligne et présente une grande courbe. Les berges comprennent une grande variété de

formes, dues à l'influence des conditions dynamiques et anthropiques. L'ensemble est mobile et complexe :

- Le premier secteur (amont) est caractérisé par des berges hautes, avec sapements localisés, ainsi que quelques encoches d'érosion. On y note une stabilité latérale à cause de la fixation des berges qui permet au cours d'eau de creuser verticalement (profils en travers de 2004).

- Dans le deuxième secteur (aval), on assiste à une évolution forte qui s'exprime par quelques sapements localisés, par des recoupements de méandres (au lieu-dit « Haute Prille»). A l'aval du barrage de Marly, la vitesse de l'eau est réduite dans le lit mineur qui dépasse les 20 m. La dynamique est plus ou moins active.

En définitif, tout ce tronçon est sous contrôle anthropique. Les perturbations humaines ont métamorphosé les configurations naturelles qui semblent relativement instables.

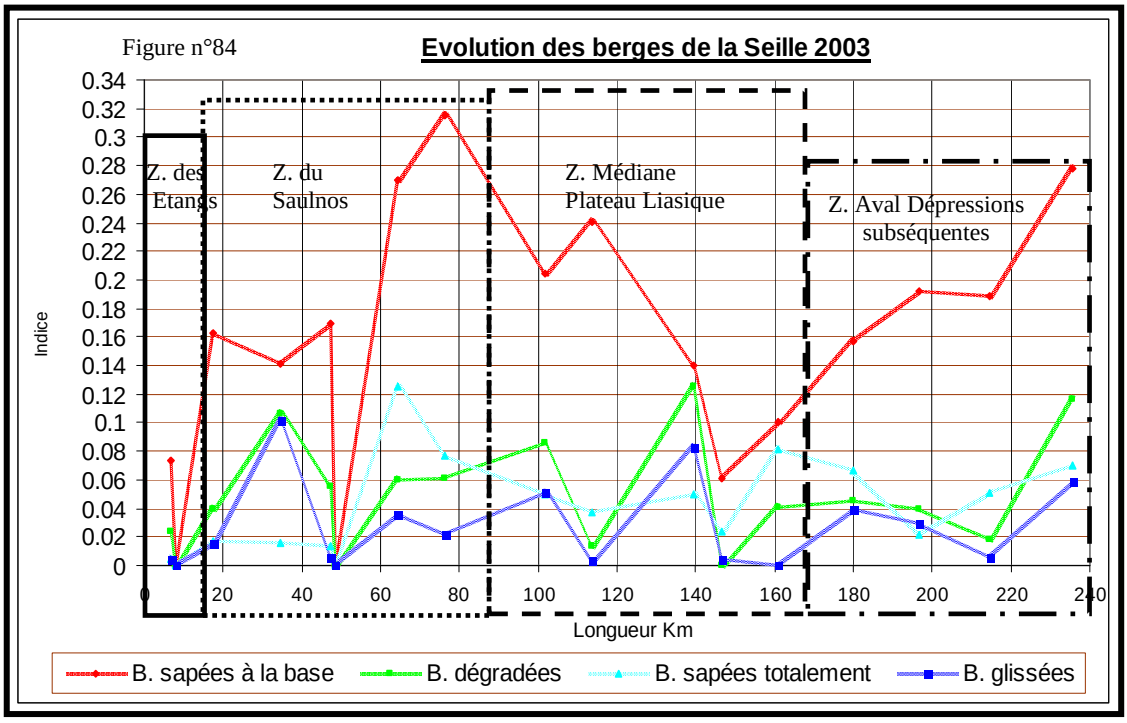
III- L'évolution des morphologies fluviales actuelles

Le critère utilisé pour détecter la dynamique actuelle du lit fluvial correspond à la caractéristique des berges. Plusieurs paramètres semi-quantitatifs peuvent être pris en considération : la résistance des berges qui dépend essentiellement de la nature des matériaux et de la dynamique du cours d'eau, la hauteur des berges, la végétation et la sinuosité du tracé. Au cours de la prospection du terrain, nous avons observé que toute la longueur du cours d'eau est affectée par l'érosion, mais à des degrés d'intensité variable selon les endroits.

1- A l'échelle des zones et des tronçons

Dans le but de déterminer la dynamique du cours d'eau, nous avons repris les sept états des berges qui sont révélateurs de l'intensité de l'érosion de la Seille : berges sapées à la base, berges sapées totalement, berges dégradées, berges affaissées, berges glissées, berges avec des encoches d'érosion et berges qui correspondent à des abreuvoirs.

Figure n°84



D'un point de vue méthodologique, nous avons mesuré, à l'intérieur des tronçons, la longueur de ces types de berges qui a été exprimée en % de la longueur des berges de chaque

tronçon. On obtient alors un indice qui permet de comparer les tronçons. Si l'indice est égal à 0, le tronçon ne contient que des berges stables.

En termes de résultats (figure n°84), on note que les berges sapées à la base restent l'état le plus fréquent. Plus en détail, cette variation spatiale de l'état des berges ne correspond pas au découpage naturel réalisé auparavant. La Seille se décompose en trois zones :

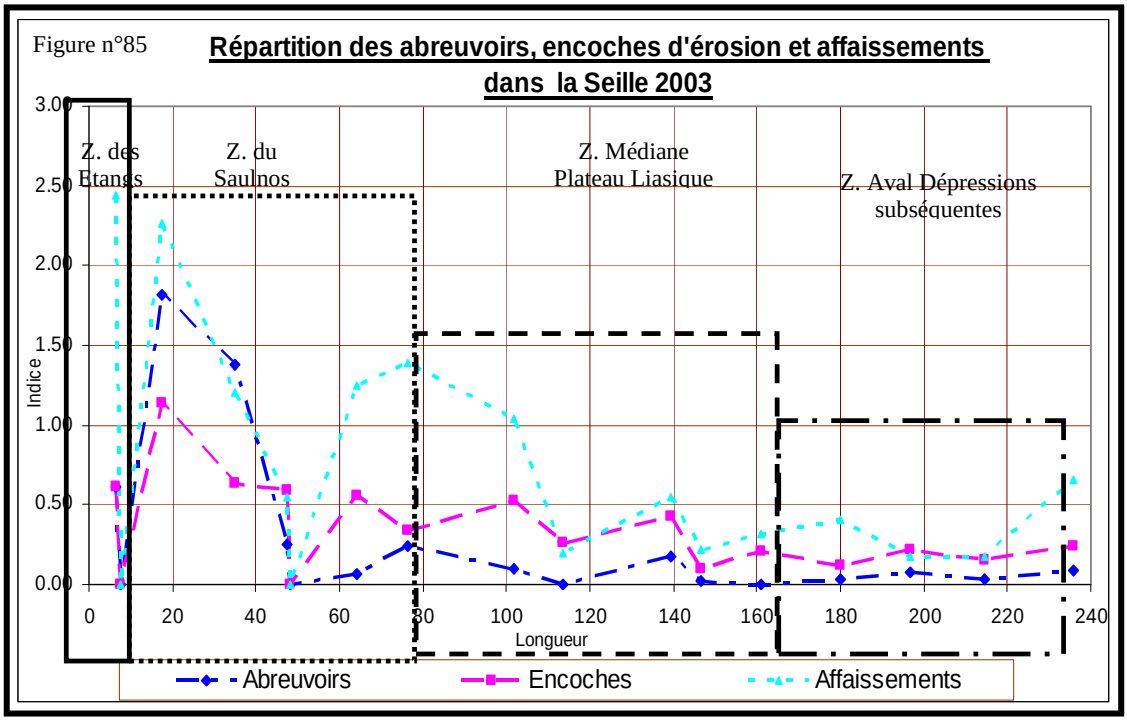
- La première zone regroupe la région des Etangs et une partie de la région du Saulnois (de la source à 50 km).

- La deuxième zone regroupe la partie aval de la zone du Saulnois et les ¾ de la partie médiane (de 50 km à 150 km).

- La troisième partie se compose de l'aval de la zone médiane et de la zone aval (de 150 km à 240 km).

Globalement la fréquence des différents états diminue de l'amont vers l'aval (figure n°84 et 85). Ces résultats sont associés au débit, au rôle du bétail et à l'influence des aménagements.

Figure n°85



Comme précédemment, la répartition des abreuvoirs, des encoches d'érosion et des affaissements de berges ne correspond non plus au découpage naturel et confirme l'existence de trois zones dynamiques.

- Une partie amont qui regroupe la zone 1 et 2, est caractérisée par une quasi-stabilité, mis à part quelques secteurs. Elle est expliquée par le débit assez faible, des berges basses (inférieures à 1 m en période estivale) propices au débordement et ainsi à la dispersion de l'énergie en lit majeur. Ces berges sont parfois dégradées dans les prés pâturés, mais on est loin d'une dynamique agressive. **L'évolution est lente avec une faible érosion.**

- Une partie médiane (zone 3) qui connaît une dynamique fluviale active. Tous les ingrédients propices à l'érosion sont présents : les berges sont hautes (on atteint parfois les 5 m), le débit est plus fort qu'à l'amont (8,58 m³/s pour cette partie médiane) ce qui donne plus d'énergie à la Seille. Les réactions se manifestent par une dégradation permanente, plus ou moins rapide du lit. **Forte érosion et évolution rapide.**

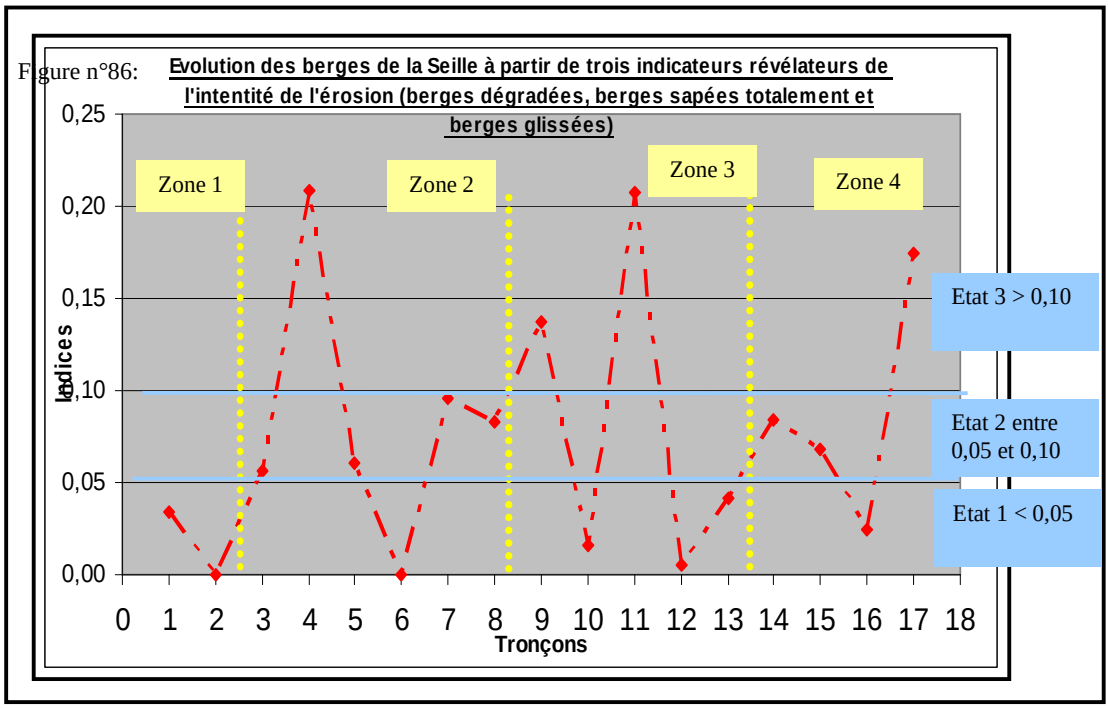
- Une partie aval (zone 4) où la densité des aménagements joue un rôle essentiel dans la stabilité des berges : on note malgré tout, une dynamique modérée. L'évolution est lente sauf en cas de forte crue. Pendant la période estivale, la végétation aquatique se

développe dans toute cette zone, les morphologies fluviales témoignent d'une évolution peu rapide. **Érosion modérée à évolution assez lente.**

2- Contrastes dynamiques

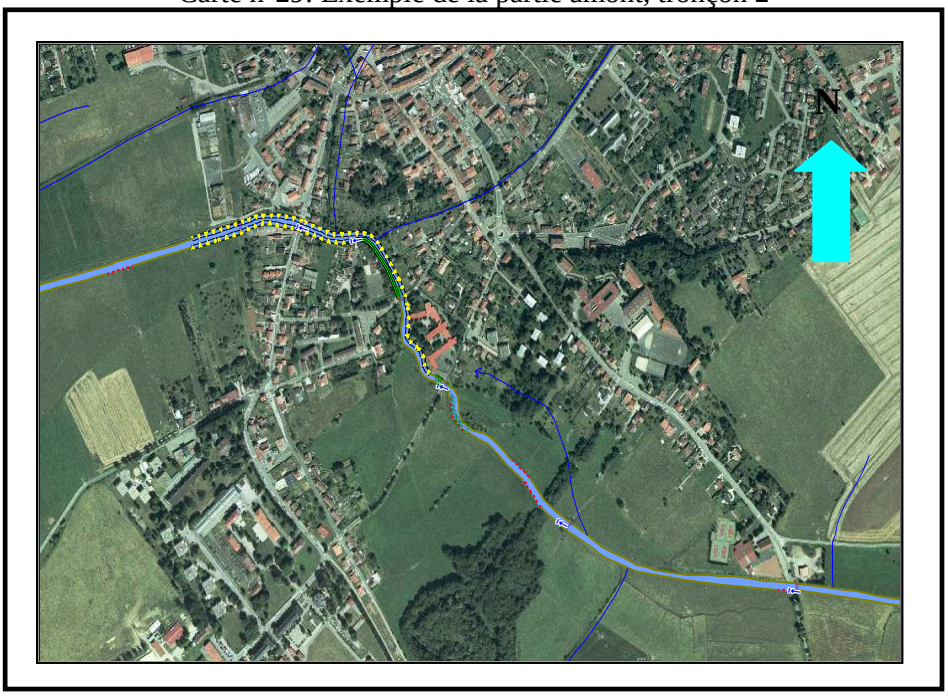
A l'échelle des tronçons, nous avons sélectionné trois états des berges, parmi les sept, qui sont révélateurs de l'activité érosive de la Seille et qui renseignent sur la dynamique du cours d'eau : berges sapées totalement, berges dégradées, berges glissées. On a additionné les indices de ces trois indicateurs pour chaque tronçon pour obtenir une longueur érodée (figure n°86 et carte n°32).

Figure n°86: **Evolution des berges de la Seille à partir de trois indicateurs révélateurs de l'intentité de l'érosion (berges dégradées, berges sapées totalement et berges glissées)**



* Des tronçons avec une faible érosion dont l'indice est inférieur à 0,05. D'après le graphique n°86 et la carte n°29, sept tronçons (1, 2, 6, 10, 12, 13 et 16) se caractérisent par une faible érosion. Dans cet état 1, on note que deux tronçons (2 et 6) enregistrent un indice de 0, ce qui veut dire une absence totale d'érosion. Ce sont des tronçons entièrement aménagés avec des berges hautes (entre 2 et 5 m) bien fixées, entourées par des

Carte n°29: Exemple de la partie amont, tronçon 2

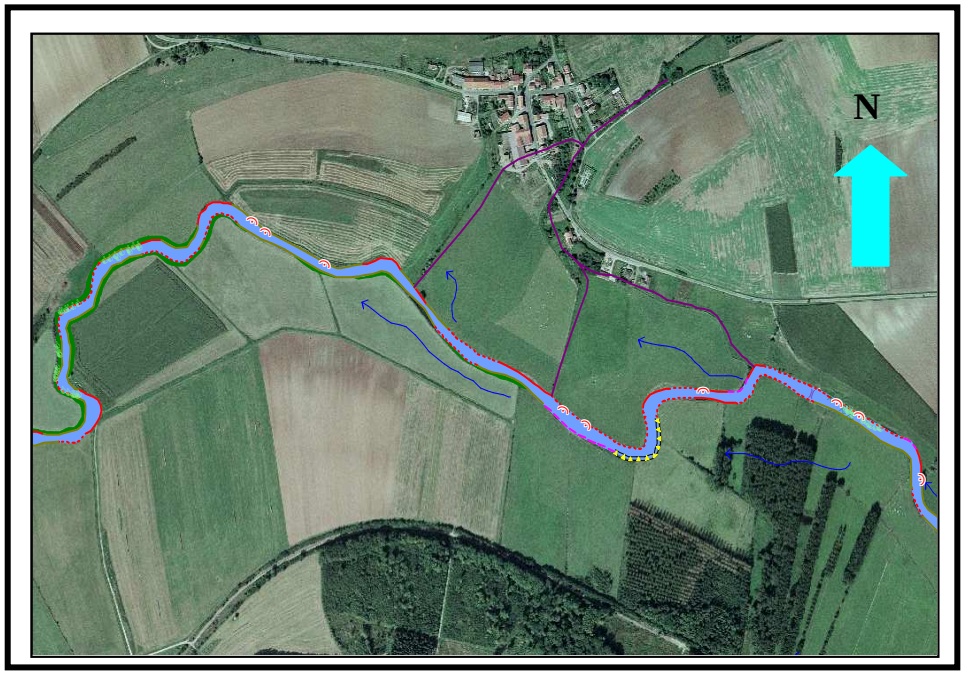


digues de protection. Ces tronçons correspondent à la traversée de zones urbaines.

Les autres tronçons qui composent ce premier état connaissent une faible érosion. Pour le tronçon n° 1, l'explication tient à sa localisation amont avec des faibles débits et des faibles aménagements. Pour les tronçons 10, 12, 13 qui appartiennent à la partie médiane, l'absence d'un véritable enjeu a conduit à de faibles interventions que se soit dans le passé ou actuellement, ce qui explique la stabilité permanente de ces tronçons. Le tronçon 16, quant à lui, appartient à la zone aval et fait partie des tronçons les plus surveillés de la Seille. Les fortes interventions dans ce site ont conduit à un contrôle des processus ce qui se traduit aujourd'hui par une faible érosion.

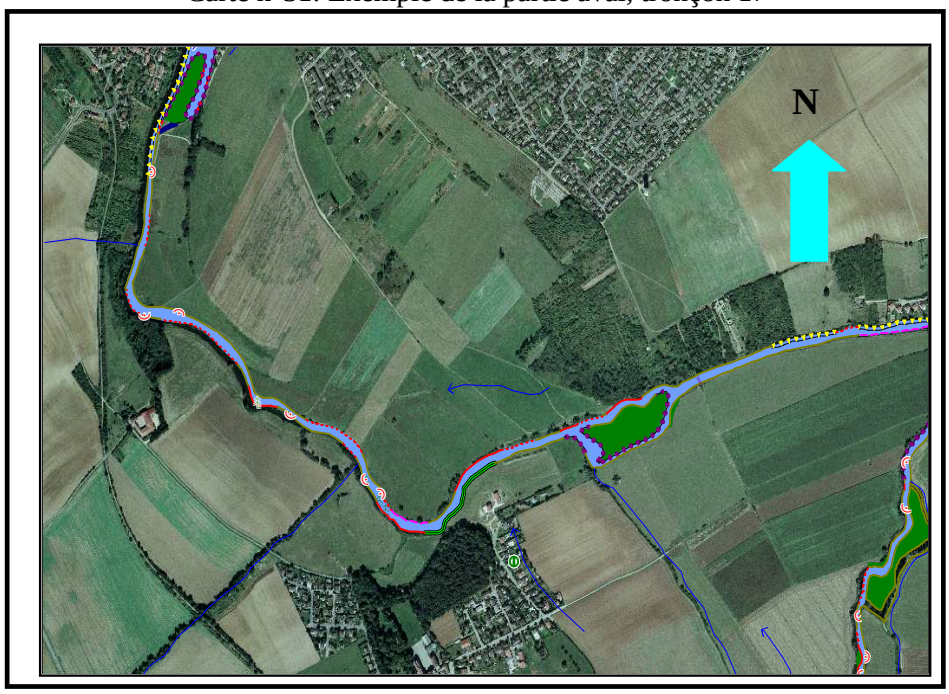
* Des tronçons avec une érosion moyenne dont l'indice est compris entre 0,05 et 0,10. Ils regroupent les tronçons 3, 5, 7, 8, 14 et 15. Dans ces sites la dynamique fluviale est très active lors de la période des hautes eaux. Les tronçons 3, 5, 7, 8 qui appartiennent à la zone amont de la Seille, ont connu des modifications anciennes au niveau de leur tracé (aujourd'hui rectiligne), ce qui a conduit à une modification de leur fonctionnement. Les tronçons 14 et 15 qui appartiennent à la partie aval de la Seille, ont connu pendant la période contemporaine divers aménagements qui ont contribué à réduire la dynamique du cours d'eau. Les actions historiques et contemporaines que connaissent ces tronçons ont eu des impacts sur les processus dynamiques, qui se traduisent par une érosion moyenne.

Carte n°30: Exemple de la partie médiane, tronçon 8



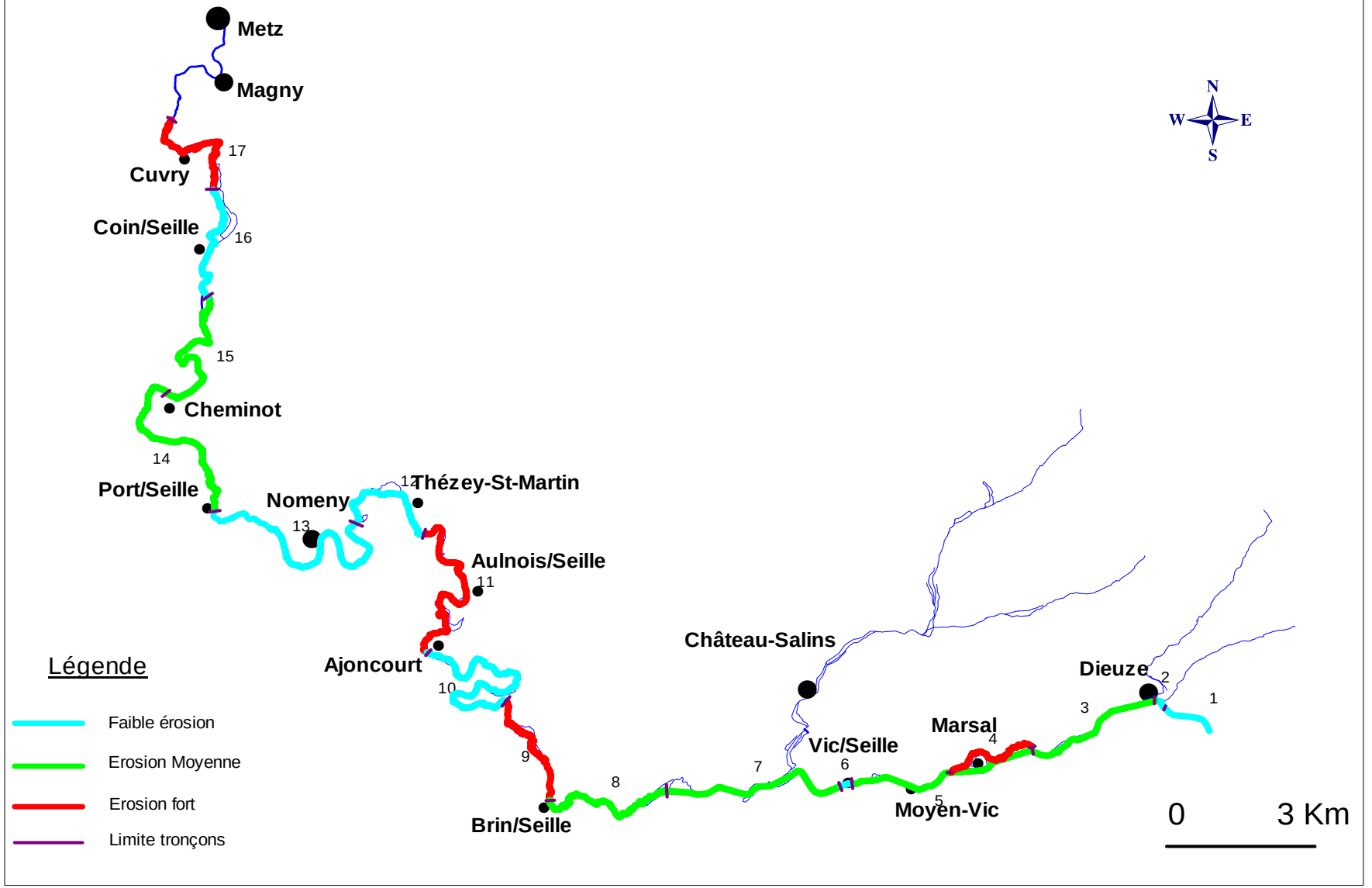
* Des tronçons qui connaissent une dynamique forte avec un indice supérieur à 0,10. Il s'agit des tronçons 4, 9, 11 et 17. Le tronçon 4 (la Vieille Seille) qui appartient à la partie amont de la Seille, est le seul tronçon dans cette zone qui n'a pas subi de rectifications du tracé (tracé sinueux). Le résultat est une dynamique très vive surtout pendant la période des crues. Pour les tronçons 9 et 11 qui appartiennent à la partie médiane de la Seille, ils connaissent de faibles interventions humaines et une forte dynamique liée au tracé sinueux et au rôle des affluents qui contribuent à une augmentation des débits. Enfin, pour le tronçon 17 qui appartient à la partie aval de la Seille, il est l'exemple du site qui connaît une forte emprise humaine mais aussi une forte dynamique érosive.

Carte n°31: Exemple de la partie aval, tronçon 17



Carte n° 32

Etat du lit de la Seille par tronçons d'après les données cartographiées en 2003



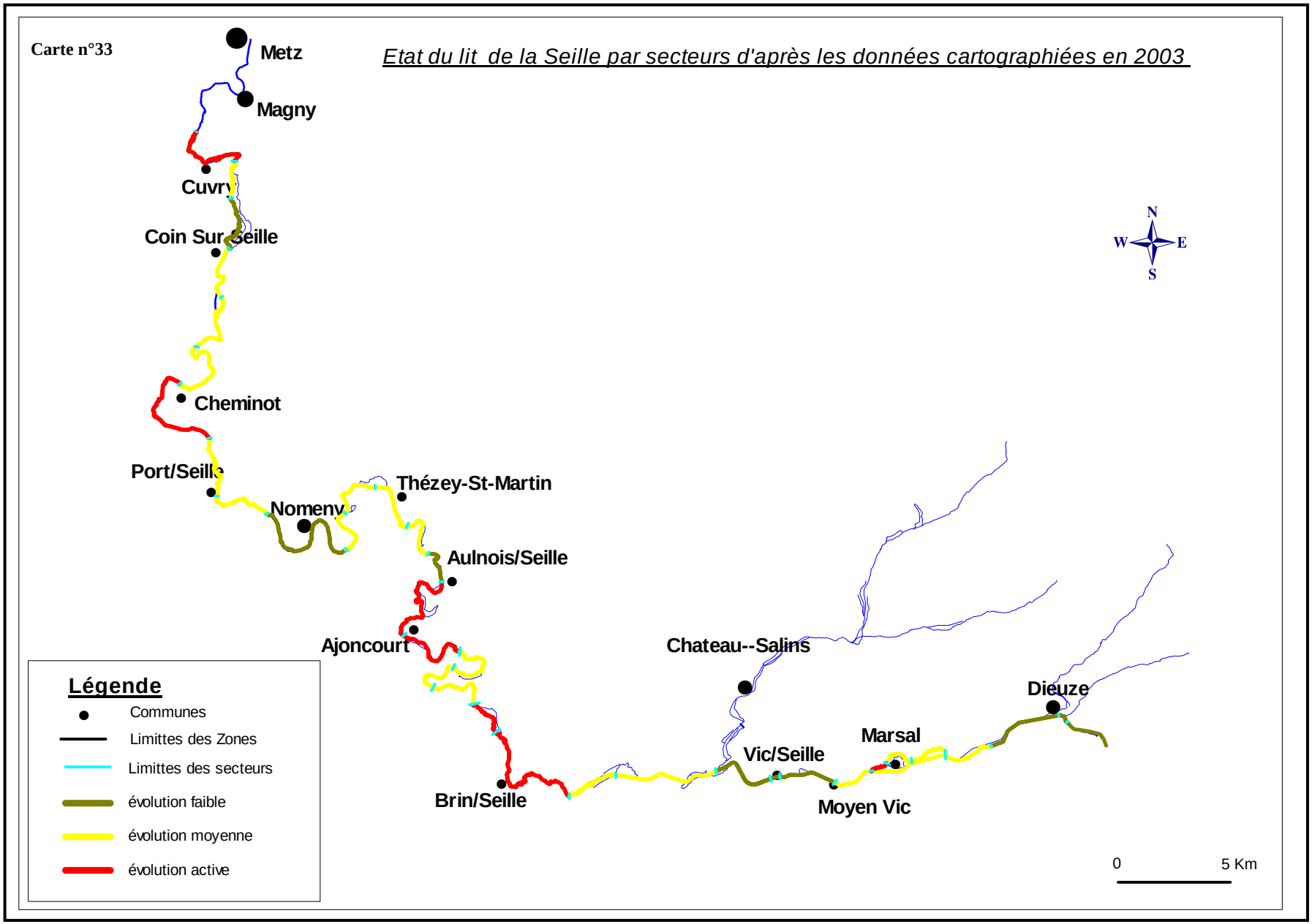
3- Caractéristiques des berges et évolution des secteurs

A une autre échelle, celle des secteurs, on se base sur les mêmes indicateurs (berges sapées à la base, berges sapées totalement, berges dégradées, berges affaissées, berges glissées, berges avec des encoches d'érosion et berges qui recèlent des abreuvoirs), révélateurs de l'intensité de l'érosion, pour déterminer l'importance de l'érosion.

Les résultats obtenus (carte n°33) ne sont pas très différents de ceux calculés pour chaque tronçon dans la partie précédente.

Sur les 34 secteurs qui composent l'ensemble de la Seille, 9 se caractérisent par une évolution faible des berges, 18 ont une évolution moyenne et seulement 7 ont une évolution forte des berges. Cela signifie que la dynamique fluviale des berges de la Seille est active mais elle n'est pas spectaculaire.

Aussi peut-on retenir les principales caractéristiques suivantes :


Carte n°33
Etat du lit de la Seille par secteurs d'après les données cartographiées en 2003
Metz
Magny
Cuvry
Coin Sur Seille
Cheminot
Port/Seille
Nomeny
Thézey-St-Martin
Aulnois/Seille
Ajoncourt
Brin/Seille
Chateau--Salins
Vic/Seille
Moyen Vic
Marsal
Dieuze
N
W
E
S
Légende
Communes
Limittes des Zones
Limittes des secteurs
évolution faible
évolution moyenne
évolution active
0
5 Km

Au final, les résultats obtenus ont permis de déterminer les caractéristiques de ces trois états des berges révélatrices de la dynamique du cours d'eau qui montre leur succession de l'amont vers l'aval par secteurs homogènes délimités sur le terrain.

*** Une érosion faible (« évolution faible »), accompagnée d'une modification très lente des formes fluviales, caractérise les berges végétalisées ou aménagées.

- les berges aménagées sont protégées et occupent des secteurs antérieurement exposés à l'érosion. Les aménagements suffisent généralement à contenir durablement la dynamique fluviale.
- les berges végétalisées et sapées à leur base au niveau du battement de la ligne d'eau sont également peu évolutives ; l'altération qui apparaît en basses eaux est sans gravité. Cette situation caractérise tout l'amont de la Seille, ainsi que la traversée des villages.



Photo n°21: Exemple d'une évolution faible au niveau de Coin-Sur-Seille

*** Une érosion modérée correspondant à une « évolution moyenne » est représentée par :- des berges affaissées où la dégradation affecte la partie haute avant l'apparition de glissements. Cette situation est très fréquente tout au long de la Seille. Parfois les berges sont partiellement végétalisées par des roseaux, buissons ou arbres, qui assurent une protection discontinue.- des encoches d'érosion, qui sont les témoins d'une forte dynamique locale et préparent le développement de sapements. D'une manière générale, elles interviennent entre les arbres et ne présentent aucune distribution préférentielle. - les affaissements dus au piétinement par le bétail (abreuvoir) ; ils peuvent favoriser la formation de chenaux de crue dans les berges basses qui favorisent les débordements précoces. L'« évolution moyenne » est de loin la situation la plus fréquente ; elle entretient au fil des événements hydrologiques, une certaine instabilité de berges, avec déchirure locale du couvert végétal.

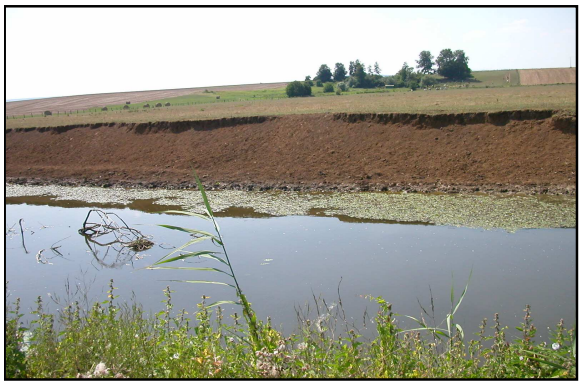


Photo n°22: Exemple d'une évolution moyenne au niveau de Aulnois / Seille

*** Une forte érosion correspondant à une « évolution active » est représentée par :

- des berges entièrement sapées dont le recul est visible (souches d'arbres dans le lit). Elles sont situées le plus souvent en rives concaves des sinuosités
- des berges affectées par des glissements de matériaux, notamment lorsque les hauteurs dépassent 2 m ou bien lorsque le pied de berge est sapé. Ces glissements concernent aussi des berges moins hautes ; ils sont alors aidés par le piétinement du bétail
- des berges dégradées de faible hauteur (inférieure à 1 m) où la variation fréquente du niveau de l'eau (alternance d'humectation et de dessiccation, de compression et de relâchement), favorise le détachement de



Photo n°23: Exemple d'une évolution forte au niveau de Cheminot

paquets de matériaux, laissant des cicatrices vives qui finissent par affecter d'importantes longueurs de berges (une à plusieurs centaines de mètres). Ce type d'évolution ne concerne que de courts secteurs où, en raison de modifications de la forme du lit, les sapements actifs empêchent toute végétalisation.

Il ressort de cette analyse que l'érosion reste généralement faible, comme le montre l'état des berges. Leur dégradation traduit au final la réponse de la Seille aux aménagements multiples du lit fluvial. Leur recul est très lent, comme l'indique le tracé stable (carte des morphologies fluviales ; *cf*. tome II) et la rareté des bancs d'alluvions dans le lit. La plupart des matériaux libérés par les berges sédimentent dans le fond du chenal, d'où ils sont, à l'occasion, extraits lors des curages, ou migrent vers l'aval lors des crues, ou encore sont étalés dans le lit majeur lors des débordements. Des mesures de profils en travers effectuées en 2004 et leur comparaison avec des données antérieures permettront de déterminer les vitesses de cette évolution du lit fluvial, rythmée par les interventions anthropiques et commandée par l'énergie de l'écoulement lors des crues.

IV- L'identification des formes du lit majeur

Il est clair que dès que le débit dépasse la capacité du lit, qui varie selon les zones drainées (amont, médiane et aval), la Seille quitte le lit mineur et déborde dans le lit majeur (Léopold et al., 1964), (Tricart, 1977). L'étalement des eaux dans le lit majeur s'opère selon des modalités assez complexes, qui dépendent essentiellement du débit atteint, de la morphologie du lit majeur ainsi que de la durée de la crue, (Bravard et Petit, 2000). Devant les débordements répétés (*cf*. 2ème partie, chapitre 4), le lit majeur n'a pas échappé à ces actions d'aménagements, que ce soit dans le passé ou actuellement. Leur objectif principal est de lutter contre les inondations. Aujourd'hui, les risques sont accentués dans les endroits urbanisés de la vallée.

Dans cette partie, nous réalisons un diagnostic du lit majeur afin de: - dégager le comportement du cours d'eau pendant la période des crues qui varie selon la forme de la vallée. - analyser les processus d'étalement des eaux dans le lit majeur et déterminer le rôle des actions anthropiques dans le fonctionnement hydrodynamique. Cette partie comprend trois grands axes :

- Identification du paysage fluvial par la cartographie du lit majeur.
- Détermination des modalités d'évolution actuelle de la Seille à partir de l'analyse de l'occupation du sol.
- Explication des processus dynamiques dans le lit majeur. Nous proposons d'analyser un exemple représentatif de chaque zone qui compose le paysage fluvial de la Seille

1- la cartographie du lit majeur de la Seille

a- L'objectif

La loi du 2 février 1995 a institué un nouvel outil pour les gestionnaires : le plan de prévention des risques naturels (PPR), qui remplace les dispositifs existants. L'objectif principal de cette loi est de mettre à la disposition des gestionnaires des outils qui permettront de mener des actions d'aménagements afin d'avoir une meilleure protection dans les zones à risque. Cette loi a permis de mettre en place tous les moyens pour contrôler les débordements dans le lit majeur. Dans la vallée de la Seille la cartographie des zones inondables a été effectuée suite aux événements du 15 et 16 octobre 1981(DDE et DDAF, 1995). Les résultats contiennent une représentation globale des zones inondées. Au même moment, dans le Sud de la France, l'approche hydrogéomorphologique permet de collecter des informations précieuses sur les inondations, (Masson, Garry et Ballais, 1996). Celles-ci correspondent à des limites des zones d'extension des eaux de crue.

Cette méthode a été appliquée à la Seille en 2003, l'opération a abouti à la délimitation des couloirs d'écoulement de la crue, en distinguant plusieurs niveaux d'aléas selon la hauteur de la submersion, la durée de crue. L'inconvénient de cette approche « hydrogéomorphologique » est la difficulté de déterminer les limites au sein du lit majeur.

Dans le cadre de cette thèse, nous avons utilisé les cartes ainsi réalisées en les complétant par d'autres éléments qui peuvent expliquer les processus dynamiques dans le lit majeur, comme les formes antérieures, les formes vives et l'occupation du sol.

b- L'aspect méthodologique de la cartographie du lit majeur

La méthode mise en œuvre consiste à distinguer les formes du modelé fluvial et à identifier les traces laissées par le passage de l'eau. Les éléments pris en considération sont : les formes du lit majeur, les marques d'écoulements anciens (anciens tracés, anciens chenaux de crue) les écoulements actuels liés aux affluents, les chenaux de crue récents et les grandes catégories de l'occupation du sol susceptibles d'influencer les écoulements dans le lit majeur. La représentation de tous ces éléments permet de disposer d'un repérage en plan sur l'ensemble de la vallée, qui prend en compte la dynamique naturelle de l'écoulement et l'histoire de la vallée. On notera que cette cartographie ne prend en compte que les inondations par débordements, et exclut les inondations par remontée de nappe, (Gholami et Gazelle, 2003). La réalisation de cette carte se base essentiellement sur les prospections de terrain, ainsi que sur l'interprétation des photographies aériennes de différentes missions IGN (1967/1968, 1994, 1999) et des images satellites de 2003.

2- Présentation des éléments cartographiés dans le lit majeur

Les éléments qui sont cartographiés ont été groupés en quatre rubriques qui sont présentées dans la légende de la cartographie du lit majeur (*cf.* tome II, légende de la cartographie du lit majeur, page 79) : les formes antérieures, les formes vives, l'occupation du sol et les morphologies fluviales du lit mineur les plus significatives (berges marquées par la dynamique et berges aménagées).

*** Les formes antérieure : Ce sont des marques qui nous donnent des informations précieuses sur les circulations anciennes dans le lit majeur :

* Anciens lits de la Seille (marqués) : la plupart sont proches du lit mineur actuel et s'y raccordent pendant la période de débordement. Ces anciens tracés sont surtout visibles dans la partie amont de la Seille.

* Vestiges d'anciens lits (peu marqués) : ce sont des marques d'anciens passages d'écoulement peu visibles qui piègent l'eau en lit majeur.

******* Les formes vives : Elles dépendent essentiellement de la forme de la vallée ainsi que des actions anthropiques réalisées dans le lit majeur :

* Ruisseaux et affluents : Le lit majeur est parcouru par des affluents permanents et temporaires. Nous avons seulement cartographié les affluents permanents.

* Chenaux de crue : Ce sont des traces d'écoulements qui témoignent d'une circulation d'eau dans le lit majeur régulièrement empruntées en crue. Ils fonctionnent lors des débordements. Ils caractérisent essentiellement la partie aval du cours d'eau.

* Plans d'eau : Ils sont tous artificiels et ont un double but : d'une part stocker les eaux pluviales et d'autre part servir à la pisciculture. Ils sont plus particulièrement localisés dans la partie amont, la « région des étangs » (*cf.* 1ère première partie, chapitre 2).

* Zones marécageuses : Ce sont des espaces de stagnation d'écoulements en lit majeur lors de la période des débordements.

* Drains construits : Ils font partie des aménagements du lit majeur. Ce sont des collecteurs d'eau qui permettent une évacuation rapide de l'eau de débordement pendant la

période hivernale. On en distingue deux types : ceux qui sont connectés directement avec le cours d'eau et ceux qui ne sont pas connectés au cours d'eau.

*** Occupation du sol : À partir photos aériennes de trois missions 1967/1968, 1994 et 1999, ainsi que des images satellites de 2003, nous avons réalisé une cartographie du lit majeur (*cf.* tome II, planches 73 à 85). Elle comporte les principaux changements de l'occupation du sol dans la vallée de la Seille.

* Extension des espaces construits
* Développement des espaces boisés
* Des prairies transformées aux terres labourées
* Des terres labourées transformées en prairies

L'objectif principal est d'établir un lien entre les résultats de la cartographie et les informations historiques pour expliquer les modalités de la circulation d'eau dans le lit majeur.

V- Résultats par grandes zones

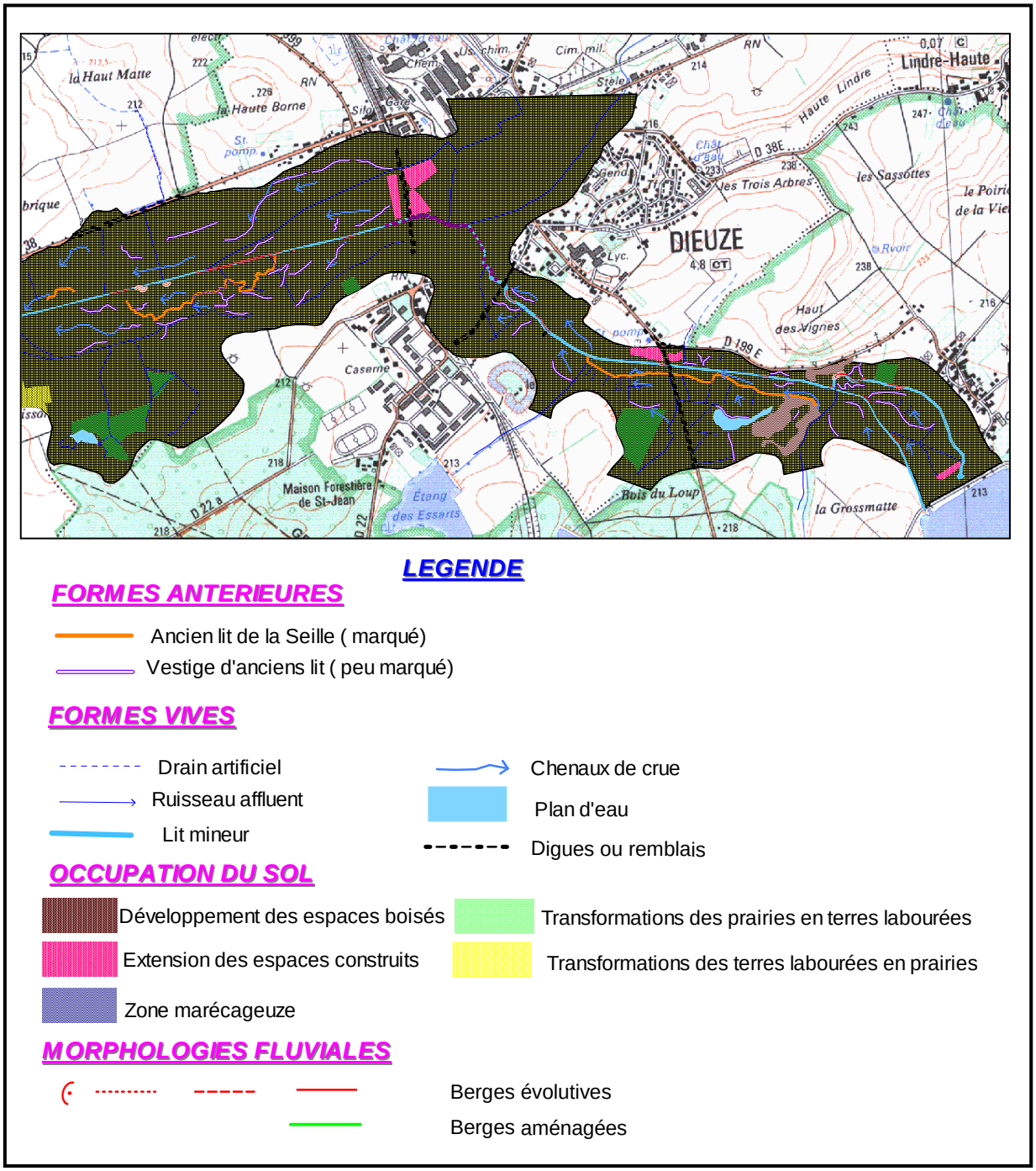
Il s'agit de répondre à la question principale : où passe l'eau lorsque la Seille déborde? Quelles sont les modalités d'étalement des eaux dans le lit majeur des sites anciennement aménagés (zone amont), des sites dits naturels (partie médiane) et des sites aménagés récemment ? Les résultats de cette cartographie du lit majeur sont présentés sur un support scan à l'échelle de 1/25000 (*cf.* tome II, planches 73 à 85). On peut ainsi différencier trois grandes :

1-La partie amont de la Seille

Dans la partie amont, qui correspond à la zone des étangs et à la zone du Saulnois, les caractéristiques morphologiques du lit mineur favorisent les débordements. Le lit majeur a subi quelques modifications liées aux actions anthropiques. Ce lit majeur large de 1500 m comprend des chenaux de crue, des zones marécageuses, d'anciens tracés.

D'un point de vue géomorphologique, les anciennes marques de circulation d'eau dans le lit majeur sont nombreuses et caractérisent un ancien tracé du lit mineur très sinueux (*cf.* tome II, planches 73 à 76). Aujourd'hui, certaines de ces marques anciennes ont disparu et sont remplacées par des chenaux de crue. D'ailleurs, le lit majeur (état des lieux de 2003) est parcouru par plusieurs chenaux qui montrent que cette zone amont de la Seille présente des débordements fréquents. La sollicitation du lit majeur est régulière, les drains construits qui sont des chenaux de décharges, propres au lit majeur sont très marqués. Sur le plan de l'occupation du sol de la vallée, on note une faible modification depuis 1967, avec quelques changements mineurs (*cf.* 3ème partie, Chapitre 6).

Carte n°34: Fonctionnement fluvial en lit majeur sur le site de Dieuze



L'exemple de site que nous proposons d'analyser concerne la partie amont anciennement modifiée autour de Dieuze (tronçons n° 1, 2 et 3 ; découpage 2003) (*cf.* Tome II, planche 73). Le lit majeur est successivement étroit (tronçon 1, à l'amont de Dieuze), large et urbanisé (tronçon 2, au niveau de Dieuze) et très large (à l'aval de Dieuze). Le tronçon 2 est situé à la confluence de trois cours d'eau, la Seille, le Spin et le Verbach, (carte n°34). Les caractéristiques du lit majeur sont variées.

- Les anciens lits de la Seille, qui sont très marqués à l'amont et l'aval de Dieuze, font apparaître les grandes modifications que la Seille a connues pendant la période historique. Ces anciens lits s'activent lors de la période des crues et permettent un échange entre le lit mineur et le lit majeur.

- Les anciennes marques de circulation superficielle dans le lit majeur, sont actuellement très marquées à l'amont et à l'aval de Dieuze.
- L'occupation du sol a connu de faibles modifications, avec l'apparition de quelques zones marécageuses à l'amont de Dieuze, quelques parcelles de terres labourées à la place des prairies ainsi qu'une extension limitée des zones construites au niveau de Dieuze.
- Les chenaux de crue qui témoignent d'une circulation actuelle dans le lit majeur, se font rares par rapport aux marques d'écoulement passé. Ils sont localisés plus particulièrement à l'amont et à l'aval de Dieuze et quasiment absents au niveau de Dieuze.
-

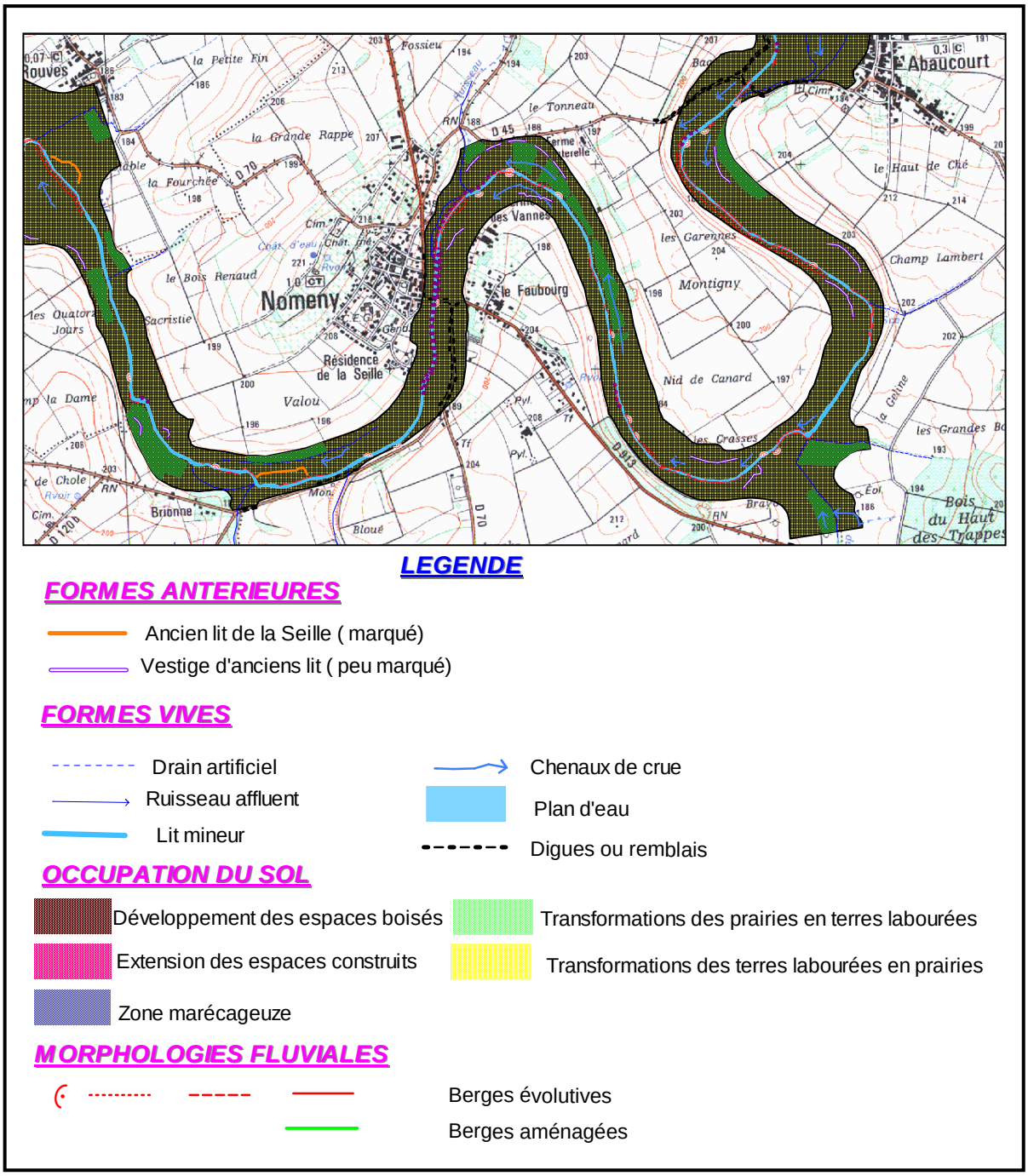
Ces éléments expliquent l'état général du site de Dieuze dont l'équilibre est perturbé par les anciennes actions anthropiques.

2- La partie médiane de la Seille

Dans la partie médiane, qui correspond au plateau liasique, le tracé est un peu plus naturel, la Seille décrivant une série de sinuosités. Les limites sont celles des versants ou des routes pour les deux rives. Une grande partie de l'espace est occupé par des prairies, des champs cultivés (*cf.* tome II, planches 77 à 80). Les anciennes marques de circulation d'eau dans le lit majeur sont peu nombreuses par rapport à la partie amont de la Seille. La faiblesse de ces formes peut être liée au rétrécissement du fond alluvial ou encore aux hautes berges qui séparent le lit mineur du lit majeur. Il n'y a pas d'espace pour la formation ou la conservation de formes annexes au lit mineur, ni de formes spécifiques au lit majeur. Le fonctionnement est régi par l'épaisseur des tranches d'eau en crue. Ainsi, les formes du lit fluvial se superposent les unes aux autres. Les écoulements empruntent les chenaux de crue pour recouper les méandres et entraînent parfois des zones marécageuses (Moulin de Chambille, Craincourt, Phlin et Abaucourt). D'un point de vue hydrodynamique, la morphologie du lit mineur ne favorise pas les débordements fréquents, contrairement à la partie amont. Les berges sont hautes et les versants jouent un rôle de digues de protection. En effet, les endroits qui sont régulièrement inondés se caractérisent par l'apparition de chenaux de crue ; ceux-ci affectent surtout les méandres au pied des versants pentus, essentiellement occupés par des prairies et des champs cultivés. Ces formes peuvent expliquer les modifications modérées qui ont caractérisé le lit majeur au niveau de l'occupation du sol. Le recul des prairies au profit des terres labourées peut témoigner d'une faible circulation d'eau dans le lit majeur dans cette zone.

On retient aussi une évolution lente et généralisée qui s'exprime par des recoupements de méandres et une mobilité du lit majeur à Bay-sur-Seille, Armaucourt, Han, Chenicourt et entre Létricourt et Abaucourt. Dans cette zone, les habitats et les installations sont le plus souvent hors d'atteinte des crues, même exceptionnelles, en raison de la configuration de la vallée et aussi des actions d'aménagements qui se concentrent très souvent à l'entrée des villages, très marqués par un réseau de routes, de ponts, de digues de protection (Nomeny).

Carte n°35: Caractéristiques du lit majeur de la Seille au niveau de Nomeny



Ces observations sont illustrées par l secteur de Nomeny qui appartient au tronçon n° 13 (carte°35). La Seille effectue deux grandes boucles dont l'amplitude exploite toute la largeur du couloir. Les débordements sont rares et le fonctionnement hydrodynamique est sous l'influence des conditions naturelles du tracé (*cf.* Tome II, planches 79 et 80). Les formes du lit majeur indiquent une circulation ancienne très faible, limitée dans les courbures, avec un recoupement des méandres. Celles-ci s'expriment par la dégradation des berges, avec une libération des matériaux des versants qui sont exportés vers l'aval. Aujourd'hui, ces marques ont disparu, laissant place à des chenaux de crue qui se limitent surtout à l'amont de Nomeny (Abaucourt). L'encaissement du cours dans les versants ne favorise pas un échange entre le lit mineur et le lit majeur.

- Les anciens lits de la Seille sont quasi-absents, à part à l'aval de Nomeny.
- Les anciennes marques de circulation d'eau sont rares ; elles ont disparu du lit majeur actuel et sont parfois remplacées par les chenaux de crue, par exemple au niveau de la ferme de Chanterelle (à l'amont de Nomeny).
- L'occupation du sol a connu des modifications qui restent modérées, caractérisées essentiellement par le recul des prairies qui sont remplacées par les terres labourées. Ce changement de l'occupation du sol est un indicateur des faibles débordements contemporains et de la stabilité du lit majeur.
- Les chenaux de crue actuels sont très présents.

Ce secteur de Nomeny constitue un couloir bien délimité par les versants, occupé par des espaces boisés et des zones toujours en herbe, il comprend peu de modification au niveau de l'occupation du sol : quelques transformations de prairies en terres labourées qui confirment la stabilité dans le lit majeur. Le centre historique de Nomeny est perché sur le versant à l'abri des submersions en crue.

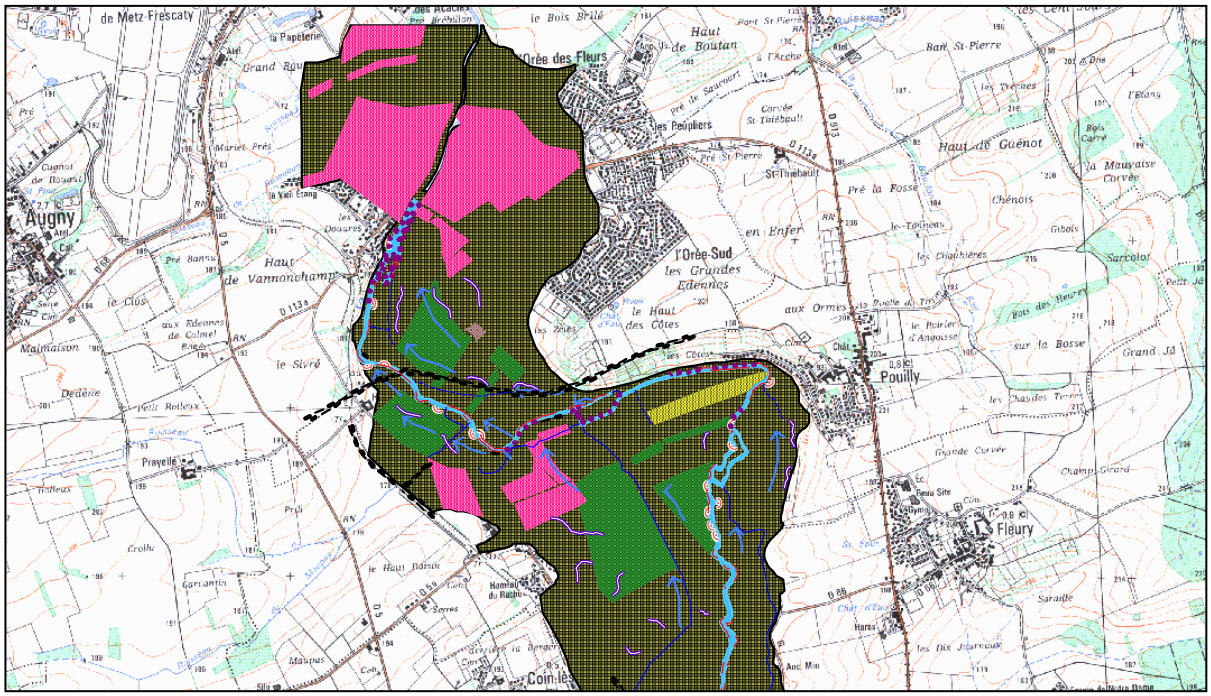
3- La partie aval de la Seille

Dans la partie aval qui correspond à une zone de dépression subséquente, le tracé est rectiligne et alterne avec des tronçons légèrement sinueux. Le paysage fluvial de la Seille a connu plusieurs modifications anciennes. Le lit majeur est plus large à l'aval (Coin/Seille, Pournoy-la-Chétive, Coin-lès-Cuvry, Cuvry et Marly) qu'à l'amont de cette zone (Cheminot, Sillegny, Pommérieux, Loiville). Il comprend de nombreuses marques liées aux flux de débordements fréquents (*cf*. tome II, planches 81 à 85).

Le fonctionnement du lit majeur est conditionné par les morphologies du fond alluvial : berges de hauteurs moyennes impliquant une submersion fréquente des secteurs en creux, existence de nombreux chenaux de crue, de zones submergées (Coin-lès-Cuvry et Marly), réseau de ruisseaux et de drains construits qui sont perpendiculaires au tracé de la rivière (Pournoy-la-Chétive). Les écoulements empruntent les deux formes, drains de crue et drains construits avec une stagnation dans quelques zones peu profondes dans le lit majeur (au niveau de Marly, à côté du barrage). Aujourd'hui, l'ensemble de cette zone est sous l'emprise humaine. Le lit majeur est marqué par des drains correspondant soit à des ruisseaux qui alimentent la Seille soit à des drains construits qui ont pour but de faciliter les récupérations des eaux de débordements. L'ensemble qui présente un fonctionnement relativement naturel (dans de larges champs de débordement) constitue en réalité une zone fortement perturbée par les aménagements (barrages, protection végétale, digues, enrochement, géotextile).

Cette zone a connu de grandes mutations dans le lit majeur qui se caractérisent par une extension des espaces construits, surtout au niveau de Marly (carte n°36). L'apparition des grandes terres labourées s'observe au niveau de Pournoy-la-Chétive, Cuvry, Pouilly et Marly. On note que le changement d'occupation du sol dans le lit majeur est essentiellement lié à d'importantes actions anthropiques.

Carte n°36: Morphologie du lit majeur dans la zone aval de la Seille



LEGENDE

FORMES ANTERIEURES

- Ancien lit de la Seille (marqué)
- Vestige d'anciens lit (peu marqué)

FORMES VIVES

- Drain artificiel
- Ruisseau affluent
- Lit mineur
- Chenaux de crue
- Plan d'eau
- Digues ou remblais

OCCUPATION DU SOL

- Développement des espaces boisés
- Extension des espaces construits
- Zone marécageuze
- Transformations des prairies en terres labourées
- Transformations des terres labourées en prairies

MORPHOLOGIES FLUVIALES

- Berges évolutives
- Berges aménagées

Nous pouvons citer quelques actions menées à Marly à titre d'exemple :

- constructions de terrasses de façon à ce que les montées des eaux se fassent de façon progressive et que pendant la décrue on évite d'avoir des petites zones marécageuses au fond du lit majeur. Ces terrasses évitent le glissement des berges.
- un barrage permet de contrôler les écoulements pendant la période des hautes eaux et stoppe tous les matériaux transportés par le cours d'eau.
- construction de murs tout au long de la berge gauche, afin de protéger des débordements dans le lit majeur, très habité. Les crues exceptionnelles d'une fréquence 1/20, arrivent toujours à déstabiliser le système de protection ; des chenaux de crues traversent

l'ensemble de ce site. Cette circulation superficielle déclenche une dynamique très active qui s'exprime par une érosion forte.

Conclusion :

Au final, la forme des lits fluviaux résulte de constructions successives issues des conditions naturelles, des actions anthropiques et des fréquences et durées de crue.

** Dans la partie amont, le fonctionnement hydrogéomorphologique est sous influence des actions anthropiques anciennes qui ont complètement modifié le processus dynamique de la Seille et ont transformé son paysage fluvial. Les débordements se font dans un lit majeur très vaste, occupé par des prairies, les eaux empruntent des chenaux de crues très dispersés dans le lit majeur.

** Dans la partie médiane, la Seille développe un mode de fonctionnement influencé par les conditions naturelles : tracé sinueux et lit mineur incisé (*cf.* profils 2004). Les débordements sont fréquents, témoins les chenaux de crue qui conduisent à une évolution rapide et une exportation des matériaux vers l'aval, les chenaux de crues provoquent des recoupements de méandres lors des débordements. Les contrastes de fonctionnement caractérisant cette zone, illustrent bien le rôle des morphologies héritées (versants) qui conditionnent le fonctionnement actuel.

** Dans la partie aval, le fonctionnement de la Seille est sous l'influence des actions anthropiques anciennes et récentes. Ces actions anthropiques apaisent de façon non négligeable la dynamique du cours d'eau et conduisent à une modification de son fonctionnement et à une stabilité dans les endroits bien aménagés. Les débordements et la circulation dans le lit majeur sont fréquents avec des étalements des eaux généralisés dès que le niveau d'eau monte, malgré l'importance des actions d'aménagements. Cette unité est parcourue par un réseau de chenaux de crues et des drains de vidange.

Globalement, la Seille présente des morphologies fluviales qui évoluent lentement sur une à plusieurs décennies. Mais cette évolution s'accélère à l'occasion de crises, déterminées par un événement hydrologique particulièrement puissant (comme les crues de 1983, 1994, 2001) et par une action anthropique (rectification du tracé, curage, …). Dans le fond alluvial, cette lenteur se traduit par l'occupation du sol, les constructions diverses, l'espace agricole et la végétation de rives du lit mineur. Ces actions anthropiques ont toujours été réalisées par grandes périodes historiques est présentée dans le chapitre suivant.

Chapitre 6 : Les modifications du paysage fluvial par les actions anthropiques

Les interventions humaines ont laissé des traces dans le paysage fluvial actuel (cartographie des morphologies fluviales 2003). Leur objectif principal est de lutter contre la dynamique du cours d'eau et d'éviter le phénomène d'érosion, qui a pour conséquence une dégradation du milieu naturel, ainsi que la lutte contre les débordements. Dans le cadre de cette étude, l'objet de ce chapitre est de déterminer quelle peut être la part du facteur humain dans l'évolution du paysage fluvial de la Seille. Autrement dit, il s'agit d'analyser comment les riverains de la vallée ont modifié les lits fluviaux de la Seille. Afin de mieux comprendre les impacts de ces actions anthropiques, nous proposons de déterminer les objectifs de ces aménagements, d'identifier les types d'aménagements qui caractérisent le cours d'eau et leur évolution. Ce chapitre se compose de trois axes :

* Un inventaire historique des interventions humaines à travers l'étude d'archives pour déterminer la nature, l'ampleur et la fréquence des actions humaines. La phase historique constitue sans aucun doute la période fondamentale pour comprendre certains comportements actuels, elle représente l'héritage du cours d'eau.

* Un inventaire des principales actions d'aménagement qui ont caractérisé la période contemporaine à partir des relevés de terrain réalisés durant l'été 2003 et de la consultation des rapports d'aménagement de ces 30 dernières années.

* Une étude des modifications anthropiques du paysage de la Seille, basée sur l'analyse du tracé fluvial et des changements d'occupation du sol. Cette étude s'appuiera sur des anciennes cartes, des photos aériennes de trois missions différentes (1967, 1994 et 1999), les images satellites de 2003, ainsi que la cartographie du lit majeur.

I- Les aménagements historiques de la Seille

La détermination des actions d'aménagements dans le temps et dans l'espace durant la période historique est assez difficile. On suivra la même démarche que pour les crues historique: recherches archivistiques pour la période allant du XIIIème siècle (plus anciens événements répertoriés dans les archives) à 1969 (dernière année avant l'apparition des syndicats d'aménagement de la Seille). Les cotes consultées aux Archives Départementales sont les séries M (de 307 M 78 jusqu'à 307 M 381), AL (de 16 AL 165 jusqu'à 16 AL 191) et enfin S (5 S 6 jusqu'à 5 S 36).

1- Nature des sources d'informations :

Pour le bassin de la Seille, l'information collectée provient de plusieurs sources :

** les documents écrits : ils correspondent aux extraits de journaux, à des rapports d'ordre administratif, aux lettres communales envoyées aux autorités, à des notes et à des autorisations préfectorales, … tout ce qui se rapporte aux actions anthropiques menées sur le cours d'eau. L'information historique a été recherchée aux Archives Départementales de Metz et de Nancy. Les résultats de cette recherche d'information montrent l'intérêt que portent les médias à ces actions d'aménagements. Dans certains cas, les quotidiens ont fait de ces aménagements de la Seille un grand événement, comme le Républicain Lorrain en 1879 (photo n°24). Ces journaux publient également des décrets préfectoraux qui concernent l'aménagement de la rivière (photo n°25: exemple de 1904).

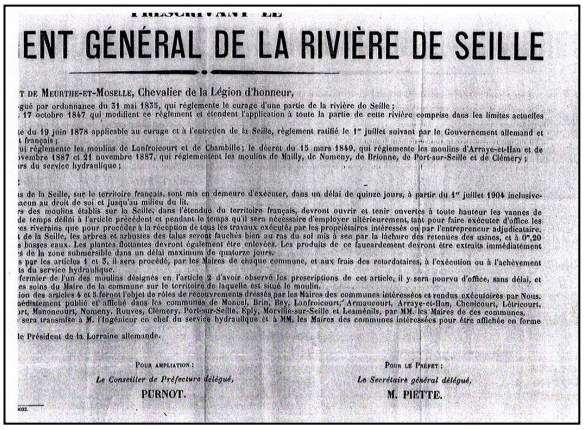

DÉPARTEMENT DE MEURTHE-ET-MOSELLE

CURAGE DE LA SEILLE

Lot N 2, compris entre le pont de Pettoncourt et le moulin de Bioncourt, sur les territoires de Moncel, Brin, Pettoncourt, Attilloncourt et Bioncourt

ADJUDICATION DES TRAVAUX

Photo n°24: Annonce du curage de la Seille dans le journal local en 1879


ENT GÉNÉRAL DE LA RIVIÈRE DE SEILLE

T DE MEURTHE-ET-MOSELLE, Chevalier de la Légion d'honneur,

Pour ampliation : Le Conseiller de Préfecture délégué, PURNOT.

Pour le Préfet : Le Secrétaire général délégué, M. PIETTE.

Photo n°25: Le 1 juillet 1904, les autorités allemandes et françaises ont annoncé le curage de la Seille

Il existe aussi des notes et des citations qui parlent des interventions des riverains de la Seille dans le cours d'eau (exemples en 1878, 1884, 1905, 1911, 1921, 1929, 1937 et 1938), pour faciliter les écoulements et nettoyer le lit de la Seille.

** les marques : elles concernent les traces laissées dans le lit mineur ou le lit majeur, qui témoignent de ces actions anthropiques.



Photo n°26: Enrochements perchés par rapport au cours d'eau, qui témoignent d'une ancienne protection



Photo n°27: Fixation du lit mineur au niveau de Marsal

** les témoignages : ils concernent les déclarations de la population locale, des citoyens, des riverains, des pêcheurs qui ont un rapport direct avec le cours d'eau, et des agents de l'administration locale.

Malheureusement, ces actions d'aménagement ne sont pas toujours enregistrées dans des documents écrits. A cette difficulté s'ajoute la disparition de plusieurs documents pendant l'occupation allemande. On retient que, pendant la période historique, la vallée de la Seille a été le siège de nombreuses actions d'aménagement, dont les plus fréquentes sont : les curages, les redressements de lit, la création de canaux de dérivation, les travaux des ponts, l'entretien,

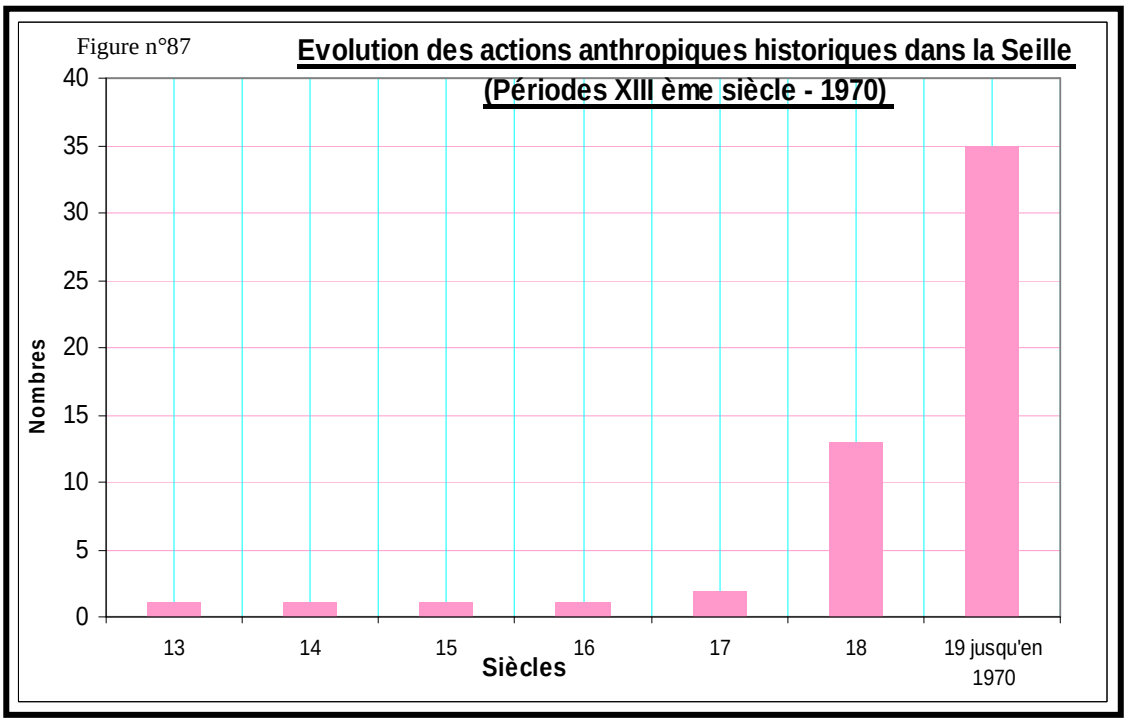
2- Principaux résultats concernant les aménagements historiques :

A partir des données collectées, on a pu réaliser un tableau qui regroupe dans un ordre chronologique toutes les données recueillies dans les archives. Cette chronologie retrace d'une façon relative l'évolution des aménagements de la Seille.

a- La variation temporelle de ces actions historiques:

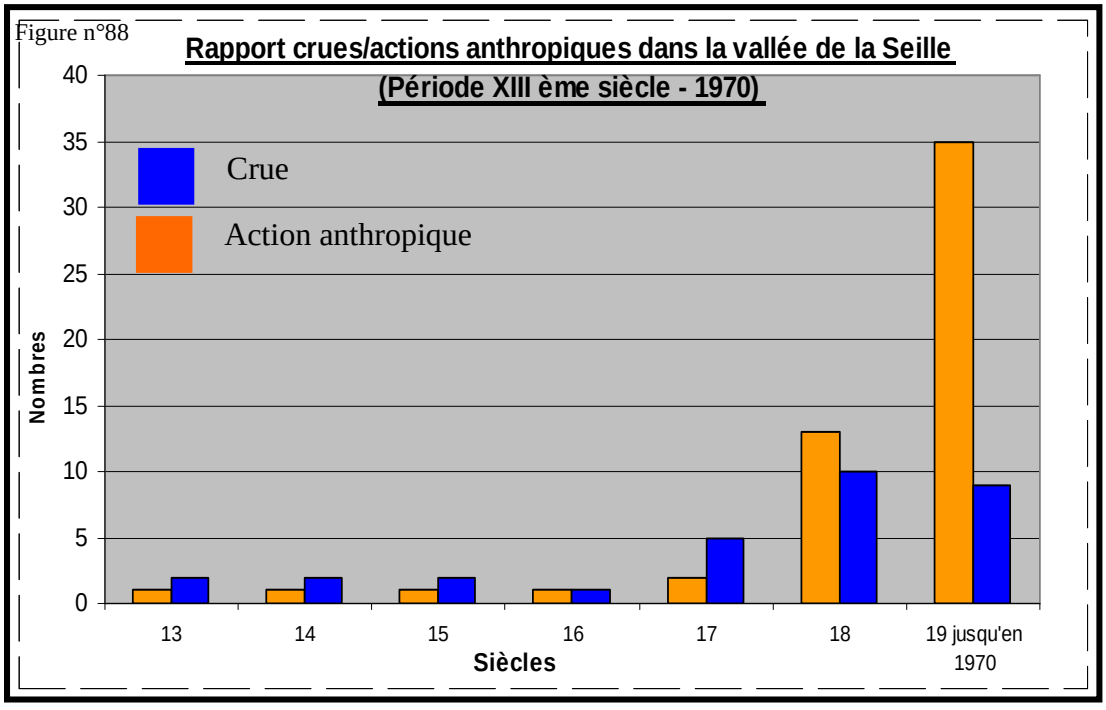
Le croisement de toutes les informations recueillies permet de dresser un premier bilan de ces actions anthropiques. Le graphique résume l'évolution temporelle de ces interventions, indépendamment de l'endroit concerné.

Figure n°87



Durant neuf siècles, les archives mentionnent 54 interventions sur la vallée de la Seille. Mais il existe probablement d'autres actions qui ne sont pas consignées dans la littérature ancienne. A partir de ces résultats nous pouvons tirer les remarques suivantes :

Figure n°88



- Durant les quatre premiers siècles (1336 -1600), la vallée de la Seille a connu de faibles interventions humaines, mais ces dernières sont peut être restées locales ou effectuées sans caractérisation.

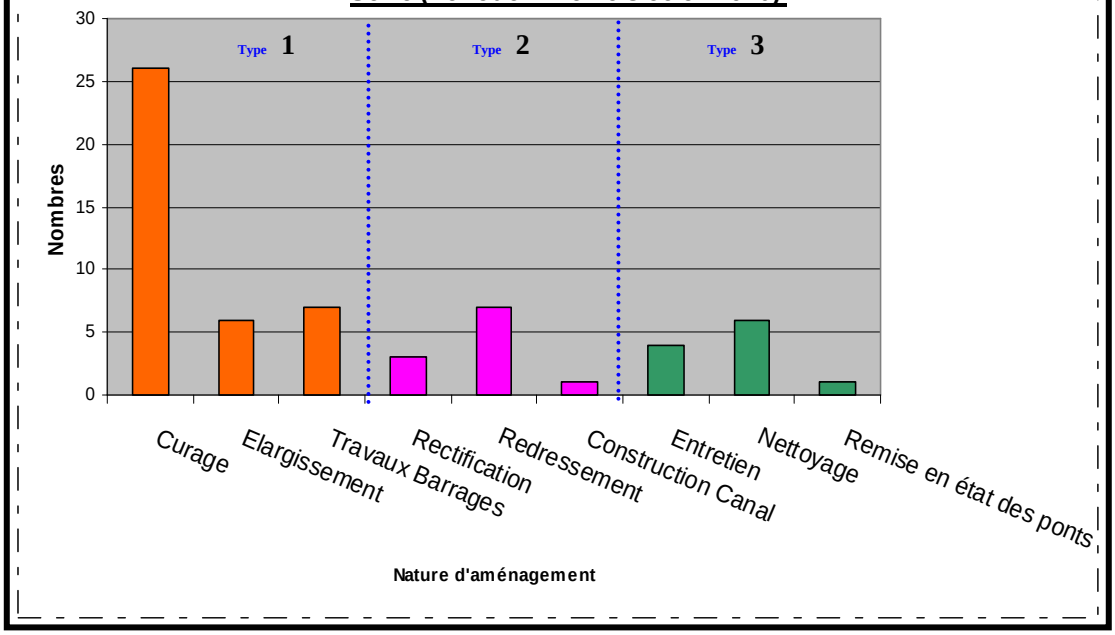
- L'information est plus fréquemment enregistrée dans les archives à partir du début du XVIIIème siècle.

- Cette collecte des actions anthropiques historiques donne des informations précieuses sur les interventions dans le cours d'eau, qui conduisent à un changement du paysage fluvial. Si on essaye, à titre comparatif, de lier ces interventions avec la connaissance des crues historiques (*cf.* 2ème partie, chapitre 4), on peut constater une certaine similitude dans leur évolution quantitative. Cette comparaison entre actions anthropiques et crues est imparfaite, mais elle donne une idée sur l'ensemble des actions menées sur le cours d'eau.

b- La nature des actions d'aménagement historiques

La plupart des actions se réfèrent au lit mineur, que ce soit pour les sections mouillées ou les tracés. Les curages constituent plus des 2/3 de ces actions anthropiques. La figure n°89 présente ces actions, qui ont été regroupées en trois grands types :

Figure n°89 **La nature des actions anthropiques historiques dans la vallée de la Seille (Période XIII ème siècle - 1970)**



** Modification de la section mouillée :

- Le curage requiert d'importants travaux ; enlèvement des dépôts qui encombrent le lit (sédiments, végétation, …) et parfois surcreusement du lit, régalage des berges. Il existe deux types de curage : un simple qui consiste à enlever les dépôts situés sur les bords du lit mineur, et un sévère qui correspond à un creusement dans l'ensemble du lit mineur afin d'enlever tous les débris. Sur le terrain, le curage sévère a souvent créé des berges hautes, parfois supérieures à 4 m. Ce type d'aménagement a été enregistré 26 fois dans les archives, en 1834, 1878, 1884, 1887, 1888, 1894, 1898, 1909, 1919, 1920, 1921, 1922, 1930, 1932, 1933, 1934, 1935, 1937, 1938, 1939, 1941, 1944, 1951, 1955, 1959 et 1966.

- L'élargissement du lit mineur a pour objectif d'augmenter le débit passant et la capacité du lit avant débordement. Mais les lits trop grands favorisent la formation de nombreuses banquettes au pied des berges végétalisées ou nues. Il existe deux types d'élargissement, dans des endroits rectilignes ou sinueux. Dans les documents des archives, on trouve des indices d'élargissement à deux reprises. En 1878, la Seille a été élargie de 5 m au niveau de Pettoncourt-Attilloncourt et Bioncourt. En 1920, la Seille a été élargie de 7 m au niveau de Chambrey, jusqu'à Metz. Globalement, ce type d'intervention caractérise la partie médiane et surtout l'aval, où il est particulièrement apparent dans le paysage.

- Travaux de barrage : ils regroupent la construction de ces barrages, leur réparation, l'installation des vannes, les travaux de nettoyage, … Au total, on a enregistré cinq interventions de ce genre : la suppression du barrage des Moulins afin de favoriser l'écoulement en 1909, la construction d'un barrage à environ 50 m en aval du moulin de Dieuze en 1924, la construction d'un barrage à Moulin de Chambille en 1933, le nettoyage des barrages en 1938 et 1953.

** Modifications du tracé :

- La rectification du tracé correspond à un aménagement fréquent dans la traversée des agglomérations, par exemple à Dieuze, Coin-sur-Seille, Nomeny. Son efficacité est démontrée par la stabilité durable des berges aux endroits calibrés ; certaines ont été enrochées, d'autres bétonnées. Il existe deux types de rectification, dans des secteurs rectilignes ou sinueux. Les archives mentionnent quelques actions de ce type dont la plus importante date de 1891, au niveau du tronçon 8 (*cf*. annexe 17) qui formait frontière étatique à l'époque.
- Le redressement agit sur le tracé afin de faciliter l'écoulement. Il existe deux types de redressement : un redressement qui affecte les courbures des sinuosités et un autre qui affecte les endroits rectilignes.
- La création de canaux est destinée à protéger des inondations en partageant l'écoulement entre le cours d'eau et le canal ainsi que l'exploitation du sel par une voie navigable. On distingue deux types de canaux : canaux pour faciliter les écoulements (cas du Canal de Marsal) et canaux de dérivation vers les moulins à partir d'un barrage. Ces canaux sont soit antérieurs soit postérieurs à 1970.

** Travaux d'entretien :

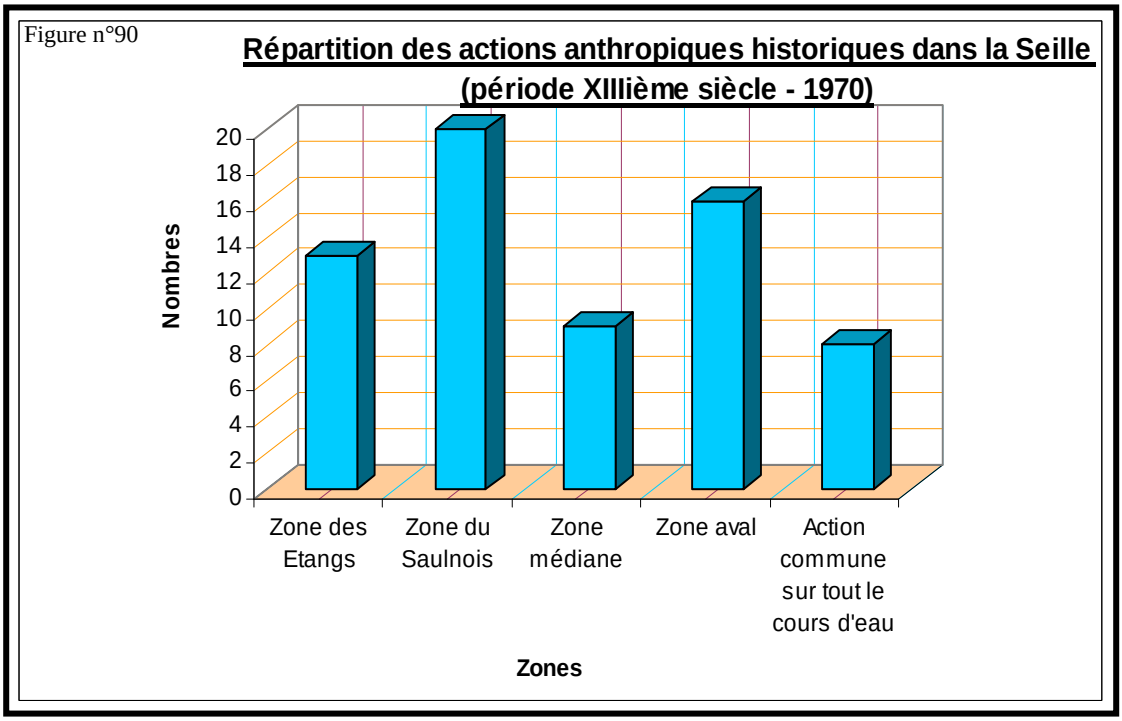
- L'entretien : consiste à enlever les obstacles qui perturbent les écoulements dans le lit et sur les berges.
- Le nettoyage : a été particulièrement important à la fin de la guerre. D'après les archives, des « voitures de fer » ont été jetées dans la rivière lors des combats. Après la guerre, il a fallu mener une grande action de nettoyage pour enlever tous ces débris.
- Les travaux de remise en état des ponts ont surtout concerné les dommages de guerre.

La plupart des aménagements ont modifié le lit fluvial de la Seille et font aujourd'hui partie du paysage. Les réalisations ont pu être repérées depuis le XVIIIème siècle surtout ; elles sont particulièrement nombreuses au XIXème siècle. Cependant, certaines sont bien antérieures. C'est le cas du secteur de Marsal, où le tracé rectiligne est visible sur tous les documents anciens. Les changements sont sans doute liés à l'exploitation ancienne du sel dans le Saulnois et à son transport par voie fluviale, vers l'aval du bassin.

c-La répartition des actions anthropiques à l'échelle des zones et tronçons

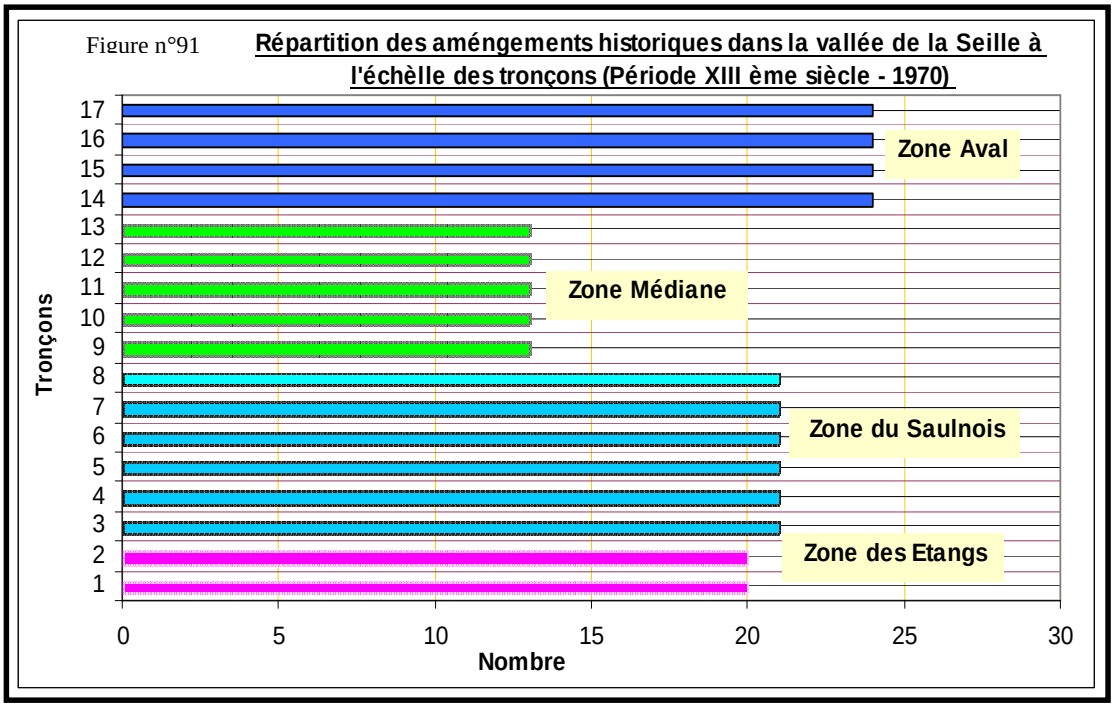
Dans le but de déterminer la localisation de ces interventions humaines dans la vallée de la Seille, nous avons dressé un graphique du nombre d'aménagements par zones, figure n°90. - Ces actions anthropiques ne sont pas réparties de la même façon sur l'ensemble du cours d'eau. - Les actions menées simultanément sur l'ensemble du cours d'eau restent faibles, dominées par le curage et le nettoyage, surtout après la fin de la guerre. - Ces recherches historiques montrent que la zone du Saulnois enregistre la plus forte concentration d'actions anthropiques (l'exploitation du sel a conduit les riverains à concentrer leurs actions sur le cours d'eau), suivi par la zone aval où le but principal était de lutter contre les inondations.- La zone médiane représente un tracé plus naturel, marqué par des faibles interventions humaines par rapport à l'ensemble du cours d'eau.

Figure n°90



A l'échelle des tronçons, ces actions se répartissent également de façon inégale. Les tronçons qui composent la partie aval (14, 15, 16 et 17) bénéficient d'un nombre important d'interventions (24 au total). Ici, le risque d'inondation a joué un rôle important dans la concentration des actions d'aménagements.

Figure n°91



Les tronçons qui composent la partie amont (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8) ont aussi été le siège de nombreuses actions des riverains (entre 20 et 22). Dans cette zone, la Seille a été navigable pendant une certaine période, d'où le nombre important d'interventions anthropiques. En partie médiane (tronçon 9 à tronçon 13), les interventions humaines sont faibles à cause de l'absence de vraies contraintes (12 interventions).

Finalement, le but de toutes ces actions d'aménagements est l'entretien du cours d'eau et la remise en état des berges, ainsi que l'amélioration du chenal. Ce sont en effet des raisons

purement économiques qui ont poussé les riverains de la vallée de la Seille à se lancer dans les actions d'aménagements. Par ailleurs, l'existence de l'étang du Lindre à l'amont du cours d'eau offre un surplus d'eau aux écoulements de la Seille, ce qui donne un surplus d'eau dans le cours d'eau.

II- Les actions anthropiques contemporaines

La période actuelle, qui démarre en 1970, est marquée par l'apparition des syndicats qui prennent en charge la gestion et l'aménagement du lit fluvial. Des modifications continuent à être effectuées sur tout le linéaire, pour répondre à des besoins de drainage des terres agricoles ou de réduction des submersions ou des phénomènes d'érosion. Ces actions anthropiques s'inscrivent dans un programme global d'amélioration des conditions d'écoulement pour l'ensemble des cours d'eau. La période contemporaine est principalement appréhendée par le biais du travail de terrain : cartographie des aménagements du cours, en se focalisant sur les aménagements récents. Cette analyse comporte trois points essentiels :

- Déterminer le cadre juridique de l'entretien des cours d'eau.
- Déterminer les principaux acteurs de la rivière ainsi que leurs objectifs.
- Mener un inventaire des actions contemporaines réalisées sur la Seille.

1- le cadre juridique de l'entretien des cours d'eau

L'entretien des cours d'eau non domaniaux, ce qui est le cas de la Seille, relève de la responsabilité des riverains. Les aménagements s'appuient sur un ensemble de lois qui donnent aux riverains plus d'autorité pour faire face à toutes les mutations du cours d'eau. Les principales prescriptions sont contenues dans la loi de 1992 qui a permis une réglementation du domaine fluvial et dans le code de l'environnement qui comporte plusieurs articles liés aux opérations d'entretien des cours d'eau:

*** Article L.215-14 :** « ….le propriétaire riverain est tenu à un curage régulier pour rétablir le cours d'eau dans sa largeur et sa profondeur naturelles, à l'entretien de la rive par élagage et recépage de la végétation arborée et à l'enlèvement des embâcles et débris, flottants ou non, afin de maintenir l'écoulement naturel des eaux, d'assurer la bonne tenue des berges et de préserver la faune et la flore dans le respect du bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques. »

*** Article L 432-1 :** « Tout propriétaire d'un droit de pêche, ou son ayant cause, est tenu de participer à la protection du patrimoine piscicole et des milieux aquatiques. A cet effet, il ne doit par leur porter atteinte et, le cas échéant, il doit effectuer les travaux d'entretien, sur les berges et dans le lit du cours d'eau, nécessaires au maintien de la vie aquatique…. »

*** Article L 433-2 :** « La fédération départementale des associations agréées de pêche et de pisciculture et l'association agréée de pêcheurs professionnels participent à l'élaboration du Schéma Départemental de Vocation Piscicole (SDVP) en conformité avec les orientations de bassin définies par le ministre chargé de la pêche en eau douce » (loi « Pêche » de 1984). Ce schéma met en place un programme de restauration des cours d'eau respectueux de leur qualité piscicole et préconise l'entretien régulier, la plantation d'arbre dans les zones trop ouvertes ou la restauration des frayères pour les carnassiers et les cyprinidés.

*** Article L.433-1 et L433-3 :** ces articles insistent sur la nécessité de mise en place « …d'orientation, de protection et de gestion des milieux aquatiques… » par les acteurs concernés et préconisent l'élaboration d'un plan Départemental de Protection du milieu aquatique et de gestion de la ressource piscicole (PDPG).

D'autres cadres réglementaires tels que le réseau Natura 2000 ou encore la directive « Habitats » (Directive n° 92/43) comportent des alinéas relatifs à l'entretien réfléchi des cours d'eau visant à maintenir le bon état des habitats. Ainsi, les travaux d'entretien des rivières sont aujourd'hui inscrits dans les textes de la loi et constituent une étape indispensable à la pérennisation du bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Dans un cadre européen, la directive cadre sur l'eau 2000/60/CE (DCE), adoptée par le parlement

européen et par le conseil le 23 octobre 2001, a pour objectif d'atteindre le bon état des eaux superficielles et souterraines pour 2015. Le bon état écologique est apprécié à travers l'état biologique des populations des milieux aquatiques, ce qui passe notamment par la libre circulation du poisson. Ces lois relatives à la protection du milieu fluvial insistent sur la qualité de l'eau, l'écosystème aquatique et les volumes d'eau écoulée. Il n'existe pas de lois directes qui insistent sur l'aménagement des cours d'eau contre l'érosion et la dégradation des berges, mais ces aspects sont associés à la qualité des écosystèmes aquatiques.

Aujourd'hui, le paysage fluvial est bien réglementé dans la mesure où toutes les actions d'aménagements devront être menées selon des critères paramétrés.

2- Les principaux acteurs de l'aménagement et leur rôle

Dans le bassin de la Seille, il existe deux types d'organismes en charge de l'aménagement de la rivière ; les uns représentent l'Etat, les autres les publics. Les organismes qui représentent l'Etat sont nombreux : la Direction Départementale de l'Agriculture (DDA), la Direction Départementale de l'Equipement (DDE), la Direction Régionale de l'Environnement de Lorraine (Diren), l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AEREM), le Parc Naturel Régional de Lorraine (PNR), les collectivités locales. Leur objectif est d'améliorer les écoulements des cours d'eau en menant des aménagements et des études qui concernent : les risques d'inondations, la pollution, la navigation. Les organismes publics sont représentés par les syndicats d'aménagement, qui constituent des regroupements associatifs auxquels adhérent toutes les communes traversées par le cours d'eau. Leur objectif est de veiller sur le cours d'eau, ainsi que de mener des actions d'aménagements.

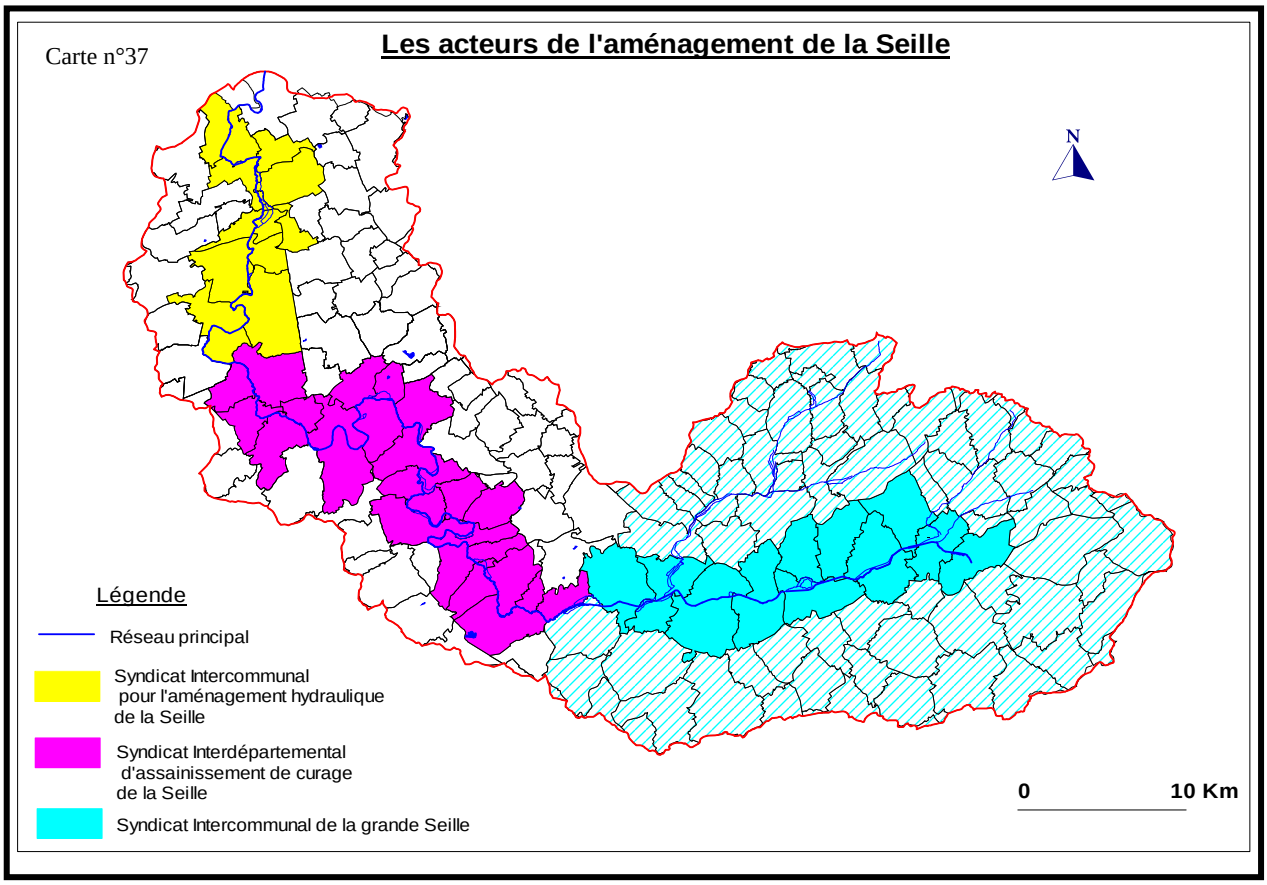
Pour la Seille, il existe trois syndicats qui gèrent les actions d'aménagements du cours d'eau : le Syndicat Intercommunal pour l'aménagement hydraulique de la Seille, le Syndicat Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille et le Syndicat Intercommunal de la grande Seille (carte n°37). Ces syndicats regroupent les riverains des communes traversées par la Seille et leur but est la protection contre les phénomènes de crue. Ils travaillent souvent avec d'autres services, comme l'Agence de l'Eau, la Diren et des bureaux d'étude, pour réaliser des études relatives aux projets d'aménagement, déterminer les endroits sensibles dans le cours d'eau et proposer des types d'aménagements.

a- Syndicat Intercommunal pour l'aménagement hydraulique de la Seille

Ce syndicat s'occupe de la partie aval de la Seille (carte n°37), sur une longueur de 57,05 km et une surface de sous bassin de 390 km². Son siège se trouve à Marly et les communes adhérentes sont : Cheminot, Louvigny, Sillegny, Pommérieux, Verny, Coin-sur-Seille, Pournoy-la-Grasse, Fleury, Pouilly, Cuvry et Marly. Ce syndicat a réalisé des travaux variés : plantation d'arbres, enrochements de berges, redressement de certains méandres, élargissement du lit, protection des berges avec du géotextile, enlèvement des embâcles…

b- Syndicat Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille :

Ce syndicat s'occupe d'un tronçon qui s'étend de Pettoncourt à Morville-sur-Seille sur une longueur de 38,95 km (carte n°37). Son siège se trouve à Nomeny. Les communes adhérentes sont : Pettoncourt, Bioncourt, Brin-sur-Seille, Bey-sur-Seille, Lanfroicourt, Aboncourt-sur-Seille, Manhoué, Armaucourt, Arraye-et-Han, Ajoncourt, Malaucourt-sur-Seille, Fossieux, Aulnois-sur-Seille, Létricourt, Crincourt, Thézy-St-Martin, Phlin, Mailly-sur-Seille, Nomeny, Manoncourt-sur-Seille, Clémery, Rouves, Port-sur-Seille, Eply et Morville-sur-Seille. Elles appartiennent à deux départements, la Moselle et la Meurthe-et-Moselle, ce qui pose un problème administratif.



Le syndicat a mené de nombreux projets d'aménagement : protection des berges, enlèvement des obstacles, élagage et arrachage des arbres, plantation d'arbres….

c- Syndicat Intercommunal de la grande Seille :

Cet organisme gère la partie amont de la Seille (carte n°37). La longueur du linéaire est de 42 km et la surface du sous bassin est de 540,1 km². Le siège du syndicat se trouve à la mairie de Vic-sur-Seille. Les communes adhérentes sont : Lindre-Basse, Dieuze, Val-de-Bride, St Médard, Mulcey, Blanche-Eglise, Marsal, Haraucourt-sur-Seille, Moyenvic, Vic-sur-Seille, Chambrey et Salonnes. Ce tronçon est classé en deuxième catégorie piscicole ; à l'amont se situent de nombreux étangs dont le plus grand est l'étang du Lindre. Une partie de ce tronçon est incluse dans le Parc Naturel Régional de Lorraine. Depuis sa création, le Syndicat Intercommunal de la Grande Seille a réalisé de nombreuses actions d'aménagement : des enrochements, des curages, des enlèvements d'embâcles…

Finalement, les trois syndicats qui gèrent le cours d'eau se sont mis d'accord sur la création d'un autre organisme les regroupant, qui s'appelle le Syndicat Mixte de la Seille Lorraine (1991). L'objectif principal de cet organisme est d'organiser et de coordonner les actions d'aménagements qui seront menées sur le cours d'eau.

III- Caractéristiques des aménagements récents de la Seille

La principale source d'information relative à la période contemporaine provient des prospections de terrain (cartographie des morphologies fluviales). Les autres données sont issues des services d'aménagements (Diren, Agence de l'eau, Syndicats d'aménagements,…).

1- Nature des aménagements contemporains

Les objectifs de ces aménagements ne sont pas très différents des plus anciens. Cependant, les techniques ont évolué et, désormais, elles prennent en considération l'environnement.

** la lutte contre les inondations : Elle comprend plusieurs réalisations qui complètent les actions antérieures.

- **Terrassement des berges** : Ce type d'aménagement consiste essentiellement en une construction de berges hautes à deux ou trois niveaux, ce qui permet de limiter les glissements de matériaux. Il est souvent réalisé dans la partie aval du cours d'eau.



Photo n°28: Exemple de terrasses réalisées à Cheminot

- **Digues ou remblais** : Les digues sont construites en béton. Elles prennent plusieurs positions, perpendiculaires ou parallèles au tracé du cours d'eau. Souvent, ce type d'aménagement est observé devant les fermes ou des endroits habités ou encore à coté des moulins. Les remblais ont le même but de protection que les digues. Ils sont souvent situés à côté des berges et supportent parfois des routes ; certains sont anciens.



Photo n°29: Exemple d'une digue de protection des berges au niveau de Sillegny

- **Drains construits** : Il existe deux types de drains construits, ceux qui sont connectés au cours d'eau et ceux qui ne le sont pas. Ces drains localisés dans le lit majeur sont des collecteurs qui évacuent rapidement l'eau de débordement pendant la période hivernale. La plupart sont construits par des riverains.



Photo n°30: Exemple d'un drain construit dans le lit majeur au niveau de Marly (partie aval)

** La protection des berges : Elle se caractérise par des actions lourdes de différents types.

- **Géotextile** : C'est un tissu quadrillé (style filet de pêche) mis en place sur les berges instables. Son intérêt principal est de protéger contre le glissement des matériaux. Il est caractérisé par une résistance à la traction et à la déchirure. Ce



Photo n°31: Exemple d'aménagement avec la technique géotextile au niveau de Marsal.

type d'aménagement est souvent accompagné par des plantations de jeunes arbres au pied des berges inclinées (basses et hautes) au tracé sinueux.

- Enrochements : Les blocs d'enrochement sont durs et résistants à l'action de l'eau, leur dimension diffère selon la dynamique de l'endroit (leur taille varie entre 10 et 50 cm). C'est dans la partie aval que la taille des blocs est la plus importante.



Photo n°32: Exemple d'enrochement à l'aval de la Seille (Chambray)

- Poteaux de stabilisation : L'aménagement avec la technique des poteaux est assez fréquent le long de la Seille. Cette opération vise à ralentir le recul des berges et à garantir la stabilité de la largeur du cours d'eau. Les poteaux sont en béton et en métal. Cependant, ils empêchent rarement l'érosion de la berge. Ces types d'aménagements sont utilisés par les pêcheurs (pour le stationnement des barques).



Photo n°33: Exemple d'aménagement avec la technique des poteaux au niveau de Sillegny (partie aval)

- Protections bétonnées : Ce type d'aménagement caractérise essentiellement l'entrée des villes, ou l'amont des barrages (photo n°). Les protections bétonnées basses permettent le développement de la végétation en sommet de berge.



Photos n°34: Exemple d'une berge bétonnée au niveau de Nomeny (partie médiane)

-Végétation arborée : La plantation d'arbres constitue l'un des aménagements les plus efficaces pour la protection des berges. Elle permet également de lutter contre l'eutrophisation, d'améliorer la qualité paysagère,… De plus, les arbres limitent l'ensoleillement et le réchauffement de l'eau et représentent un abri pour le bétail. Malgré leur faible nombre et leur jeune âge (moins de quinze ans), ces arbres restent efficaces pour la protection des berges, raison pour laquelle les syndicats d'aménagement de la Seille ont multiplié ce type d'intervention sur le cours d'eau ces dernières années (2002).



Photo n°35: Exemple de berge végétalisée au niveau de Sillegny (aval de la Seille)

- Fil électrique : C'est un fil que les paysans mettent pour éviter que le bétail ne descende dans le cours d'eau ou qu'il ne piétine la berge sur de trop grandes distances.

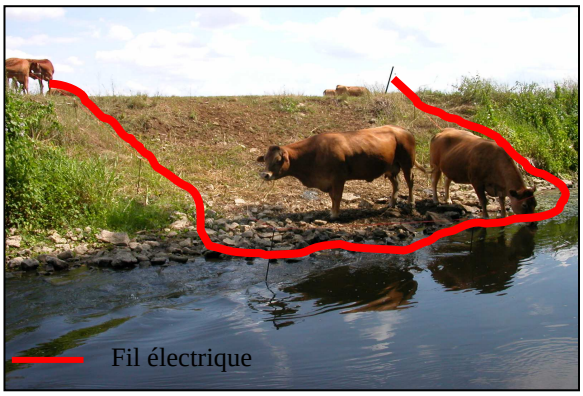


Photo n°36: Exemple de fil électrique à Manhoué

** Actions sur l'écoulement : Ce sont des actions menées dans le chenal du cours d'eau, dans le but de favoriser les écoulements.

- Seuil construit : Son objectif principal est de modifier la vitesse de l'eau. Ce type de seuil est souvent réalisé à l'amont ou à l'aval des ponts, ainsi qu'à l'aval des barrages pour fixer le profil en long.



Photo n°36: Exemple d'un seuil construit au niveau de Cheminot

- Barrage : c'est un ouvrage hydraulique construit en travers du cours d'eau et destiné à retenir l'eau. Il permet de réguler les débits utiles aux moulins, de stopper les matériaux et d'alimenter des canaux. Il existait six barrages sur la Seille avant 1970. Aujourd'hui, le nombre est passé à 9 et la plupart se trouvent à l'aval du cours d'eau. Sur la Seille, il existe deux types de barrages : fixes et mobiles.

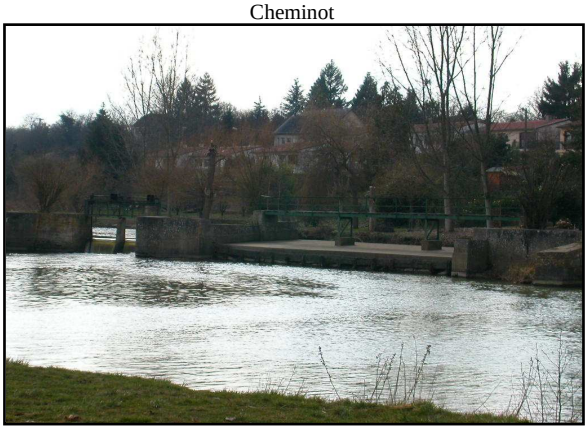


Photo n°37: Barrage de Marly à l'aval de la Seille

- Calibrage du lit mineur : Il fait partie des anciens aménagements de la Seille. Le but était de bétonner complètement ou partiellement le lit mineur afin de lutter contre l'érosion et contre les débordements. Ce type d'aménagement est souvent observé dans la traversée des villages (Dieuze, Coin-sur-Seille, Nomeny, …).



Photo n°38: Exemple du calibrage du tracé au niveau de Coin-sur-Seille (partie médiane)

** L'entretien du lit : Ces interventions sont moins sévères et peu coûteuses. Elles se rapportent le plus souvent à des actions qui concernent la végétation.

- **Fascinage** : L'installation des pieux s'accompagne de la plantation d'arbres ou de la mise en place de la technique géotextile … Le nombre de pieux varie selon la forme du tracé (sinueux, rectiligne) et la distance à aménager.
- **Bouturage** : C'est la plantation en haut de berge de segments de branche ayant une grande capacité de rejet.
- **Déboisement** : Il concerne essentiellement les branchages baignant dans l'eau, qui gênent les écoulements et favorisent les débordements.
- **Enlèvement des embâcles** : Ceux-ci sont de plusieurs types mais surtout végétaux (Deuxième partie, chapitre 8). Ils gênent l'écoulement normal du cours d'eau.



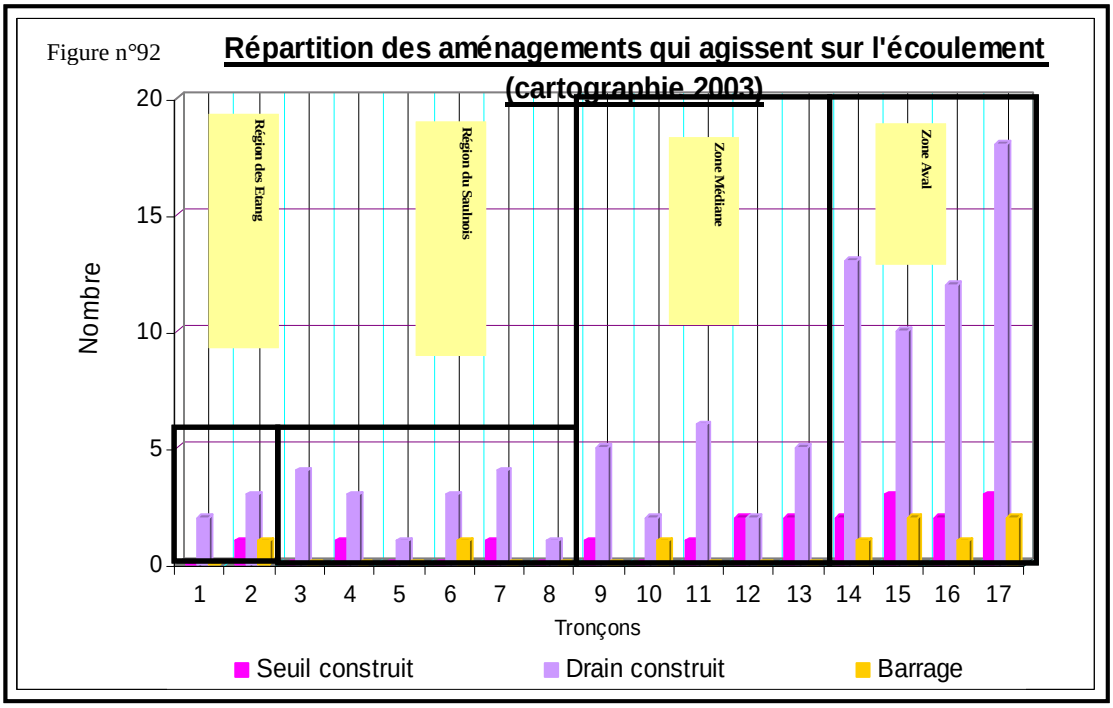
Photo n°39: Exemple de branches baignant dans l'eau au niveau d'Aulnois-sur-Seille (partie médiane)

Toutes ces actions d'aménagements font partie du paysage fluvial actuel et agissent sur le fonctionnement du cours d'eau.

2- Répartition de ces actions anthropiques

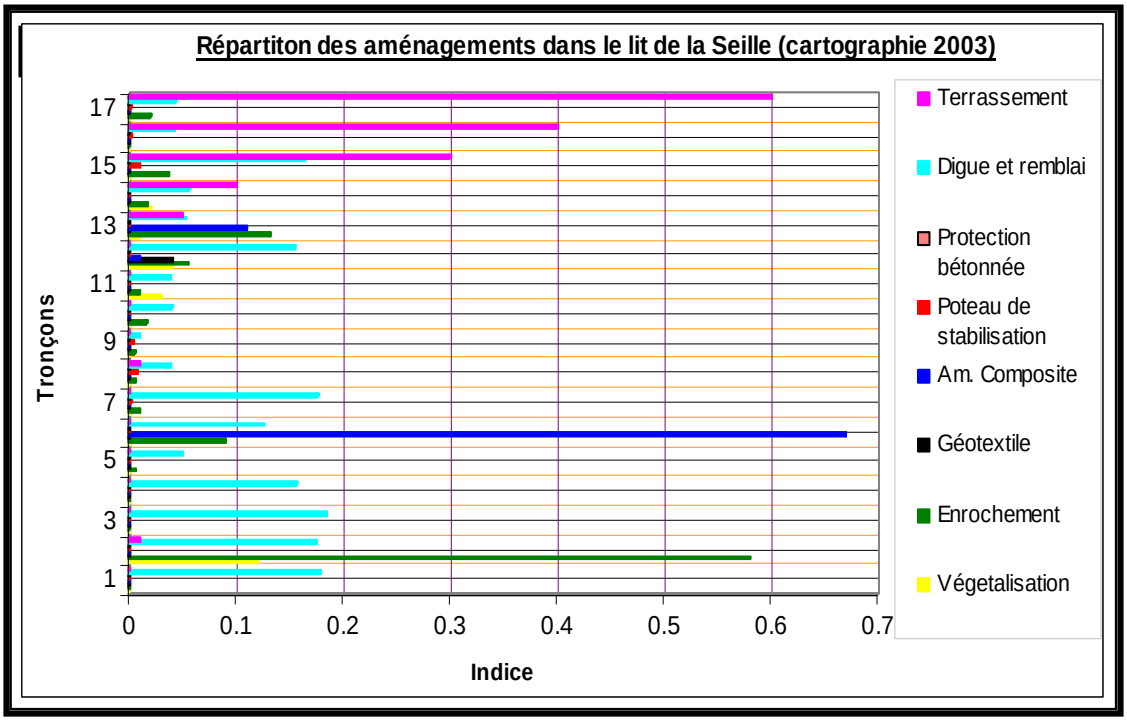
Les réalisations précédentes sont présentes tout au long de la Seille, mais on peut noter quelques différences spatiales selon leur nature et leur fréquence par tronçon. Le graphique n°92 montre une grande concentration des actions d'aménagement qui agissent sur l'écoulement à l'aval de la Seille. Ceci est dû à la forme du chenal (23 m de large), à l'importance des volumes écoulés (en moyenne 9 m³/s) et à l'existence d'implantations humaines (ville de Metz). Pour une meilleure analyse de ces données quantitatives, nous avons procédé à la mesure de la longueur des endroits occupés par ces aménagements pour chaque tronçon. On a additionné toutes les longueurs occupées par chaque type d'aménagement pour les diviser par la longueur totale du tronçon (figure n°92). On obtient alors un indice comparable entre les tronçons. La figure n°92 représente la part des aménagements réalisés dans chaque tronçon. On constate que seuls les digues et les

Figure n°92



enrochements apparaissent tout au long du cours d'eau, mais en densité variable entre tronçons.

* La partie amont, qui regroupe les zones 1 et 2, est caractérisée par une grande concentration de digues pour lutter contre les débordements fréquents dans le lit majeur. On trouve aussi quelques aménagements composites localisés au niveau de Marsal et quelques enrochements.



* La partie médiane (zone 3) contient peu d'aménagements, la plupart d'entre eux étant dévolus à la protection des berges (protections bétonnées, poteaux de stabilisation, géotextile, enrochements, végétation arborée). La rareté de ces actions d'aménagement est dictée par le tracé sinueux, le lit majeur étroit et la présence des prairies (faible enjeu).

* La partie aval se caractérise par une grande concentration des actions anthropiques contemporaines car le risque d'inondation est un enjeu décisif (la ville de Metz est située à l'exutoire du bassin). Les réalisations comprennent des terrassements de berges, des barrages (pour contrôler les écoulements), des drains construits (pour évacuer l'eau qui déborde), des seuils et quelques digues de protection.

IV- Aménagement et paysage

Deux points essentiels seront abordés ici : les objectifs des aménagements et les modifications du paysage fluvial de la Seille.

1- Objectif des actions anthropiques

Le croisement des informations relatives aux interventions anthropiques historiques et récentes a permis de définir les grandes thématiques des chantiers de modification du lit du cours d'eau. Globalement, les raisons de l'anthropisation de la Seille sont de six ordres :

*** Les actions d'aménagement qui ont pour but de faciliter la navigation : la Seille a été la voie d'eau empruntée pour le transport du sel exploité dans la région du Saulnois. C'est une des raisons pour laquelle les actions humaines ont été nombreuses (modification du tracé et de la section mouillée du chenal). Aujourd'hui, la Seille garde les traces des grands chantiers de rectification de son tracé.

*** La lutte contre les inondations : l'objectif est de protéger l'agglomération messine. Cette protection se traduit par la réalisation de nombreux projets d'aménagement,

l'agrandissement de la section mouillée, la construction de seuils ainsi que la réduction de la durée des submersions en secteur agricole.

*** La protection des berges : la dégradation des berges est liée à l'érosion du cours d'eau, surtout pendant la période des hautes eaux, et à l'influence du bétail qui piétine les berges.

*** L'amélioration des conditions d'écoulement : elle consiste à faciliter la circulation dans le chenal principal. Parmi ces actions, on peut citer la construction des seuils, l'enlèvement d'embâcles, le calibrage du lit mineur.

*** L'entretien de la rivière, qui consiste en plusieurs opérations : - Rendre le cours d'eau attrayant et restaurer les qualités paysagères. - Enlever les obstacles qui perturbent la bonne circulation de l'eau. - Nettoyer les abords des ouvrages hydrauliques (les barrages, les seuils, les vannes…). - Abattre et élaguer les arbres qui penchent dans le cours d'eau et qui gênent l'écoulement, surtout pendant la période des hautes eaux.

*** L'amélioration de la qualité d'eau : la Seille souffre de problèmes de pollution qui menacent la vie aquatique. Les gestionnaires de la rivière essayent d'améliorer la qualité de l'eau, en témoignent le nombre de stations d'épuration installées le long de la vallée.

Depuis longtemps, la Seille n'est plus navigable. La plupart des actions actuelles tendent à réduire les risques de débordement, d'érosion et à améliorer la qualité de l'eau et des paysages.

2- Les modifications du paysage :

Les modifications qui ont affecté le paysage au cours du temps peuvent être appréhendées par deux indicateurs : le tracé et l'occupation du sol du lit majeur. Les documents utilisés sont : les plans cadastraux, les cartes topographiques et les photographies aériennes de trois missions : 1967/1968, 1994 et 1999, ainsi que les images satellites de l'année 2003.

a- Evolution du tracé de la Seille

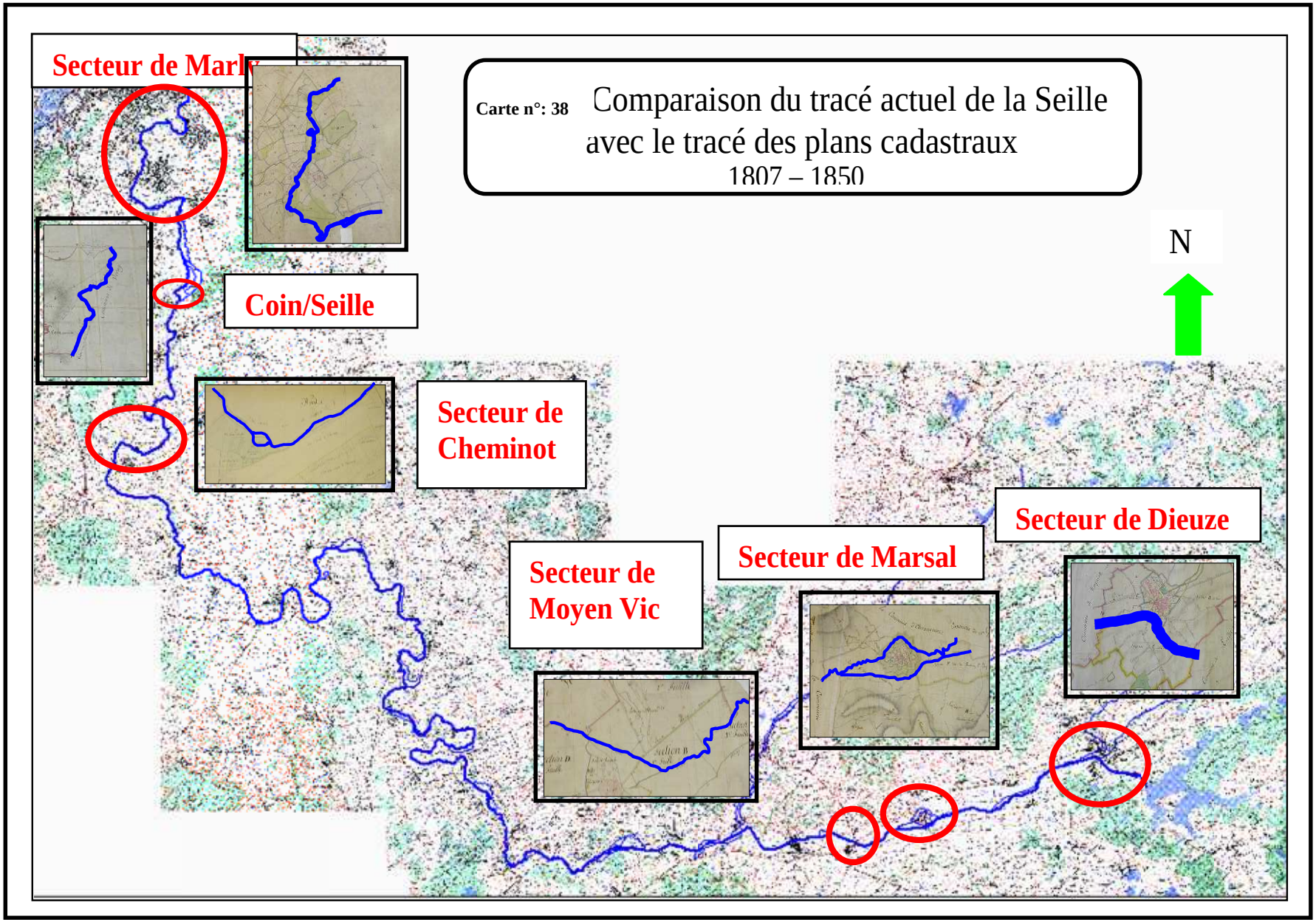
Le tracé de la Seille a connu plusieurs transformations durant l'histoire, comme le montrent les plans cadastraux, les cartes anciennes et les photos aériennes.

1-1 Les plans cadastraux Napoléoniens (1807 - 1850)

Les recherches menées aux archives départementales et dans les communes ont permis de trouver quelques plans cadastraux napoléoniens que nous comparons au tracé actuel. L'objectif principal de cette opération est de déterminer l'évolution du tracé de la Seille depuis 1807 - 1850 (Carte n°38). La confrontation des plans cadastraux napoléoniens avec le tracé actuel fait clairement apparaître une faible modification du tracé depuis la première moitié du XIXème siècle. Quelques exemples soulignent cette faible évolution.

- A l'amont du bassin, les sites de Dieuze, Marsal et Moyen Vic montrent clairement que le tracé de la Seille a peu changé.
- A l'aval, quelques modifications ont affecté le tracé au niveau du secteur de Cheminot et de Marly mais elles restent très faibles.

Cette comparaison montre que les grands chantiers de rectification sont antérieurs aux plans cadastraux.


Secteur de Marly
Carte n°: 38
Comparaison du tracé actuel de la Seille avec le tracé des plans cadastraux
1807 – 1850
N
Coin/Seille
Secteur de Cheminot
Secteur de Moyen Vic
Secteur de Marsal
Secteur de Dieuze

1-2 Les cartes anciennes

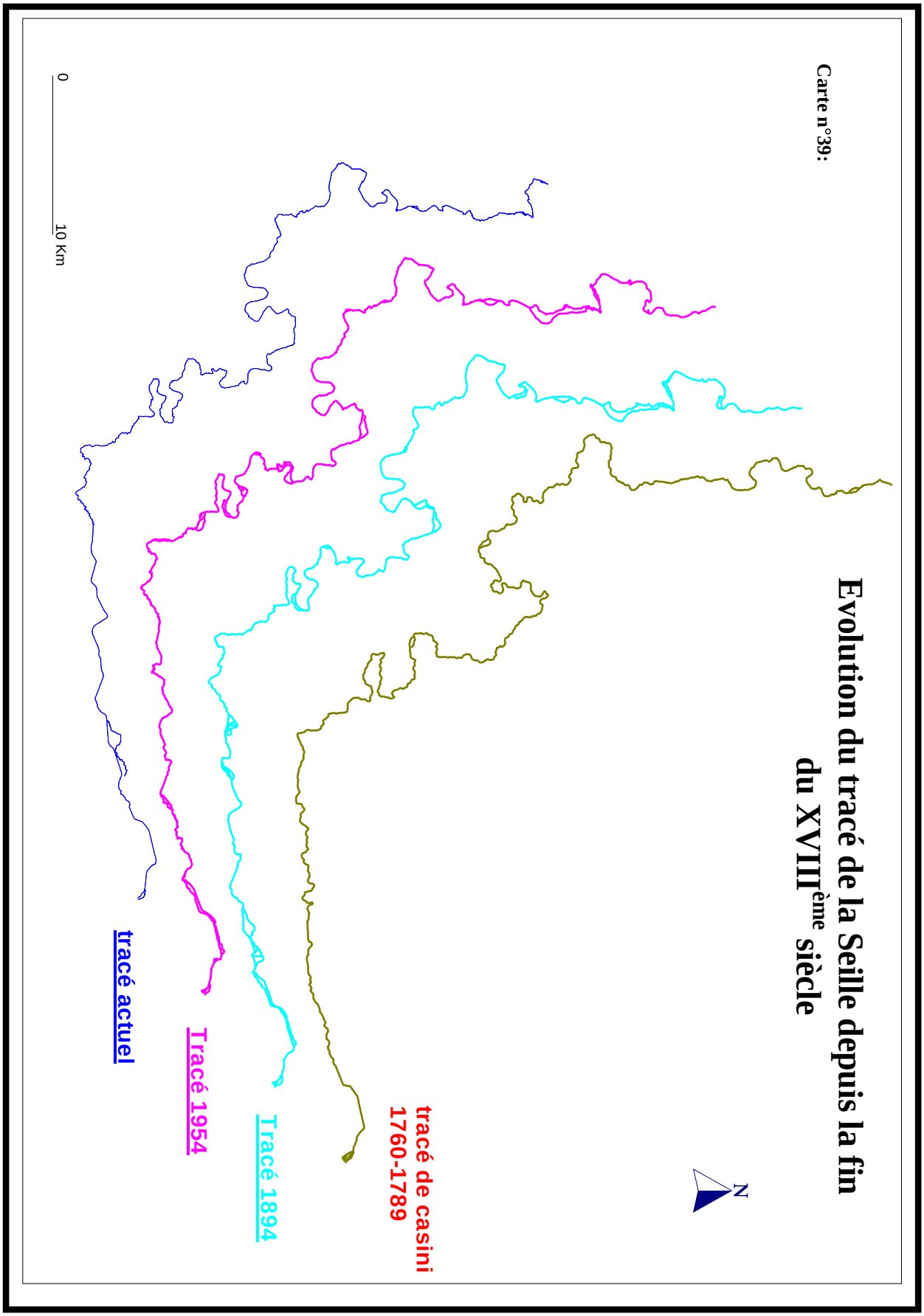
Les documents disponibles ont permis de prendre en considération quatre états successifs de ce tracé (Carte n°39). La plupart des modifications ont été réalisées pour remédier à des problèmes locaux d'écoulement ou pour satisfaire à des usages particuliers. Le suivi de l'évolution historique du tracé de la Seille (carte n°39) montre que le grand chantier de rectification du tracé a eu lieu avant la deuxième moitié du XVIIIème siècle. On constate une faible évolution du tracé, mis à part quelques modifications, par exemple dans la partie médiane (la grande boucle à Aboncourt, Han, Ajoncourt et aussi à Thezy-St Martin, Mailly-sur-Seille et Nomeny). Dans la partie aval, de Sillegny jusqu'à la confluence, nous avons la confirmation que le tracé de la Seille a peu changée. Quant à la partie amont, elle est entièrement modifiée mais les grands chantiers de modification sont très anciens.

- Le tracé hérité au XVIIIème siècle (carte de Cassini) intègre les actions d'aménagements et de rectification antérieures, notamment entre Marsal et Dieuze. Les recherches effectuées avant le XVIIIème siècle ont montré que toutes les interventions dans le cours d'eau répondent à un besoin économique. L'exploitation du sel dans la partie amont de la Seille a poussé les riverains à aménager le cours d'eau : « *les nombreux moulins du cours d'eau de la Seille rendent la navigation délicate. Les magistrats messins et le chapitre de la cathédrale ordonnent, le 7 août 1316, de dégager la rivière jusqu'à Vic* » Schontz, (2004). En 1574, d'autres travaux sont réalisés dans le but d'améliorer l'état du cours d'eau (documents écrits conservés aux archives). Ce n'est qu'en 1629 qu'apparaissent mentions de grandes actions de curage et d'élargissement du chenal. Ces actions sont poursuivies tout au long du XVIIème siècle : le gouverneur de Metz a demandé la suppression des moulins de Marsal et de Chambrey et l'augmentation du niveau d'eau afin de faciliter la navigation. En 1759, une autre action de changement de tracé a été menée dans le secteur de Moyen Vic qui consiste a creuser le chenal pour agrandir le lit de la Seille. « *fait creuser en ligne droite un nouveau lit à la Seille, sur une longueur de 1113 m, il l'éloigne de Moyen - Vic vers l'est et son ancien lit* ».

- En 1894, le tracé de la Seille a peu changé malgré l'accentuation des interventions humaines. La plupart de ces actions ont été tournées vers la lutte contre les inondations avec des actions de curage et d'élargissement du chenal, afin d'agrandir la section mouillée.

- Au XXème siècle (carte de 1954), les interventions dans le cours d'eau sont continues. Durant l'occupation allemande, une partie de la Seille a servi de frontière franco-allemande de 1871-1918. Des documents trouvés aux Archives Départementales font état des actions d'aménagement menées sur la Seille des deux côtés (curage, calibrage, redressement, entretien, …). Après la fin de la Première Guerre mondiale, la Seille a connu de grandes actions de curage et de nettoyage.

En parallèle à ces modifications de tracé, les riverains de la Seille ont changé d'activité en développant l'élevage et l'agriculture après l'exploitation du sel. Ces activités sont rattachées à la stabilité du cours d'eau, surtout que les cultures et les prairies sont proches du lit de la rivière. Mais cette situation a tout de même déterminé des interventions, qui agissent sur la dynamique du cours d'eau : améliorer les conditions d'écoulement et la protection des berges contre l'érosion.


Carte n°39:
Evolution du tracé de la Seille depuis la fin du XVIIIème siècle
0
10 Km
N
tracé actuel
Tracé 1954
Tracé 1894
tracé de casini 1760-1789

- Au cours de l'année 2006, le tracé de la Seille a été modifié : il a subi des actions de rectification visant à la création des méandres. L'objectif principal de ces modifications est la protection des ressources naturelles et la restauration de la diversité biologique, la préservation des essences et des espèces vivantes, l'amélioration des paysages.



Photo n°40: Vue de la Seille avant la rectification du tracé (partie amont de la Seille)



Photo n°41: Rectification du tracé de la Seille (partie amont de la Seille)



Photo n°42: Création des méandres à l'aval de Dieuze (partie amont de la Seille)

Source : Agence de l'eau 2006

b- Les transformations dans le lit majeur

Comme on l'a vu auparavant, au cours de l'histoire, les riverains de la vallée de la Seille ont changé leur activité, de l'exploitation du sel vers l'agriculture et l'élevage. Ce changement économique a conduit à la mise en place d'un nouveau mode d'occupation du sol qui détermine des enjeux associés à ces terres en bordure du cours d'eau : secteur urbanisé, terres labourées, terres en herbe. A partir des photos aériennes de trois missions 1967/1968, 1994 et 1999 ainsi que des images satellites de 2003, nous avons réalisé une cartographie du lit majeur (cartes n°39, 40 et 41). Elle comporte les principaux changements de l'occupation du sol dans la vallée de la Seille à partir de quatre critères :

- Transformations des prairies en terres labourées.
- Transformations des terres labourées en prairies.
- Développement des espaces boisés.

- Extension des espaces construits.

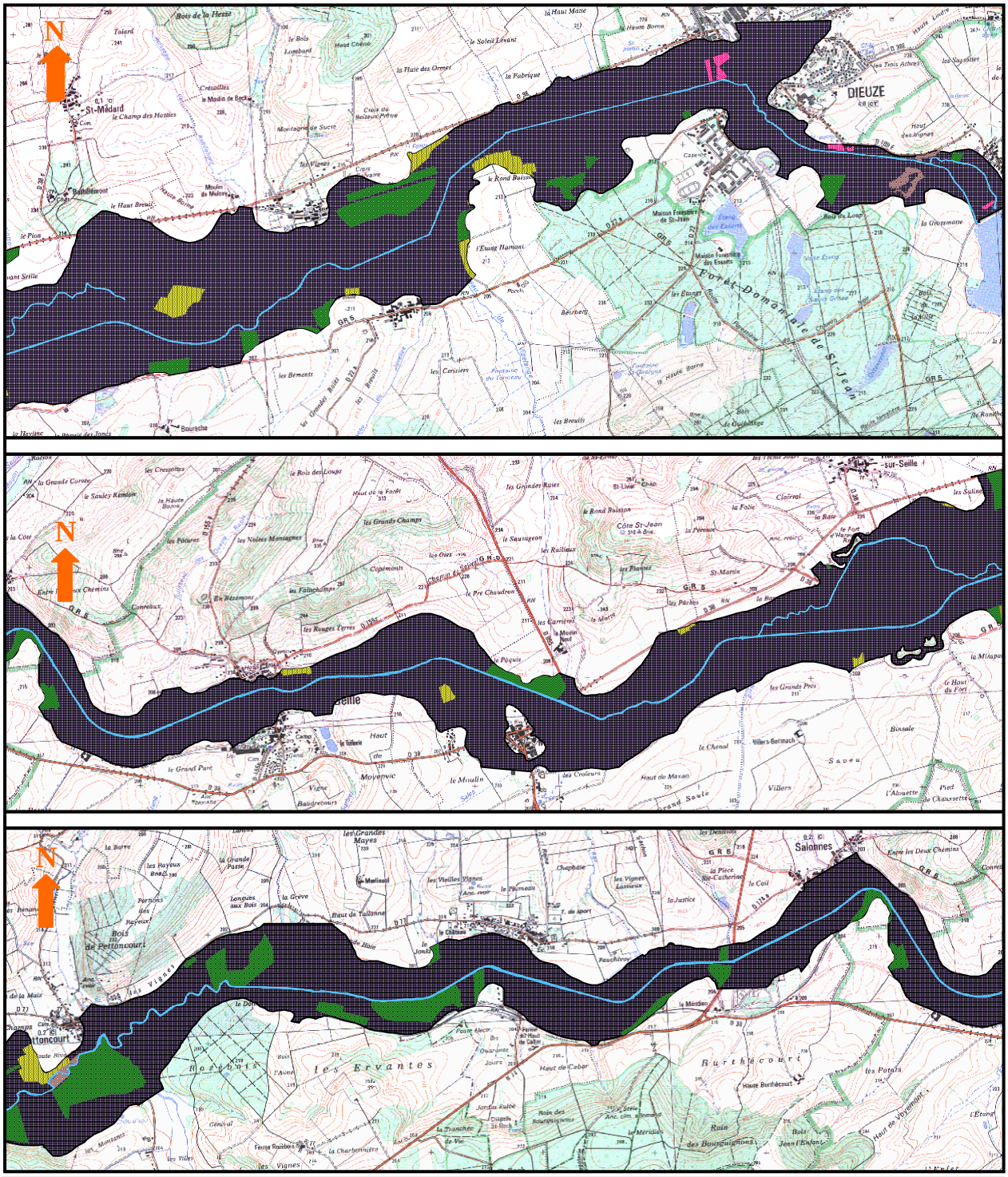
Les résultats obtenus montrent une transformation mitigée de l'occupation du sol avec une différence entre amont, milieu et aval de la Seille. L'étude de quelques portions du cours d'eau doit permettre de déterminer les principaux changements qui ont affecté la vallée de la Seille dans les trois zones.

1-1 Dans la partie amont, l'occupation du sol a peu changé

Dans la partie amont (régions des Etangs et du Saulnois) (carte n°40), la Seille traverse une zone rurale, où l'occupation du sol, qui se partage entre herbages, cultures et secteurs boisés, a été peu modifiée depuis 1967. L'analyse de la carte de l'occupation du sol montre que la transformation des prairies en terres labourées est généralisée dans l'ensemble de cette zone et particulièrement importante à l'aval (Chambrey et Pettoncourt). Le recul des terres labourées au profit des prairies est localisé sur des petites surfaces, surtout au niveau de Mulcey. Le développement des espaces boisés est faible. Les espaces construits sont quasiment inchangés depuis 1967, à part quelques constructions qui apparaissent près de Dieuze.

Dans cette zone amont, la mise en culture de nouvelles terres est liée à l'amélioration du drainage du lit majeur et à la réduction de la fréquence des débordements.

Carte n°40 : Evolution de l'occupation du sol dans la partie amont de la vallée de la Seille entre 1967 et 2003



Légende de l'occupation du sol dans la vallée de la Seille 1967 - 2003

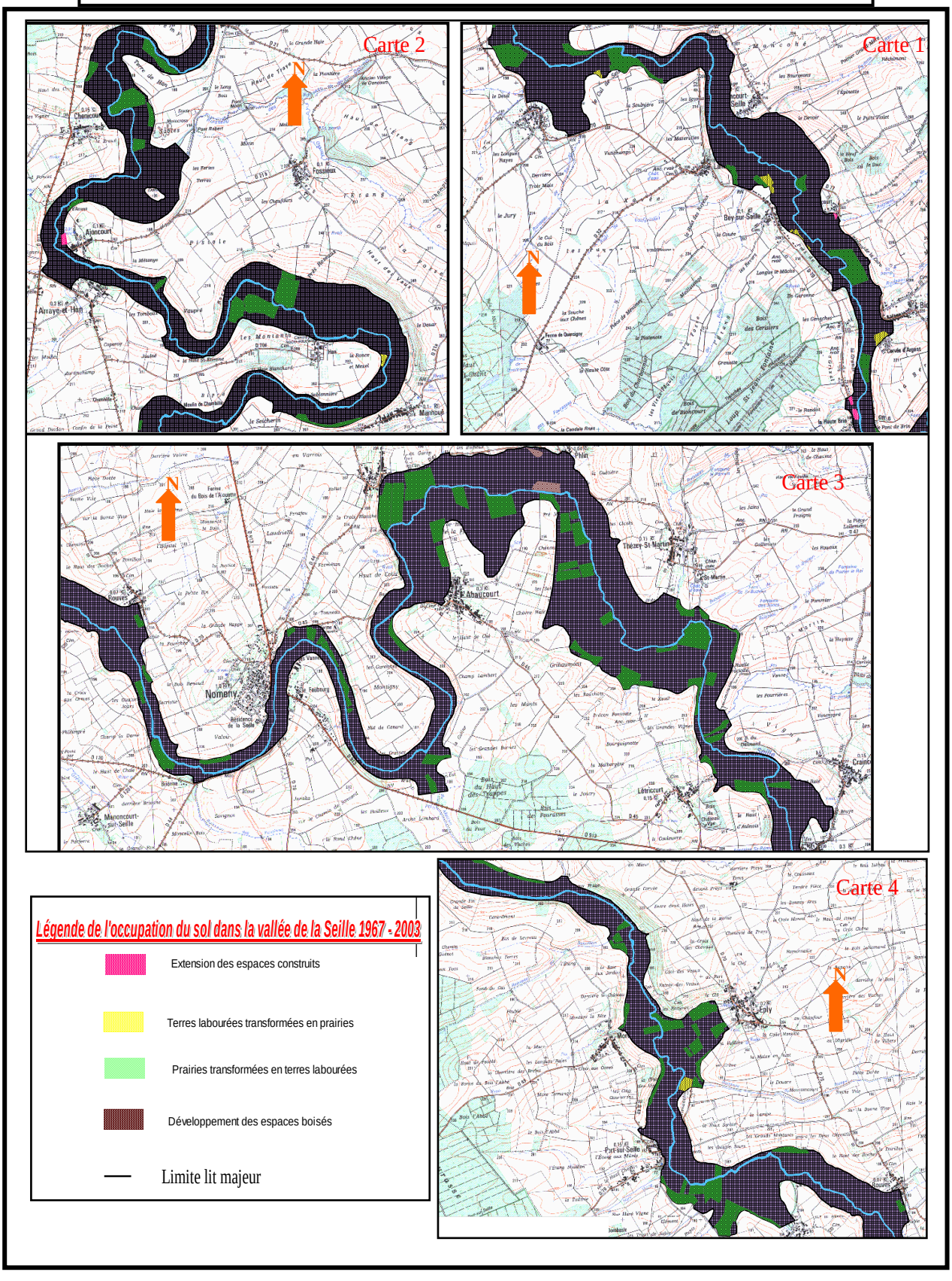
- Extension des espaces construits
- Prairies transformées en terres labourées
- Terres labourées transformées en prairies
- Développement des espaces boisés
- Limite lit majeur

1-2 La partie médiane

Comme l'amont, elle a connu des changements modérés de l'occupation du sol depuis 1967 : transformation des prairies en terres labourées, surtout au niveau de St Martin, Phlin et Mailly-sur-Seille où le lit majeur est très large (plus de 1000 m).

Le reste de la zone est quasi-inchangé depuis 1967 (carte n°41) ; il est occupé par des espaces toujours en herbes et quelques cultures. Le développement des espaces boisés progresse seulement sur le site de Phlin. Les espaces construits connaissent une faible extension (la Haute Brin, Alincourt et Ajoncourt).

Carte n°41 : Evolution de l'occupation du sol dans la partie médiane de la vallée de la Seille entre 1967 et 2003



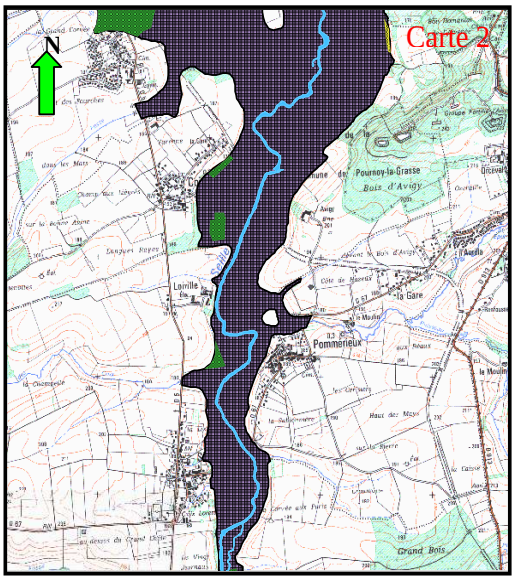
1-3 Progression des zones urbaines dans la partie aval de la Seille

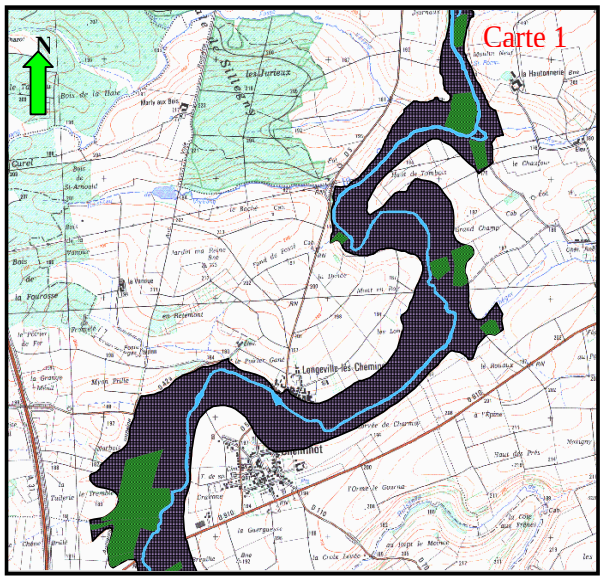
Dans cette zone aval (carte n°42), l'occupation du sol a connu durant ces 36 dernières années une évolution significative qui se traduit par une extension des espaces construits et une transformation des prairies en cultures. Ces principaux changements de l'occupation du sol sont perçus à l'aval, au niveau de Marly et Cuvry. L'extension urbaine est due à la croissance démographique d'une part et à sa localisation en zone périurbaine de Metz d'autre part.

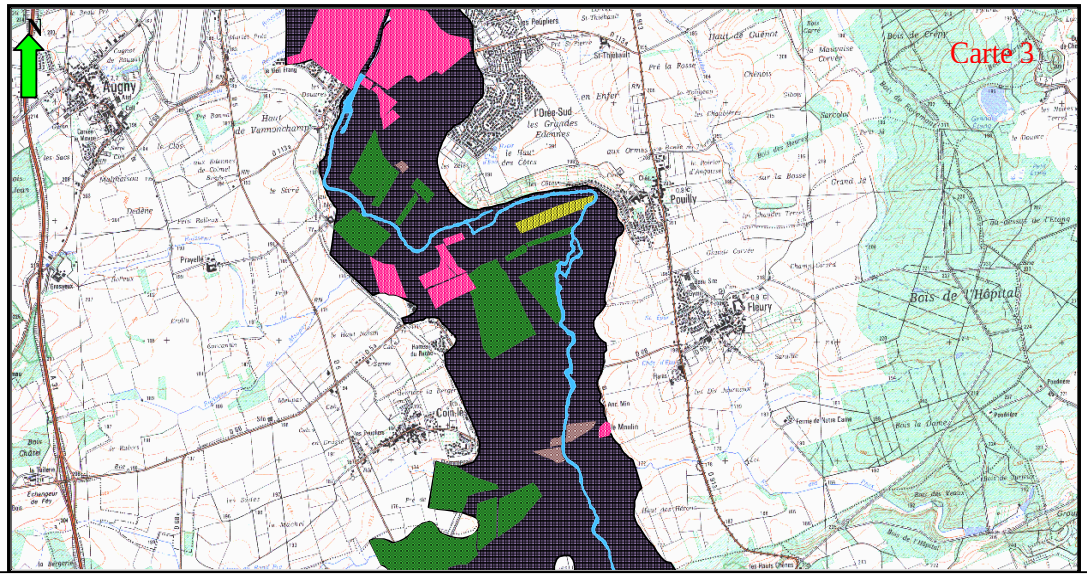
Beaucoup de nouvelles constructions s'étendent en zones inondables, ce qui s'accompagne d'importants aménagements, dans le lit mineur comme dans le lit majeur.

Au terme de cette analyse, il apparaît que la vallée de la Seille se caractérise par une faible mutation de l'occupation du sol pour les 36 dernières années ce qui peut s'expliquer par les incidences hydrologiques (les débordements) et la variabilité des degrés d'anthropisation dans la vallée.

Carte n°42: Evolution de l'occupation du sol dans la partie aval de la vallée de la Seille 1967 et 2003







Légende de l'occupation du sol dans la vallée de la Seille 1967 - 2003

- Prairies transformées en terres labourées
- Développement des espaces boisés
- Extension des espaces construits
- Terres labourées transformées en prairies

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes données relatives aux actions anthropiques menées sur la vallée de la Seille. Le domaine d'étude a subi de nombreuses actions historiques qui se sont poursuivies lors de la période contemporaine. Cependant, les grands chantiers de rectification de la Seille sont plus anciens que les plans cadastraux napoléoniens. La plupart de ces actions ont modifié le lit de la Seille ; ils font aujourd'hui partie du paysage fluvial. Leur objectif est lié à l'exploitation ancienne du sel dans le Saulnois, l'entretien du cours d'eau, la remise en état des berges, la lutte contre les inondations et l'amélioration des conditions d'écoulement.

A présent il est difficile de déterminer précisément les endroits qui sont restés naturels. Au fil du temps, la Seille s'est adaptée à tous ces aménagements.

Conclusion générale de la troisième partie

La connaissance du paysage fluvial de la Seille a permis de découvrir une artificialisation du milieu fluvial à plusieurs échelles. Depuis des siècles, toutes sortes de modifications anthropiques liées aux usages du cours d'eau, à l'exploitation du sel dans la région du Saulnois et à la lutte contre les débordements, ont affecté la rivière. Cette étude des actions anthropiques dans la vallée de la Seille a permis de prendre conscience de l'importance des travaux effectués. L'inventaire historique est basé sur les dépouillements des archives départementales et sur les observations de terrain pour la période récente. Le bilan fait état d'un cours d'eau artificialisé à des degrés divers, où la partie médiane apparaît la moins anthropisée. Sur le plan hydrodynamique, toutes ces actions anthropiques s'expriment par trois modes de fonctionnements qui correspondent aux trois parties qui composent le paysage fluvial :

- Dans la partie amont, le fonctionnement hydrogéomorphologique est sous influence des actions anthropiques anciennes. Le processus dynamique est très lent à cause des faibles débits. Cela, se traduit par une relative stabilité révélée par les morphologies fluviales de type berges sapées à la base, affaissements et quelques encoches d'érosion. Le lit majeur contient les marques d'une forte circulation d'eau ancienne et récente.
- Dans la partie médiane, les morphologies fluviales sont marquées et se traduisent par une évolution moyenne très influencée par le bétail qui piétine les berges. Le lit majeur est moins marqué par les formes de circulations superficielles. Les échanges entre les lits mineurs et majeurs sont très limités ; ils s'activent lors des grosses crues, comme en témoignent les chenaux de crue.
- Dans la partie aval, le fonctionnement hydrodynamique se caractérise par des morphologies fluviales bien marquées (des berges entièrement sapées, des glissements de terrains et des encoches d'érosion) malgré la présence des divers aménagements. La circulation dans le lit majeur reste aussi très active, soulignée par un réseau de chenaux de crue.

A présent, les questions qui se posent sont : quelles seront les impacts de ces actions anthropiques sur le fonctionnement de la rivière ? Comment le cours d'eau va réagir à ces actions anthropiques ? Et quelle est la dynamique paysagère en fonction de ces modifications anthropiques ?

Introduction générale de la quatrième partie

Cette partie présente les paramètres des scénarios de probabilités de l'évolution dynamique de la Seille. Les chapitres précédents avaient pour but de déterminer le fonctionnement hydrologique de la rivière, de faire un état des lieux du paysage fluvial de la Seille et de donner un bref aperçu des mutations de ce paysage. A présent, nous présentons une synthèse de ces données.

Cette étude a pour objectif d'analyser le fonctionnement d'un cours d'eau, jusqu'à aujourd'hui réputé stable, au plan morphodynamique par le biais d'une analyse combinant deux éléments essentiels : l'évolution du lit fluvial et l'impact des aménagements sur le paysage fluvial de la Seille.

* Le premier chapitre : étudié l'évolution transversale du lit mineur. L'approche utilisée est celle de la comparaison de profils en travers, anciens (1976/1985) et récents (2004). Dans ce chapitre on aura l'occasion de présenter une analyse détaillée de quelques sites représentatifs du cours d'eau. Nos appuis seront les données historiques, et les cartes morphologies.

* Le deuxième chapitre : il est consacré à l'impact ces aménagements historiques et contemporains sur la Seille. Nous proposons un modèle mis au point par Rolland-May, (2000) qui n'a été utilisé que sur des thématiques de géographie humaine et que nous avons essayé d'adapter a la géographie physique. Ce modèle permet d'approcher l'impact des aménagements sur le fonctionnement du cours d'eau.

Chapitre7 : Caractéristiques et modification de la Seille par régions et par tronçons

L'instabilité du paysage fluvial est en partie due à la succession et à l'importance des inondations. Au cours des périodes de crues qui durent quelques jours à quelque semaines (*cf*. 2ème partie, chapitre 4), les conditions d'écoulement sont différentes et caractérisées par une turbulence dynamique propice à l'évolution des formes. Par ailleurs, le fond alluvial est largement sollicité par les actions anthropiques qui visent sa stabilité. Il fait l'objet de mesures de protection (berges, chenal principal). Leurs impacts s'expriment par une modification du fonctionnement hydrodynamique. Au cours de ces événements, la Seille développe une forte puissance permettant de modeler ou de remodeler le lit fluvial. D'après Roy et De Serres (1989) les expériences ont montré que le fonctionnement des cours d'eau pendant cette période met en évidence les relations très nettes entre l'écoulement, le transport des sédiments et la morphologie du lit. L'évolution du lit fluvial sera mise en évidence en deux étapes:

** Comparaison de profils transversaux anciens et récents. Les résultats doivent permettre de préciser les modes d'évolution et la vitesse de modification du lit mineur selon les crises hydrologiques et à la nature des actions anthropiques.

** Définition de scénario d'évolution à partir des liens que l'on peut établir entre les caractéristiques hydrauliques et les morphologies fluviales.

I-Détermination des paramètres hydrauliques pour la Seille

L'anthropisation de la Seille ne signifie en aucun cas l'absence de dynamique fluviale dans un cours d'eau du plateau Lorrain, réputé stable. Afin de démontrer qu'il existe une évolution du lit fluvial, nous proposons une comparaison des profils topographiques transversaux, anciens et récents.

1- Les données disponibles

Les profils en travers ont été mesurés par différents organismes dans le cadre des études antérieures se rapportant aux aménagements de la rivière (Diren, 1976 et 1983). Deux séries de mesures sont disponibles :

** Des mesures anciennes :

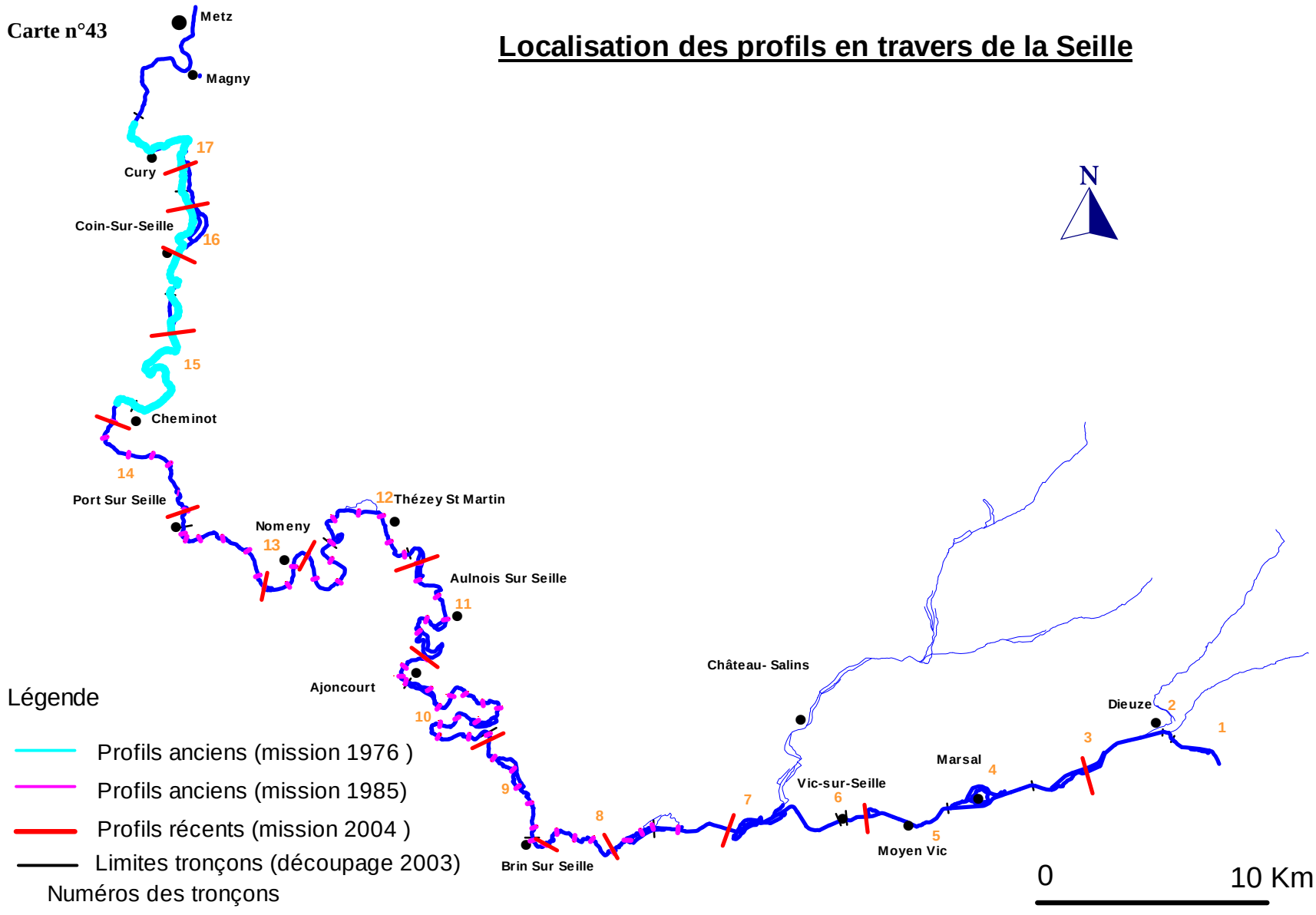
- Les profils de 1976 ont été mesurés à l'aval de Cheminot tous les quelques centaines de mètres (entre 100 à 600 m). On dispose ainsi au total de 295 profils sur une distance de 20 km.

- Les profils de 1985 concernent la partie médiane de la Seille, allant de l'aval de Vic sur Seille à Cheminot. Au total 62 mesures ont été effectuées tous les 500 à 2500 mètres sur 60 km de cours d'eau.

Mais tous les profils anciens n'ont pas été utilisés. Nous avons sélectionné une mesure pour 2000 m environ, compte tenu de la faible variabilité des caractéristiques du lit de la Seille. Ces profils ont été localisés sur la carte n°43. Ils permettent de déterminer la géométrie du lit mineur et sa variation de l'amont vers l'aval.

Carte n°43

Localisation des profils en travers de la Seille

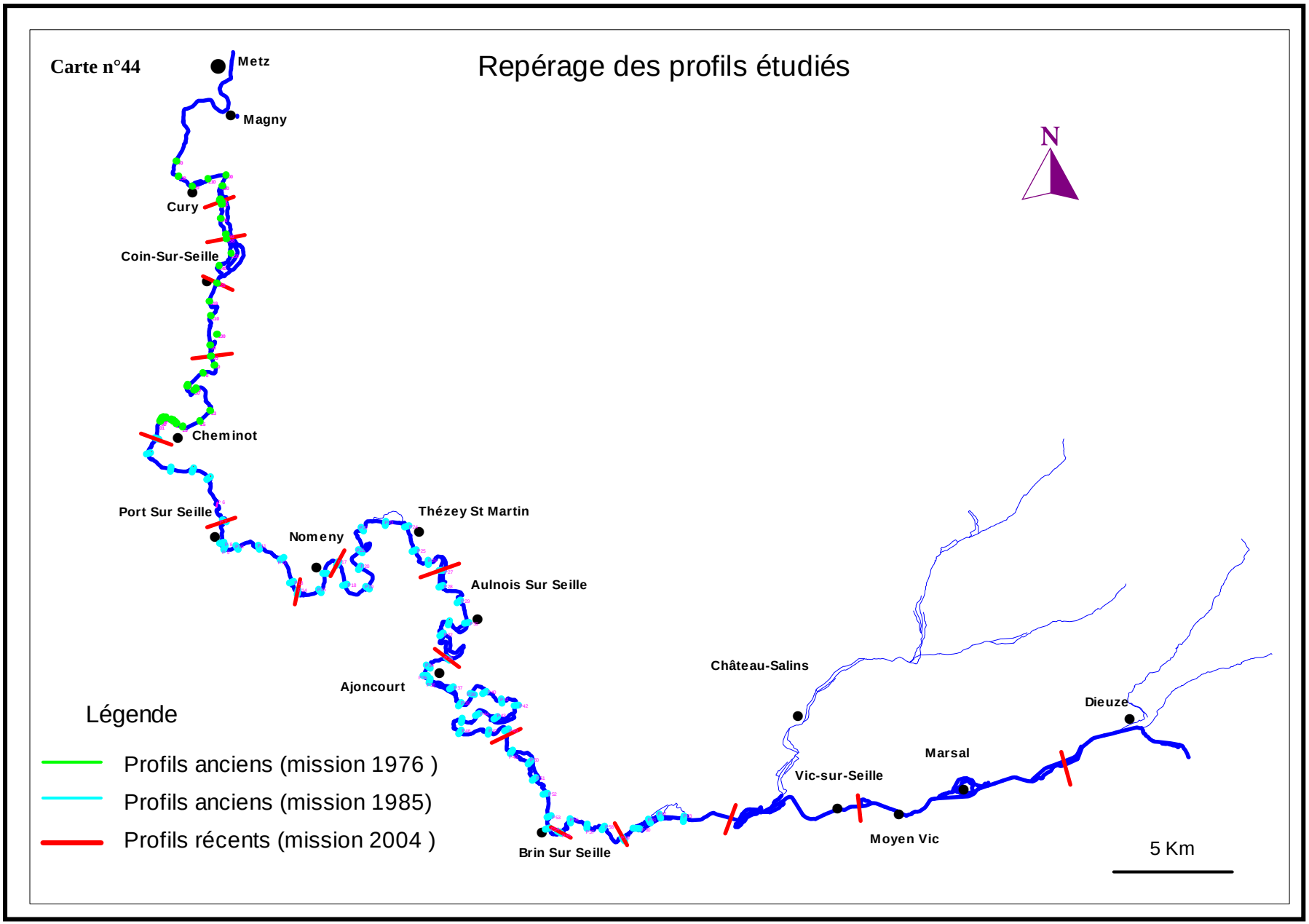


** Des mesures récentes :

17 mesures ont été réalisées en 2004 dans le cadre de cette recherche. Elles sont localisées sur tout le cours de la Seille en des sites contrôlés antérieurement et présentant un intérêt spécifique :

- tronçons aménagés historiquement avec un tracé rectiligne et des berges basses (profils 1, 2 et 3 à l'amont du bassin).
- tronçons non aménagés avec un tracé sinueux et un lit mineur étroit (profils 4, 5, 6, 7 et 8)
- secteurs protégés situés dans une grande courbure à l'entrée et à la sortie de Nomeny (profils 9, 10 et 11).
- tronçons très aménagés récemment avec des berges bien fixées et un chenal très large qui dépasse les 20 m (profils 12, 13, 14, 15 et 16).

Les mesures anciennes permettent d'évaluer un certain nombre de caractéristiques géométriques, pentes et sections mouillées et de déterminer ainsi un calibre du lit de la Seille. Ultérieurement elles seront comparées aux mesures récentes afin de faire apparaître des modifications traduisant la dynamique fluviale du cours d'eau. Enfin les paramètres hydrauliques serviront à établir le lien avec les morphologies fluviales.

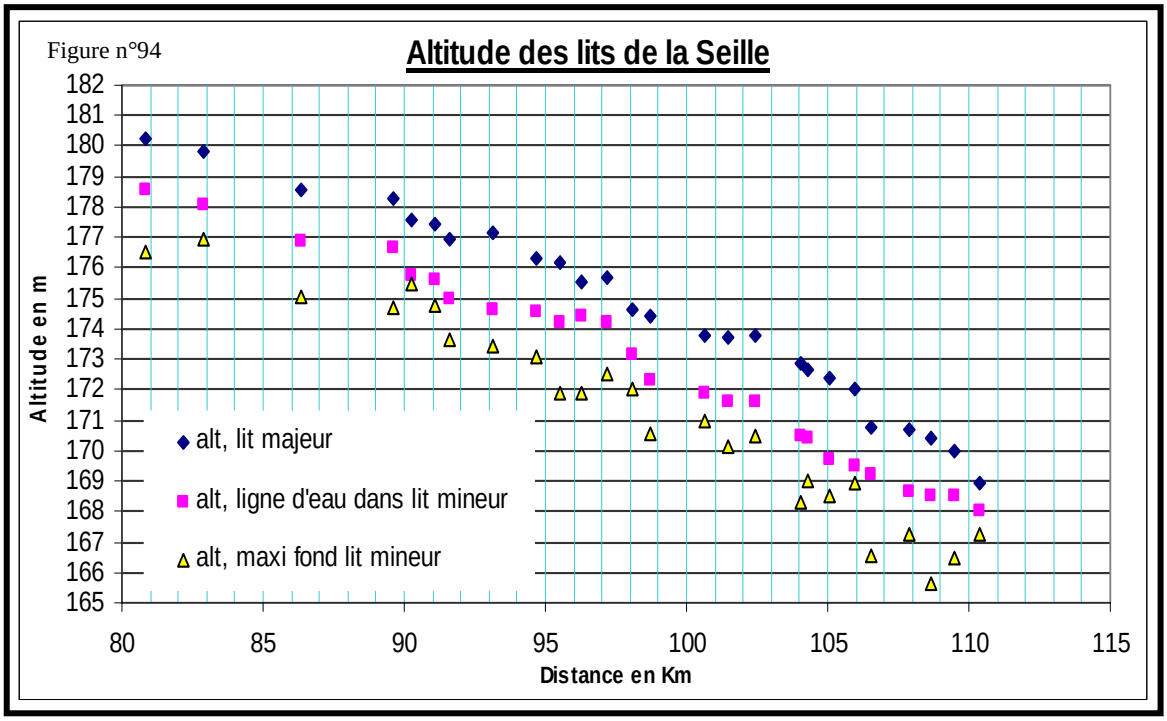

Carte n°44
Repérage des profils étudiés
N
Metz
Magny
Cury
Coin-Sur-Seille
Cheminot
Port Sur Seille
Nomeny
Thézey St Martin
Aulnois Sur Seille
Ajoncourt
Brin Sur Seille
Château-Salins
Vic-sur-Seille
Moyen Vic
Marsal
Dieuze
Légende
Profils anciens (mission 1976)
Profils anciens (mission 1985)
Profils récents (mission 2004)
5 Km

2- Etat antérieur du lit de la Seille (à partir des profils de 1976 et 1985)

a- Les pentes :

Altitudes et distances à la source (à partir de la sortie du Lindre) permettent de mesurer. - la pente du lit avant débordement à partir de l'altitude du haut de berge, ceci revient à calculer une inclinaison du lit majeur le long du chenal d'écoulement. - la pente de la ligne d'eau au moment des mesures. - la pente du fond du lit. La figure n°94 présente pentes longitudinales de la Seille.

Figure n°94



Globalement les différentes inclinaisons sont parallèles avec une pente moyenne de 0,35 ‰. Mais dans le détail, l'inclinaison est variée :

- La pente du lit majeur peut être décomposée en plusieurs tronçons dont l'inclinaison varie entre 0.4 et 0.24 ‰. Ces tronçons correspondent globalement à ceux qui ont été délimités à partir de l'étude des morphologies fluviales effectuées dans la partie précédente.

Figure n°95

Seille, pente de la ligne d'eau au moment des mesures

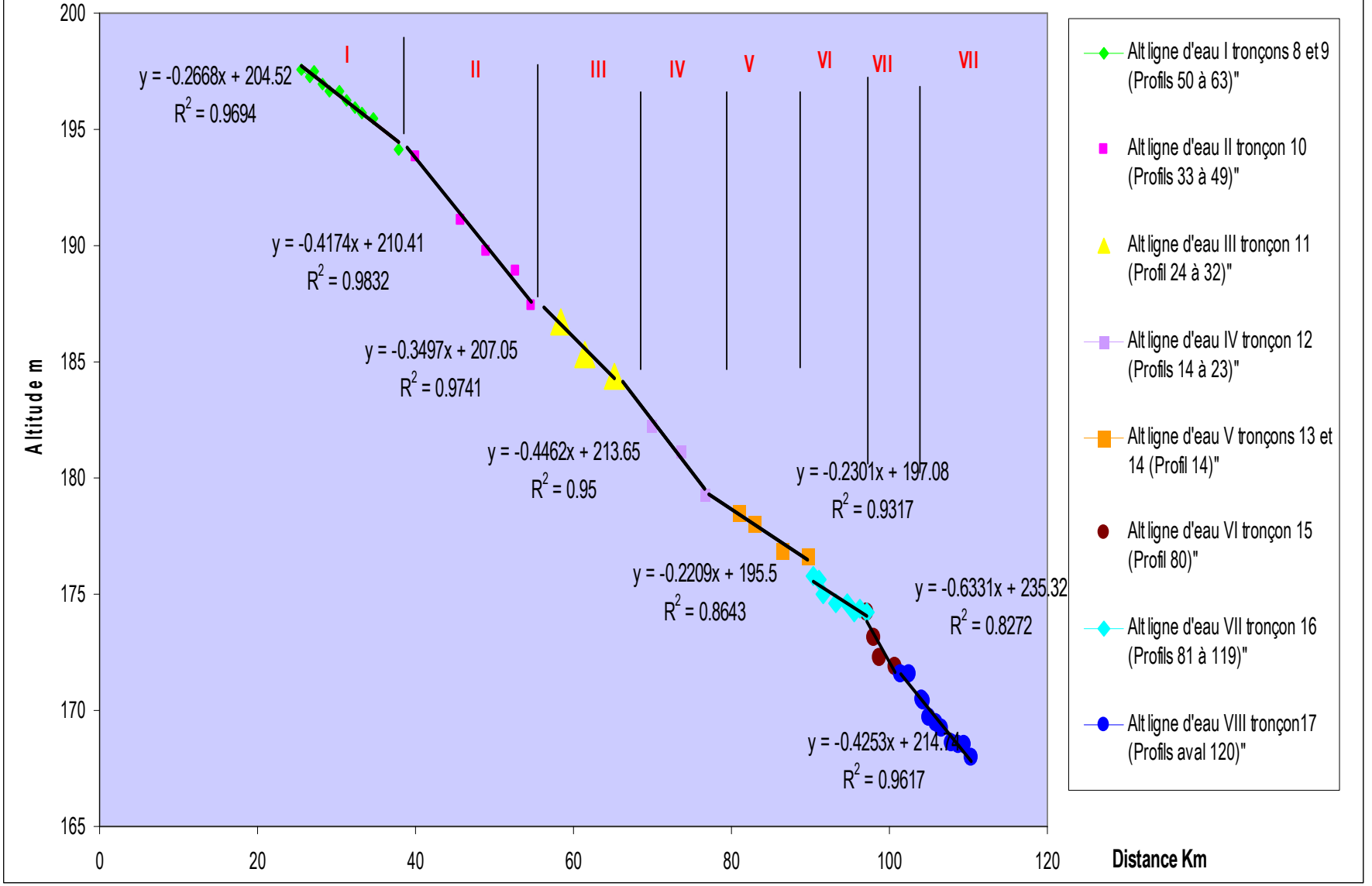


Figure n°96

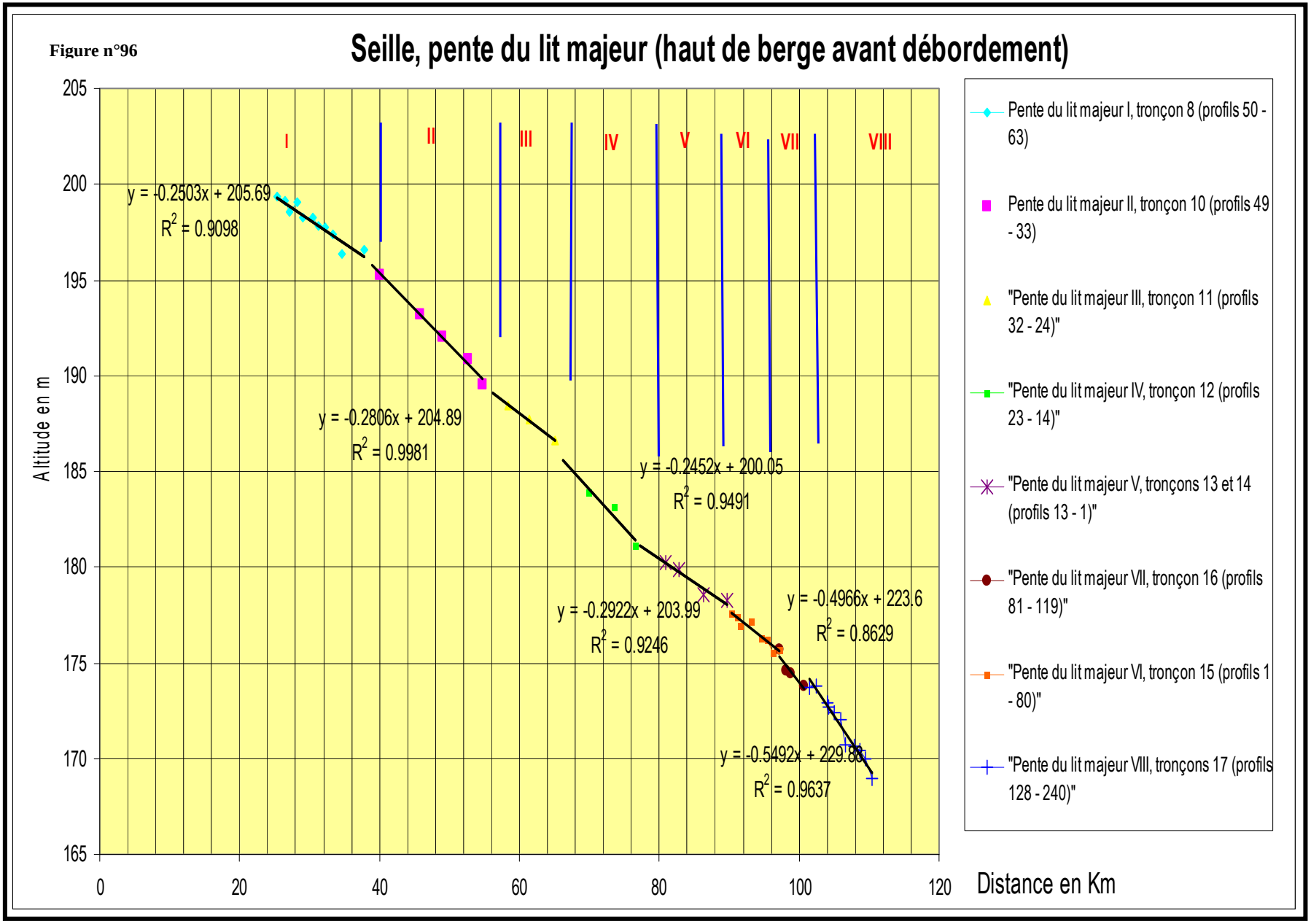

Seille, pente du lit majeur (haut de berge avant débordement)
Altitude en m
Distance en Km
205
200
195
190
185
180
175
170
165
0
20
40
60
80
100
120
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
y = -0.2503x + 205.69
R2 = 0.9098
y = -0.2806x + 204.89
R2 = 0.9981
y = -0.2452x + 200.05
R2 = 0.9491
y = -0.2922x + 203.99
R2 = 0.9246
y = -0.4966x + 223.6
R2 = 0.8629
y = -0.5492x + 229.86
R2 = 0.9637
Pente du lit majeur I, tronçon 8 (profils 50 - 63)
Pente du lit majeur II, tronçon 10 (profils 49 - 33)
"Pente du lit majeur III, tronçon 11 (profils 32 - 24)"
"Pente du lit majeur IV, tronçon 12 (profils 23 - 14)"
"Pente du lit majeur V, tronçons 13 et 14 (profils 13 - 1)"
"Pente du lit majeur VII, tronçon 16 (profils 81 - 119)"
"Pente du lit majeur VI, tronçon 15 (profils 1 - 80)"
"Pente du lit majeur VIII, tronçons 17 (profils 128 - 240)"

Tableau n°79: Pentes du lit de la Seille par tronçons

Tronçon (tronçon dynamique fluviale)	Numéros des profils	Pente haut des berges en ‰	Pente de la ligne d'eau en ‰
I (tronçons 8 et 9)	63-50	0.25	0.26
II (tronçon 10)	49-33	0.37	0.41
III (tronçon 11)	32-24	0.28	0.35
IV (tronçon 12)	23-14	0.4	0.44
V (tronçons 13 et 14)	14-1	0.24	0.23
VI (tronçon 15)	1-80	0.27	0.18
VII (tronçon 16)	81-119	0.49	0.63
VIII (tronçon 17)	Aval de 120	0.54	0.42

Les différences ne sont pas négligeables. On note en particulier à partir des mesures de 1976, une accélération des pentes en aval de Sillegny. Elle peut être associée à la qualité des mesures ou correspondre à des conditions naturelles : nécessité pour le cours d'eau de rejoindre à Metz le niveau de la Moselle, dont le débit dix fois plus élevé et la pente plus grande, garantissent un enfoncement plus rapide (CEGUM 2000). En répercution, la Seille s'est incisée dans la dépression subséquente de la cuesta de Moselle. Cependant, cela impose d'admettre que cette incision initiée par la Moselle à la fin du Quaternaire n'a pas encore eu le temps de se propager vers l'amont. Là des pentes plus faibles se sont maintenues grâce à l'éloignement de la confluence mais aussi grâce à l'affleurement des strates plus résistantes du Lias inférieur qui consolident le fond de la vallée dans la traversée quasi perpendiculaire de l'anticlinal de Pont à Mousson ; ceci peut constituer un gêne à l'approfondissement du lit.

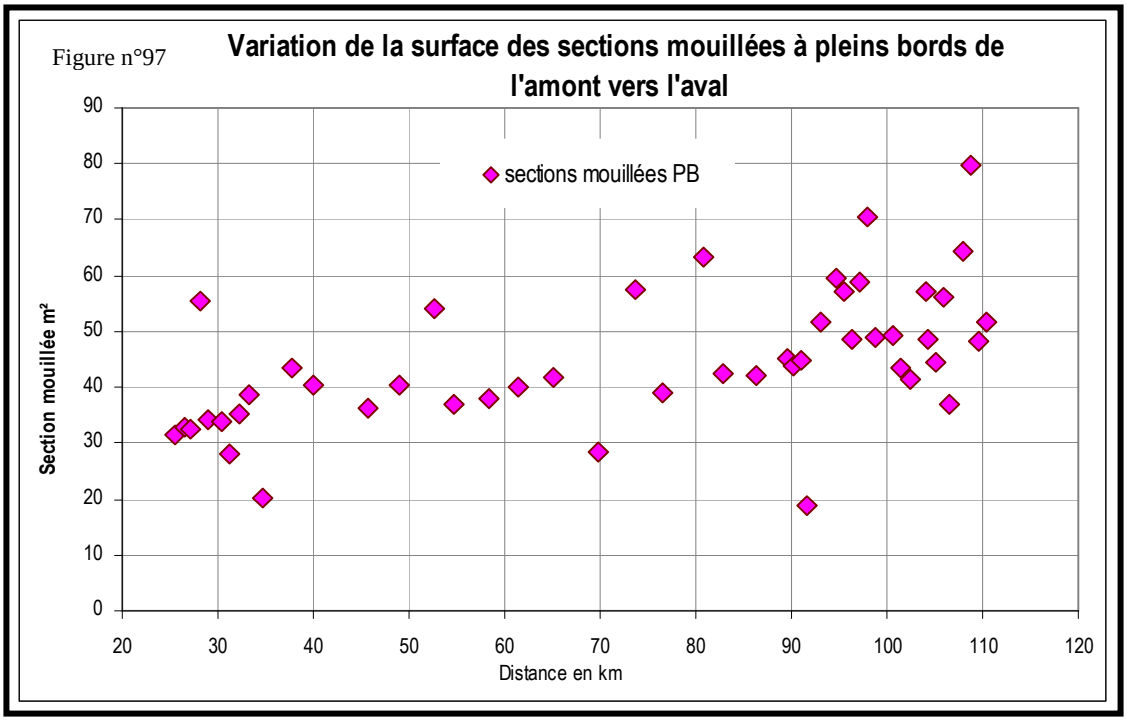
Les pentes plus élevées à l'aval de Sillegny entraînent une accélération de la vitesse du courant, en particulier en crue. Logiquement, les aménagements effectués auraient pu les atténuer pour réduire la vitesse de propagation de crues aux abords de la confluence de la Seille avec la Moselle. Cependant à plus grande échelle, l'eau est ralentie par une série de seuils dont on ne perçoit pas les impacts sur les profils réalisés. Enfin, ces pentes agissent sur les résultats du calcul des paramètres hydrauliques ; à pleins bords les vitesses du courant peuvent atteindre pour certaines sections mouillées des vitesses excessives de plusieurs mètres par secondes, ce qui est peu en accord avec les caractéristiques du milieu en particulier l'érosion du lit fluvial. Les valeurs moyennes ne dépassent pas 0,3 ‰ qui ont ainsi été retenues pour la partie aval.

b- <u>Les sections mouillées :</u>

De l'amont vers l'aval, les sections mouillées de la Seille sont de grandes surfaces généralement supérieures à 30 m² (figure n°97). D'une section à l'autre, les variations sont les plus faibles à l'amont de Cheminot. Vers l'aval, on note parfois d'importants contrastes sur de courtes distances. Là, les sections les plus grandes dépassent les 60 m². On peut également s'interroger à propos de ces résultats, influencés par la qualité des mesures (plus grande précision des mesures de l'amont), les conditions naturelles, et les ajustements du lit fluvial aux interventions anthropiques.

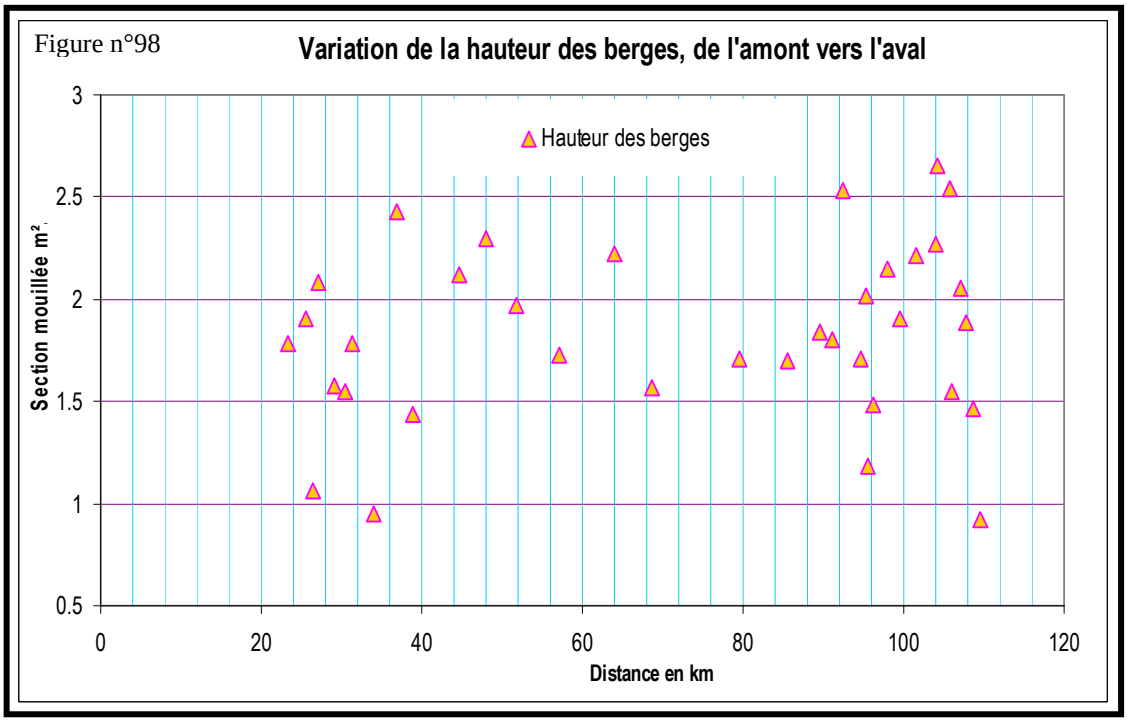
Ainsi les capacités du lit à pleins bords agissent sur les débordements en lit majeur, en lien avec la hauteur des berges avant débordement. Comme le montre la figure n°97, elle est généralement comprise entre 1.5 et 2,5 m (au moment des mesures) et présente d'importantes différences dans la partie aval de la Seille, en partie expliquées par les barrages et seuils qui relèvent la ligne d'eau. Cependant, là où les berges sont les plus basses et les sections mouillées les plus petites, se produisent les débordements les plus fréquents. Cependant pour la Seille, il n'y a pas de corrélation entre ces deux dimensions. Les berges peuvent être basses ou plus hautes en tout endroit de la rivière, selon les morphologies du lit majeur, les aménagements effectués et la précision des mesures.

Figure n°97



Ainsi la variation de la dimension des sections mouillées constitue-t-elle une donnée peu discriminante des caractéristiques du lit fluvial. Cela confirme la grande influence des aménagements du lit effectués depuis l'époque historique. Les formes du lit ne sont pas plus différenciées, comme le montre la superposition de quelques profils en travers sur la figure n 99, 100 et 101.

Figure n°98



A pleins bords, leur forme en trapèze traduit les impacts des actions anthropiques, en particulier ceux du calibrage et du curage du lit. Le fond est le plus souvent plat, large de 5 à 7 m et le lit est profond de 6 à 8m. Pour certaines sections, le trapèze initial a été déformé par l'érosion ultérieure ; surcreusement en fond de lit ou modification de l'inclinaison des berges surtout dans les tronçons sinueux. La figure n°97 donne quelques exemples de formes de

sections mouillées. - Dans le tronçon II les formes sont peu variables, on en déduit que la Seille a gardé sa forme « anthropique » en lien avec une érosion fluviale faible. - Dans les tronçons aval, ces formes plus variables peuvent être mises sur le compte d'un certain ajustement de la rivière, avec déformation du trapèze « anthropique ». Cela est cohérent avec l'augmentation des débits, et surtout l'accélération des vitesses d'écoulement en lien avec des pentes longitudinales plus marquées. Ces conditions agissent sur l'érosion comme le montre d'ailleurs la comparaison des profils anciens aux mesures récentes effectuées en 2004.

Figure n°99: Forme du lit dans la partie amont de la Seille, tronçon II (profils 33 à 48, mesures 1985)

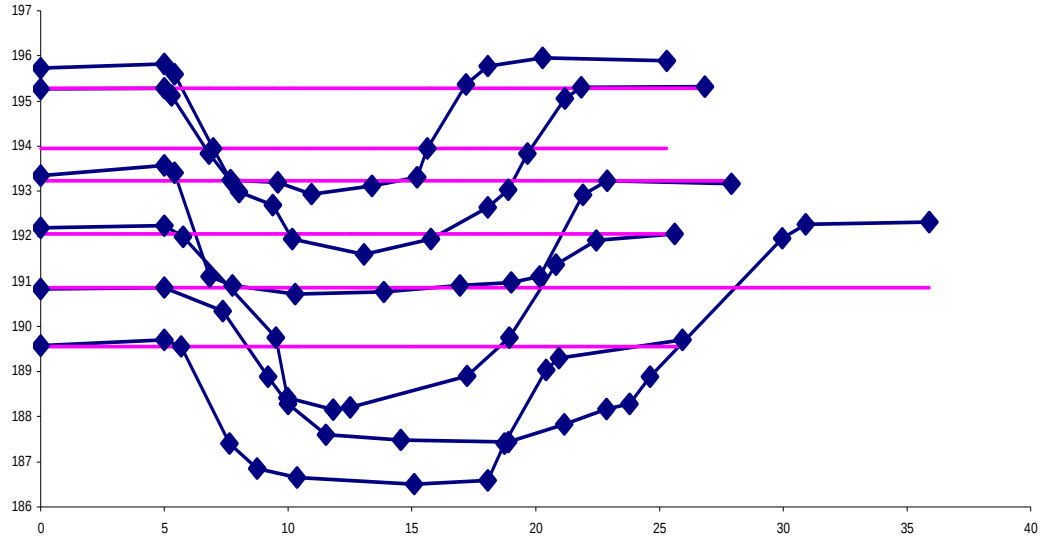


Figure n°100: Forme du lit dans la partie médiane de la Seille, tronçon V (profils 1 à 10, mesures 1985)

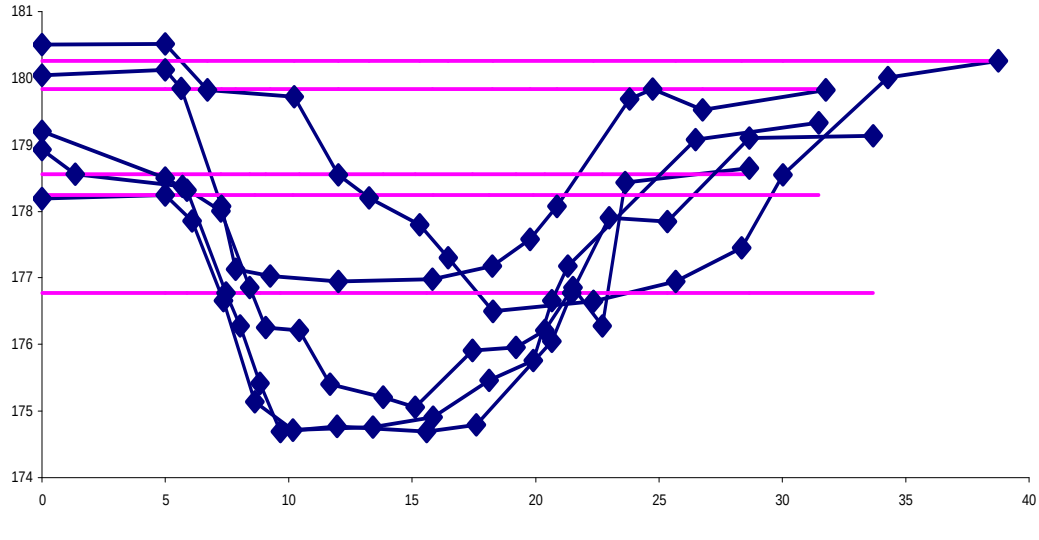
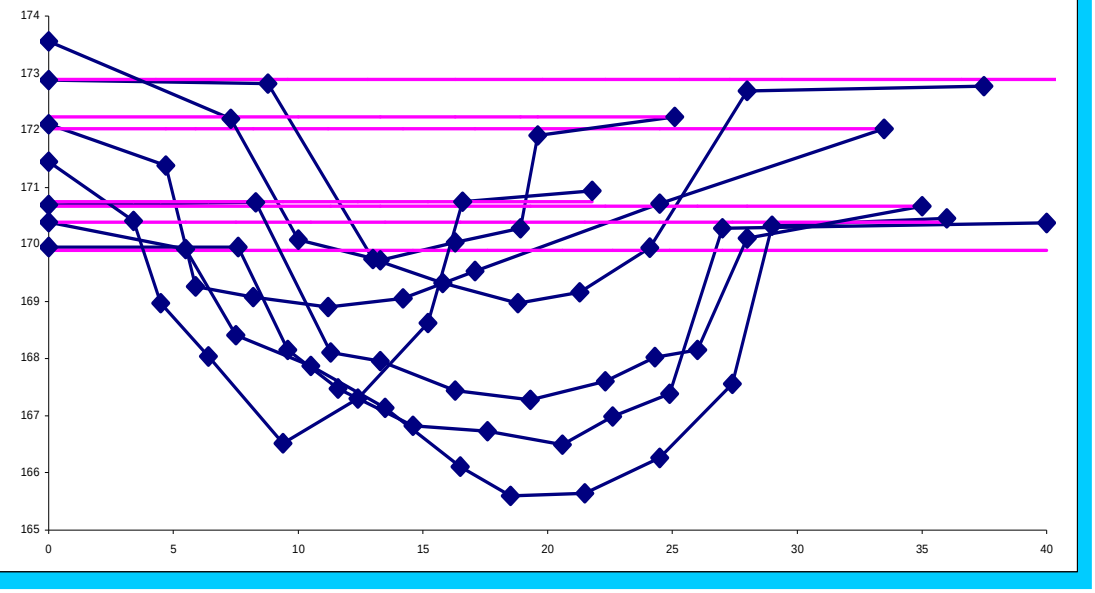


Figure n°101: Forme du lit dans la partie aval de la Seille, tronçon VIII (profils 190 à 240, mesures 1976)



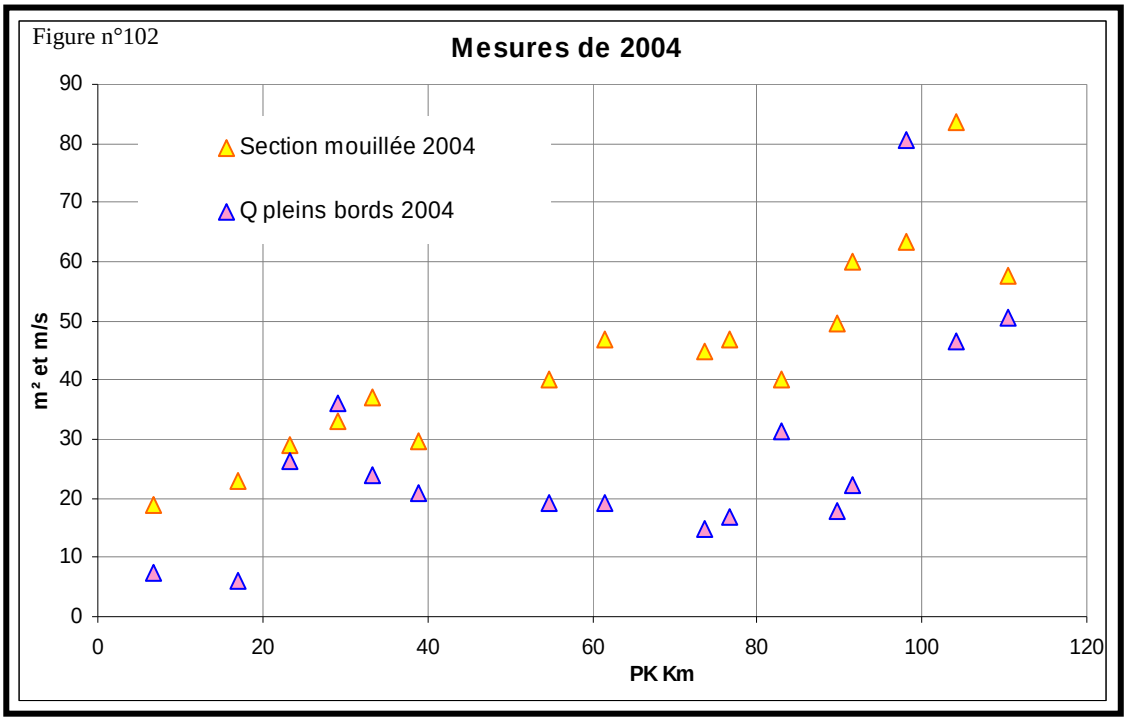
Ainsi l'analyse des profils anciens permet de déterminer le calibre du lit et ses caractéristiques essentielles. On peut retenir que la Seille s'écoule selon des pentes faibles mais qui à l'inverse du schéma habituel s'accroissent vers l'aval, ce qui prédispose à un écoulement accéléré et participe ainsi à l'afflux d'eau à la confluence avec la Moselle où se situe la ville de Metz. On comprend mieux maintenant les actions récentes d'aménagement en particulier après les événements de la fin du XXème siècle (1970, 1979, 1981, 1983, 1988, 1993, 2000 et 2001). L'aval de la Seille est ainsi plus vulnérable par rapport aux inondations que la partie amont. Cette vulnérabilité est encore augmentée par l'extension des zones habitées dans le lit majeur. Mais une partie du danger est résorbée par les sections mouillées très grandes qui contiennent un maximum de débit avant débordement. Il semble assez évident que leurs surfaces soient en rapport avec les calibrages et curages successifs.

Finalement le cours d'eau présente un milieu plutôt homogène. Il est vrai que le drainage du plateau lorrain qui présente des morphologies faiblement contrastées y contribue. Mais cette homogénéité répond également à la demande des riverains qui ont largement aidé par leurs actions à réduire la durée et la fréquence des submersions du lit majeur. Ces conditions sont par ailleurs peu propices à une érosion vive. Ainsi doit-on s'attendre à des vitesses d'ajustement du lit fluvial aux interventions anthropiques très lentes. Les modifications qui en résultent sont l'objet du paragraphe suivant.

3- Comparaison des profils anciens et récents

L'objectif de ce paragraphe de mettre en évidence les modifications du lit intervenues en une vingtaine d'années à partir de la comparaison des sections mouillées de 1976/85 à 2004. D'après la figure n°102 les profils récents font apparaître des contrastes similaires à ceux mis en évidence à partir de profils anciens. Ils sont donc représentatifs des caractéristiques du lit de la rivière mises en évidence dans le paragraphe précédent et peuvent ainsi servir pour le calcul des paramètres hydrauliques.

Figure n°102



La partie aval présente comme antérieurement les sections les plus contrastées. Les conditions naturelles ne peuvent les expliquer. Mais on peut émettre l'hypothèse que cette partie aval du lit de la Seille a pu être composée de plusieurs bras dont la plupart auraient été bouchés ; la comparaison avec les morphologies fluviales permettra de discuter plus loin de cette hypothèse. Les analyses qui précèdent montrent le plus souvent que la Seille ne présente pas une érosion fluviale importante. La superposition des profils anciens et récents indique comment les formes du lit mineur se sont modifiées en 20 à 30 ans.

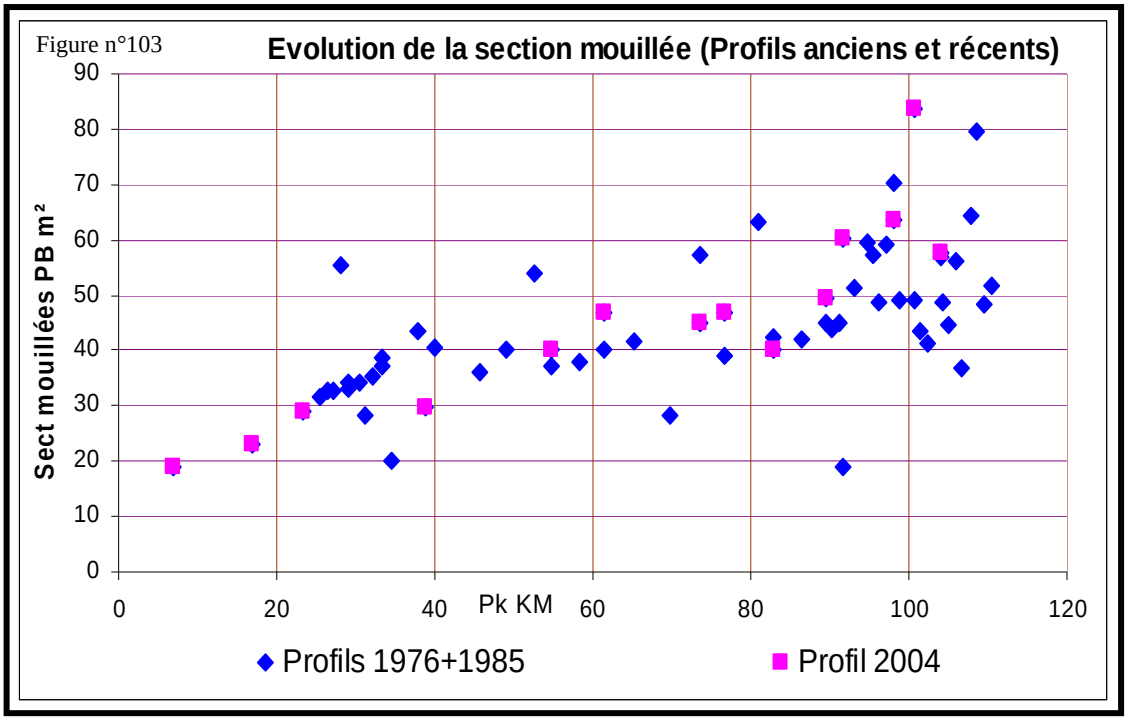
Tableau n°80: Résultats de la campagne des profils en travers réalisé dans la vallée de la Seille

Années	Profils	Section mouillée (m^2)	Profondeur moyenne plein bord (m)	Largeur (m)	Type d'évolution
2004	1	18,85	1,14	16,49	
2004	2	21,921	1,35	16,30	
2004	3	24,29	1,58	15,35	
1985 2004	4	8,13 16,54	0,60 1,25	13,60 13,23	Augmentation de la profondeur et rétrécissement de la largeur
1985 2004	5	12,88 9,42	1,04 0,73	12,43 12,96	Diminution de la profondeur et élargissement du lit
1985 2004	6	18,75 7,24	1,47 0,66	12,75 10,93	Diminution de la profondeur et Rétrécissement du lit
1985 2004	7	8,09 11,70	0,73 1,30	11,10 8,99	Augmentation de la profondeur rétrécissement du lit
1985 2004	8	13,87 11,98	1,13 1,26	12,29 9,49	Augmentation de la profondeur et rétrécissement du lit
1985 2004	9	18,02 12,58	1,31 1,00	13,76 12,64	Diminution de la profondeur et Rétrécissement de la largeur
1985 2004	10	8,60 13,39	0,65 1,19	13,28 11,27	Augmentation de la profondeur et Rétrécissement de la largeur
1985 2004	11	12,71 10,74	0,93 0,60	13,61 17,92	Diminution de la profondeur et Elargissement de la largeur
1985 2004	12	19,90 29,07	1,50 1,86	13,31 15,59	Augmentation de la profondeur et élargissement du lit
1976 2004	13	29,50 35,57	1,41 1,49	20,92 23,85	Augmentation de la profondeur et élargissement du lit
1976 2004	14	12,85 34,02	0,95 1,75	13,51 19,44	Augmentation de la profondeur et élargissement du lit
1976	15	30,63	1,33	23,04	Augmentation de la profondeur et

2004		70,12	2,86	24,53	élargissement du lit
1976		14,51	0,90	16,15	Diminution de la profondeur et
2004	16	34,01	1,74	19,44	Rétrécissement du lit

D'après le tableau précédent on note que : - Les sections aval sont singulièrement plus grandes depuis 1976. Il s'agit bien des recalibrages effectués en particulier après les crues de 1981 et de 1983. La surface de certaines sections a été doublée surtout par l'augmentation de la profondeur du lit. En revanche les contrastes ont été maintenus. Ces caractéristiques agissent sur les paramètres hydrauliques.- En revanche à l'amont les variations sont moindres et on note un rétrécissement général du lit. Plusieurs explications peuvent être évoquées : une imprécision dans la localisation des mesures récentes par rapport aux mesures anciennes, une différence de précision de mesure et enfin un ajustement du lit depuis 1985. Ce secteur amont a été peu touché par les actions récentes surtout depuis les années 90 au cours desquelles sont progressivement prises en considération les conditions écologiques des hydrosystèmes fluviaux. Le rétrécissement du lit ne peut alors être expliqué que par la sédimentation dans le lit et la végétalisation des berges qui piègent les sédiments. Plus en détail, cette évolution est également inscrite dans la forme des sections mouillées.

Figure n°103



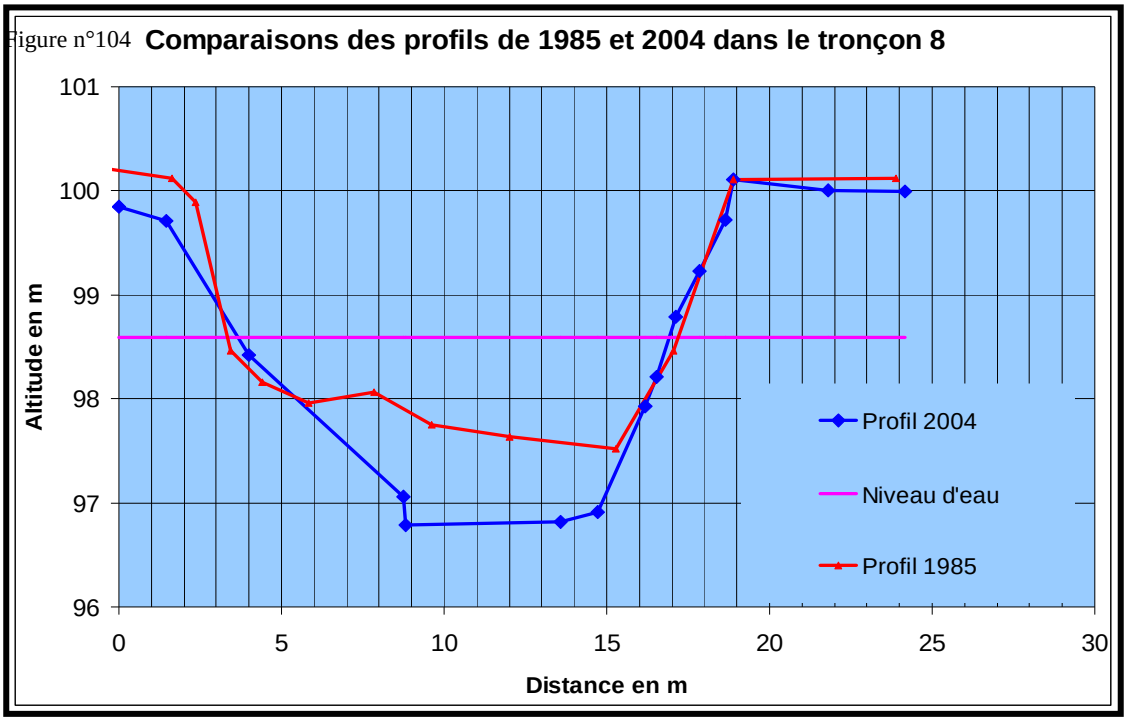
** Dans la partie amont qui correspond à deux zones (régions des Etangs et Saulnois), la dynamique fluviale est largement influencée par les grandes actions de rectification anciennes. Malheureusement, l'absence des profils en travers anciens dans la partie rectiligne du tracé (anciennement aménagé) ne permet pas de déterminer le degré de l'évolution.

Tableau n°81: Evolution du lit dans la partie amont de la Seille

Profils	Tronçons	Evolution de la section mouillée	Evolution de la profondeur	Evolution de la largeur
1	3	-	-	-
2	5	-	-	-
3	7	-	-	-
4	8	+ 8,41	+ 0,65	- 0,37
5	8	- 3,46	- 0,31	+ 0,53

Cependant dans le tronçon sinueux aval, la comparaison des données historiques et récentes montre des variations à mettre sur le compte du tracé et de la protection des berges (figure n°104).

Figure n°104 **Comparaisons des profils de 1985 et 2004 dans le tronçon 8**



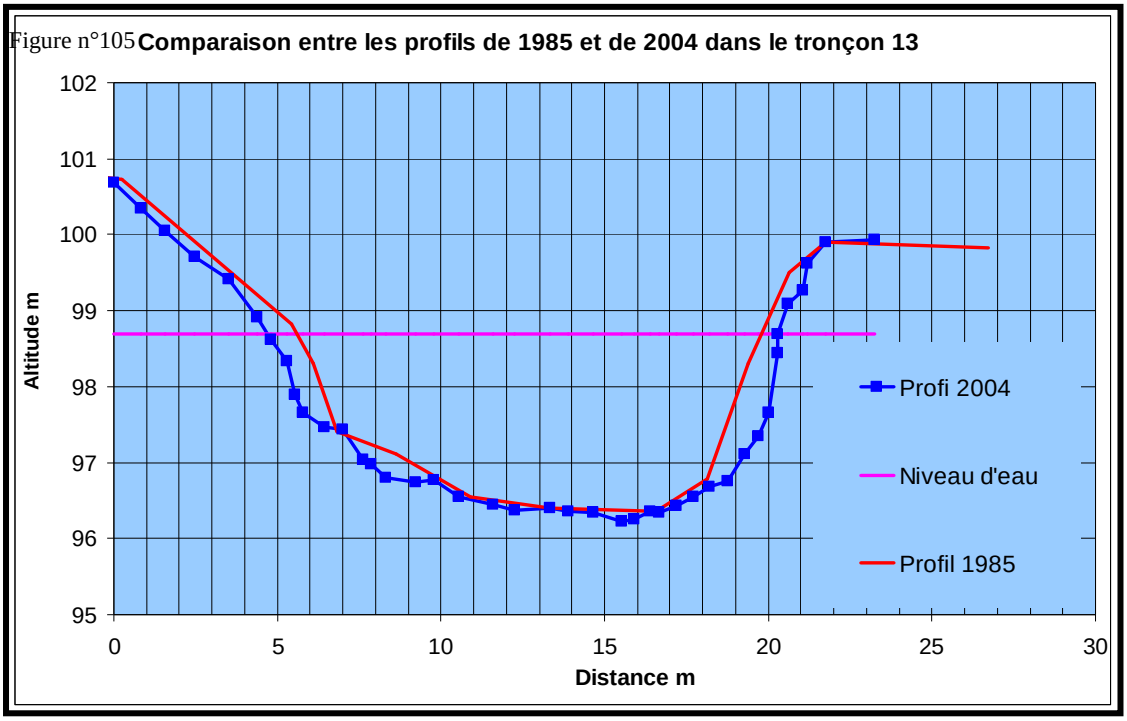
** Dans la partie médiane qui correspond au plateau liasique, les sections se sont plus fortement modifiées.

Tableau n°82: Evolution du lit dans la partie médiane de la Seille

Profils	Tronçons	Evolution de la section mouillée	Evolution de la profondeur	Evolution de la largeur
6	9	-11,52	-0,81	-1,82
7	11	+ 3,61	+ 0,57	-2,11
8	11	- 1,89	+ 0,13	-2,80
9	13	- 5,44	- 0,31	-1,12
10	13	+ 4,79	+ 0,54	- 2,01

Le lit de la Seille est directement surmonté par les versants de la vallée ce qui limite l'évolution latérale du cours d'eau et favorise le creusement avec une augmentation de la profondeur pour 3 profils sur 5.

Figure n°105 **Comparaison entre les profils de 1985 et de 2004 dans le tronçon 13**



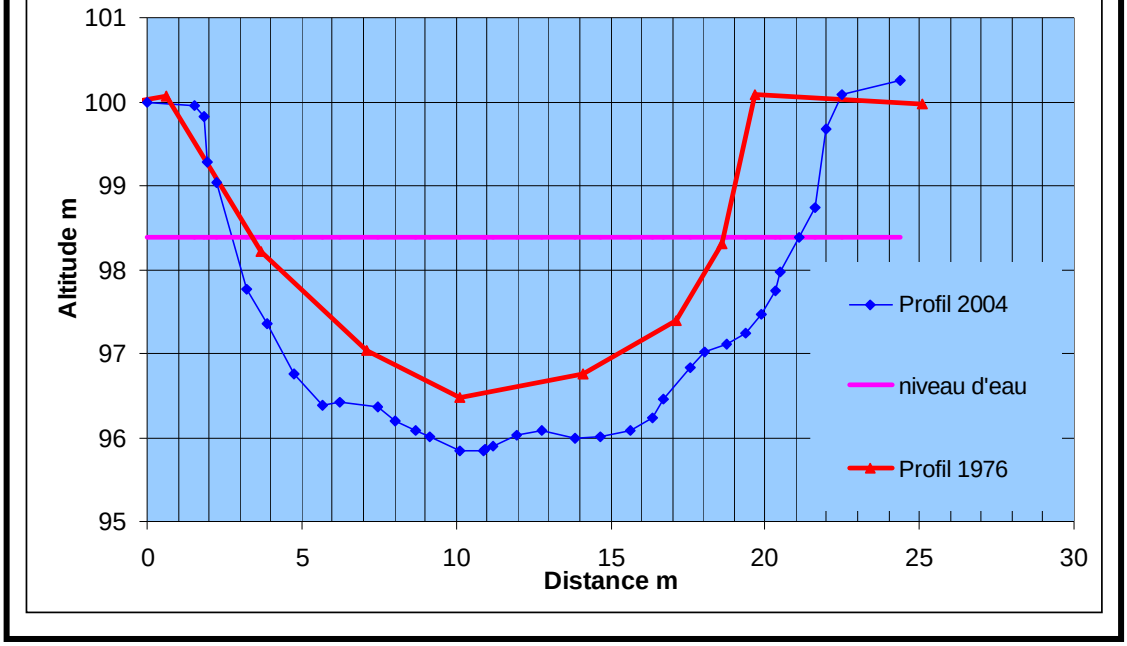
** Plus en aval, dans la traversée de la dépression subséquente liasique, les modifications sont importantes comme cela a déjà été évoqué et comme le confirment les données correspondant aux tronçons 14, 15, et 16 (tableau n°83 et figure n°105).

Tableau n°83: Evolution du lit dans la partie aval de la Seille

Profils	Tronçons	Evolution de la section mouillée	Evolution de la profondeur	Evolution de la largeur
11	14	- 1,98	- 0,33	+ 4,31
12	14	- 3,36	- 0,25	- 0,08
13	15	+ 6,07	+ 0,08	+ 2,93
14	16	+ 21,17	+ 0,80	+ 5,93
15	16	+ 39,48	+ 1,53	+ 1,49
16	17	+ 19,50	+ 0,84	+ 3,29

Finalement à l'exception de quelques profils, les caractéristiques géométriques de la Seille se sont peu modifiées. Les différences les plus grandes dans la forme des sections mouillées sont bien plus liées aux actions anthropiques qu'à l'ajustement de la Seille. La rivière reste ainsi éminemment sous influence anthropique. Cependant, ces caractéristiques agissent sur les conditions de l'écoulement et sur celles de l'érosion fluviale en lien avec les débits. L'écoulement sur la Seille est rarement turbulent à l'exception des situations de crues. L'écoulement turbulent, qui se caractérise par un flux rapide à trajectoires très complexes selon la sinuosité est surtout efficace dans la zone médiane où le tracé irrégulier et la rareté des aménagements favorisent ce mode d'écoulement.

Figure n°106 **Comparaison entre le profil de 1976 et 2004 dans le tronçon 17**



Ce type caractérise également l'aval de la rivière, il est alors associé aux pentes plus marquées. Mais plus généralement, tant dans l'espace que dans le temps, l'écoulement est tranquille ou laminaire. D'après Taous (2005), ce type est caractérisé par un déplacement des flux parallèles au chenal d'une façon lente et assimilable au glissement de lames les unes derrière les autres. Il correspond à tout le cours amont de la Seille.

Ces caractéristiques qui conditionnent le travail de la rivière agissent sur les morphologies fluviales et expliquent celles qui ont été décrites dans les parties précédentes.

II – Dynamique des formes fluviales

Face à la diversité et à la variabilité qui caractérisent l'ensemble du cours d'eau, nous avons cherché à mesurer puis à analyser les facteurs responsables des caractéristiques et de l'évolution des formes fluviales. Plusieurs auteurs ont utilisé la puissance spécifique pour étudier le transport solide, on peut citer Knapp (1938), Bagnold (1977), Wohl (1988), Nearing (1997), Astrade et Bravard (1999). D'autres l'ont étudiée pour élaborer des typologies des cours d'eau, comme Ferguson, (1987) ; Knighton et Nanson (1993) ; McEwen (1994), Petit (1995), Van den Berg (1995); Nanson et Knighton (1996) ; Schmitt (2000). Enfin certains auteurs ont corrélé la puissance spécifique avec les formes d'érosion qui caractérisent les berges ; c'est le cas de Lewis (1982), lawler (1992), Abernethy et Rutherfurd (1998), Astrade et Bravard (1999). Notre démonstration s'inspire de ces travaux avec une utilisation de la puissance spécifique pour expliquer l'évolution du lit fluvial, en rapport essentiellement avec l'érosion des berges. Elle est liée à la vitesse du courant et au débit à pleins bords qu'il s'agit de calculer au préalable à partir des résultats des mesures disponibles.

1- Détermination des paramètres hydrauliques

Le débit à pleins bords est considéré comme un débit caractéristique car il présente le débit au delà duquel les phénomènes de débordements se produisent dans le lit majeur et que s'activent les phénomènes d'érosion dans les lits fluviaux. Les géomorphologues accordent une grande importance aux débits pleins bords pour analyser les mutations morpho dynamique des lits fluviaux. Ce débit à pleins bords est considéré comme la valeur optimale efficace pour le déclenchement des processus dynamiques Léopold (1964), Tricart (1977),

Bravard et Petit (2000). Il existe dans la bibliographie plusieurs méthodes de calcul, Nixon (1959), Petts (1977), Riley (1972), Gregory et Walling (1973), Richards (1982)). Nous avons retenu la plus couramment utilisée et présentée dans l'ouvrage de Bravard et Petit (2000).

Q plein bord = Vitesse (V) / Section mouillée (Se)

Avec la vitesse évaluée de la façon suivante : $V = \frac{Rh^{2/3} \, Se^{1/2}}{n}$

Rh : le rayon hydraulique

Se : pente de la ligne d'eau

n : coefficient de rugosité proposé par Manning d'après Ven Te Chow (1959).

Tableau n°84: Paramètres hydrauliques en 2004.

Profils	PK	Pente 2004	Vitesse 2004	Section mouillée 2004	Q pleins bords 2004	Puissance Spécifique
A 1	6.83	0.00117895	0.384712971	18.851	7.25	5.1
A 2	16.98	0.00042857	0.266603719	23.074	6.15	1.6
A 3	23.23	0.00372951	0.911284972	29.013	26.44	59.2
1	29.03	0.00469693	1.092878507	33.155	36.23	97.9
2	33.3	0.00174694	0.639246085	37.2009	23.78	19.9
3	38.87	0.00185841	0.701327339	29.781	20.89	27.5
4	54.66	0.00087009	0.481767952	40.187	19.36	8.7
5	61.49	0.00053226	0.409981316	46.926	19.24	5.2
6	73.63	0.0004913	0.332644087	44.958	14.95	2.8
7	76.56	0.00038369	0.356892542	46.908	16.74	3.3
8	82.88	0.00254545	0.782411441	40.119	31.39	35.4
9	89.62	0.00037551	0.35870791	49.546	17.77	3.3
10	91.6	0.00042857	0.371727347	60.121	22.35	3.5
11	98.06	0.00372951	1.270158077	63.449	80.59	141.1
12	104.05	0.00146053	0.557948992	83.518	46.6	13.1
13	110.4	0.0032623	0.880196445	57.556	50.66	51.5

Tableau n°85: Paramètres hydrauliques en 1976/1985 :

Profils	PK	Pente 76/85	Vitesse 76/85	Section mouillée 76/85	Q pleins bords 76/85	Puissance spécifique
	6.83					
	16.98					
	23.23					
59	29.03	0.00469693	1.06577133	31.666	33.75	92.3
55	33.3	0.00174694	0.63485092	34.891	22.15	19.4
49	38.87	0.00185841	0.77057177	38.995	30.05	33.5
33	54.66	0.00087009	0.4768317	35.96	17.15	8.3
27	61.49	0.00053226	0.398643	49.819	19.86	4.5
17	73.63	0.0004913	0.3731261	54.433	20.31	3.7
14	76.56	0.00038369	0.30098059	33.476	10.08	2
7	82.88	0.00254545	0.81089373	35.68	28.93	39.9
1	89.62	0.00037551	0.34032214	42.315	14.4	2.9
85	91.6	0.00042857	0.36126787	66.41	23.99	3.2
128	98.06	0.00372951	1.10407153	43.89	48.46	95.4
158	104.05	0.00146053	0.80484978	90.24	72.63	32.9
178	110.4	0.0032623	1.16040223	59.7	69.28	106.9

Pour la Seille, les valeurs de puissance spécifique calculées restent généralement faibles à moins 12 w/m². Mais ponctuellement en rapport avec une accélération locale de la pente et des sections mouillées agrandies, elle peut atteindre des valeurs de 3 à 5 fois plus fortes comme le montre la figure n°107. A l'exception de la zone aval, ces valeurs se sont peu modifiées en une vingtaine d'années. Cela traduit bien l'évolution des morphologies à une vitesse très lente.

Figure n°107

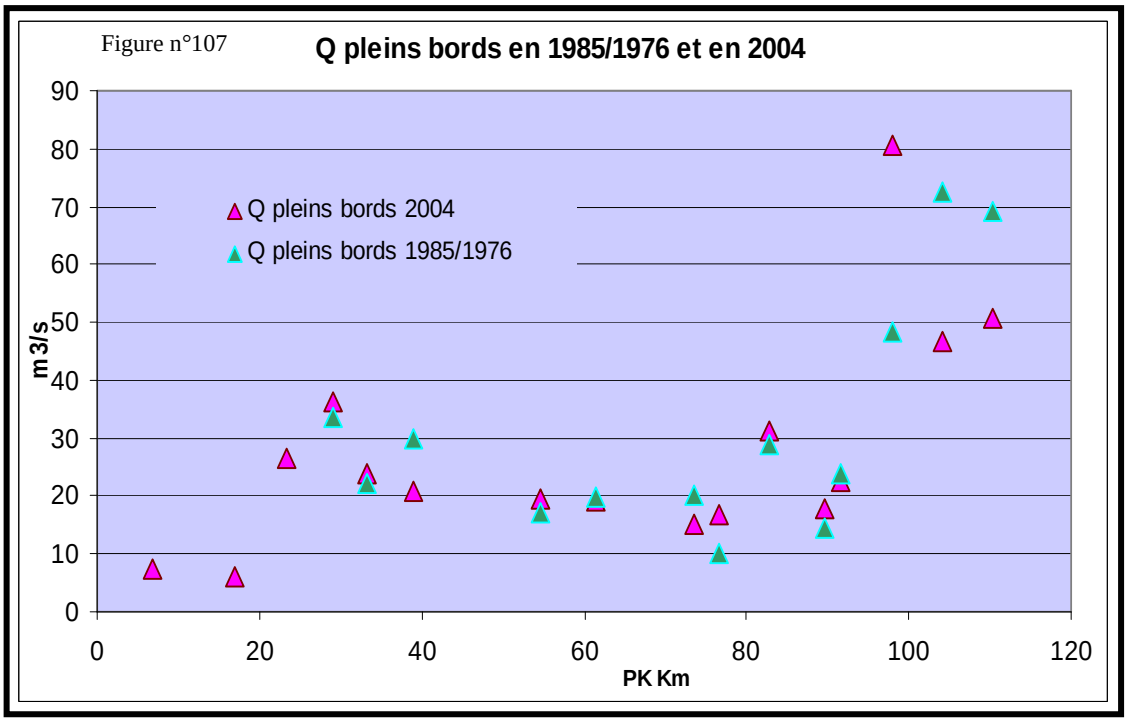


Figure n°108

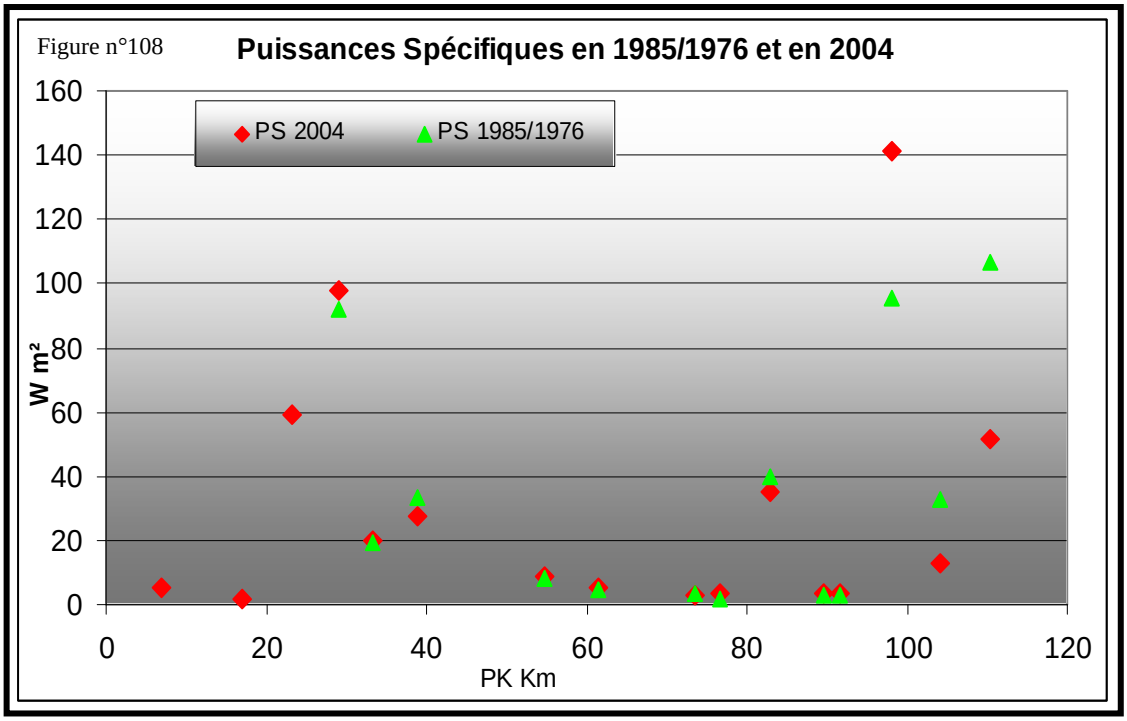
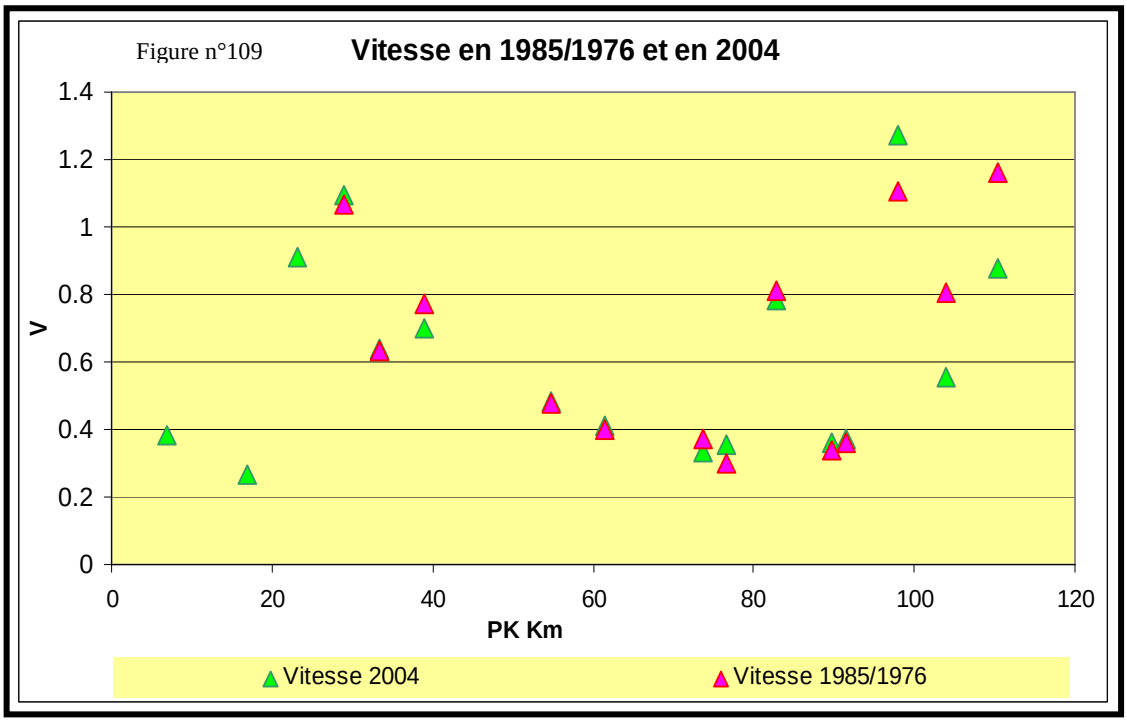


Figure n°109



Ainsi la Seille présente deux parties où la puissance spécifique est suffisante pour entretenir ou façonner de nouvelles formes fluviales. Elles sont situées dans les zones médianes et aval. C'est là que sont localisées les morphologies fluviales les plus évolutives.

2- Caractérisation hydro morphologique : processus et géomorphologie fluviale

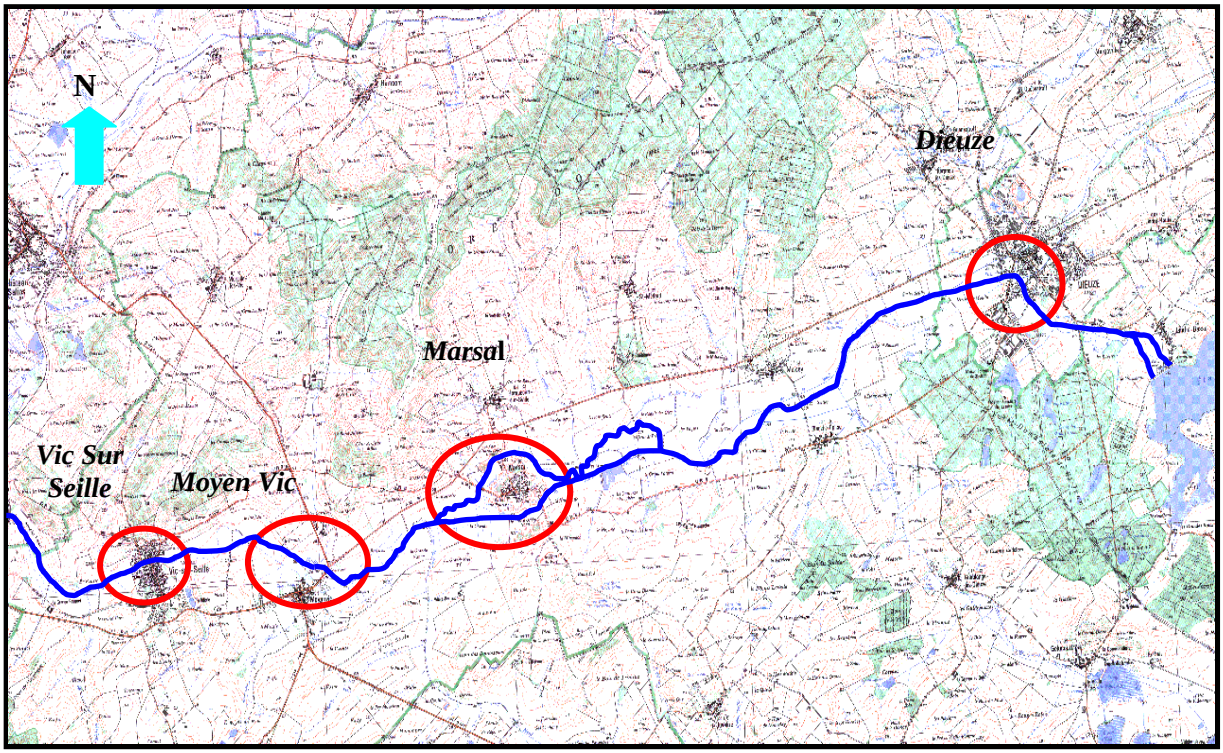
Les conséquences de l'anthropisation de la Seille se traduisent par une adaptation du cours d'eau aux aménagements. Mais la réponse est variable selon les zones, les tronçons et les sites.

a- Le paysage fluvial de l'amont de la Seille

La partie amont de la Seille va de la sortie de l'étang de Lindre jusqu'à Moyen Vic, et regroupe la zone des étangs et la zone du Saulnois (découpage des morphologies fluviales). Les caractéristiques générales dans cette zone sont un tracé rectiligne, des berges basses (ne dépassent pas 1m) sauf dans le secteur de Dieuze qui est très aménagé. La largeur du lit mineur est comprise entre 5 et 8 m, la profondeur ne dépasse pas les 60 cm. Tout au long du cours d'eau, les types de végétation dominants sont les roseaux et les herbes, sauf dans la zone de Dieuze.

Dans cette zone amont le débit est faible (à Moyen Vic 3.52 m3/s) et la pente modérée (0.24‰). Le tracé rectiligne du lit mineur résulte d'aménagements anciens. Il recoupe les sinuosités que la cartographie du lit majeur a permis de mettre en évidence (*cf.* Tome II, cartographie du lit majeur). Les morphologies fluviales sont peu évolutives. La pente faible stérilise les actions morphogènes. Les berges basses facilitent en crue le débordement précoce de l'eau dans le lit majeur ce qui contribue à dissiper l'énergie du courant. Là elle emprunte les nombreux chenaux On note cependant des puissances spécifiques à pleins bords élevées dans les tronçons 3 et 4 (plus de 60 w/m²). Elles expliquent le sapement des berges qui sur de longues distances restent à nu. Mais cette action n'est pas suffisante pour favoriser un changement des morphologies. Plus en détail cette zone amont comprend des évolutions différentes selon l'état des berges, naturelles ou non comme c'est le cas de la traversée de Dieuze.

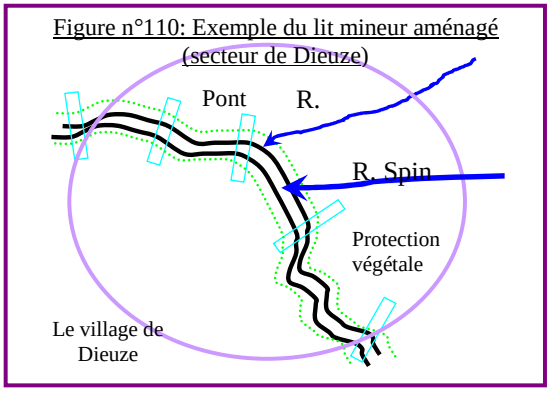
Carte n°45 Localisation des sites étudiés dans la partie amont de la Seille

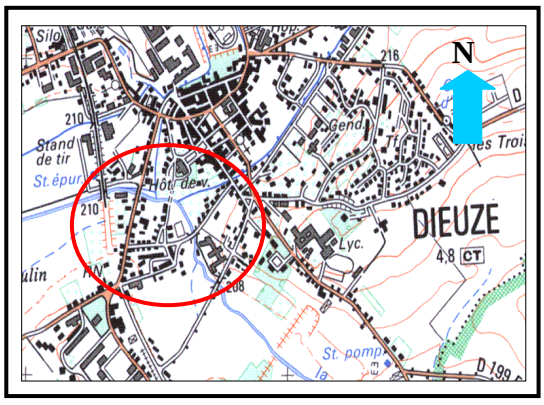


****** Caractéristiques du site de Dieuze (tronçon 2) (Figure n°110)***

Le lit est complètement aménagé depuis plusieurs siècles (rectification du tracé et multiples curages). Les berges hautes sont bien fixées, protégées par des arbres, des seuils ont été construits pour guider l'écoulement, des digues de protections et un barrage contrôle les volumes écoulés. Depuis longtemps le but de toutes ces actions anthropiques est de stabiliser le lit mineur, diminuer le risque des inondations et lutter contre la dégradation des berges. L'importance de ces aménagements traduit la nécessité de se protéger de la Seille, malgré des morphologies fluviales fixées par les actions anthropiques. Cela signifie que épisodiquement, les débordements peuvent entraîner d'importants dégâts.

Figure n°110: Exemple du lit mineur aménagé (secteur de Dieuze)



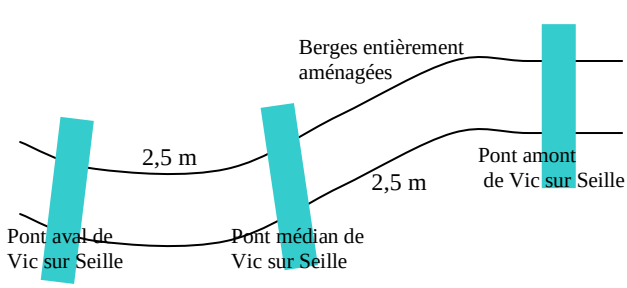


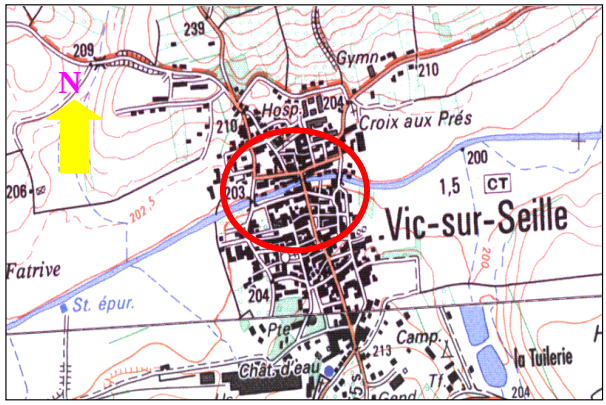
Actuellement, force est de constater que l'anthropisation totale du site détermine une dynamique fluviale nulle.

***** Le site de Vic sur Seille (tronçon n° 6, secteur 1 dans le découpage de la Seille)(figure n°111):***

Le lit mineur est entièrement bétonné tout au long de la traversée du village de Vic Sur Seille, et un barrage automatique contrôle les débits écoulés.

Figure n°111: Fonctionnement d'un secteur entièrement aménagé : le cas de Vic sur Seille





Ce site présente un autre exemple d'anthropisation totale du paysage fluvial. Ces caractéristiques conduisent à une accélération de l'écoulement mais avec une dynamique fluvial nulle.

***** Le site de Marsal***

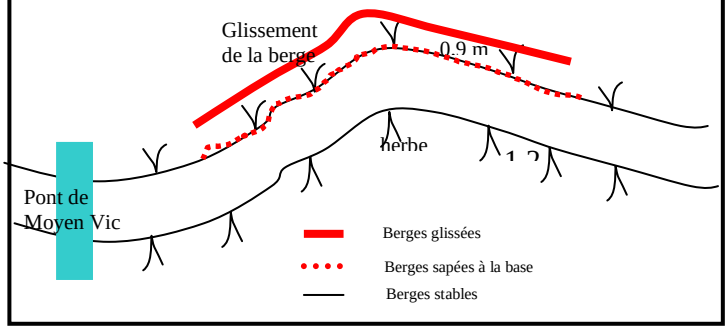
Le deuxième exemple est celui de Marsal et appartient à deux tronçons, 4 pour la Veille Seille et 5 pour le canal de Marsala (*cf*. tome II). La Veille Seille présente un site à peu près naturel avec un tracé sinueux, les berges moyennes (1,5 et 2,5 m) sapées à la base avec quelques encoches d'érosion. Le canal a un tracé rectiligne, les berges basses, (< 1,5 m) peu végétalisées (herbes, roseaux) et modérément sapées à leur base. Créé pour des raisons économiques, (navigation de la Seille afin de transporter le sel de Marsal). Ce canal sert aujourd'hui à protéger le village de Marsal. A priori les incidences des crues sur la dynamique fluviale dans ce site semblent finalement limitées par des débordements fréquents favorisés par la faible hauteur des berges.

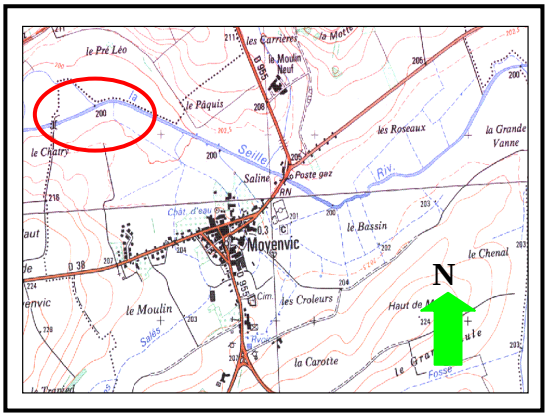
***** Le site de Moyen Vic (Figure n°112)***

Il appartient au tronçon n° 5 et au secteur 4. Ce site est caractérisé par des berges non aménagées, basses sapées.

Dans ce site on note le rôle que joue le piétinement du bétail dans la dégradation. Leur répétition conduit à l'affaissement de la berge. Les aménagements sont contemporains discrets et la dynamique reste faible, contenue d'ailleurs par la pente longitudinale faible (0,25 ‰).

Figure n°112: Fonctionnement hydrodynamique du site de Moyen Vic



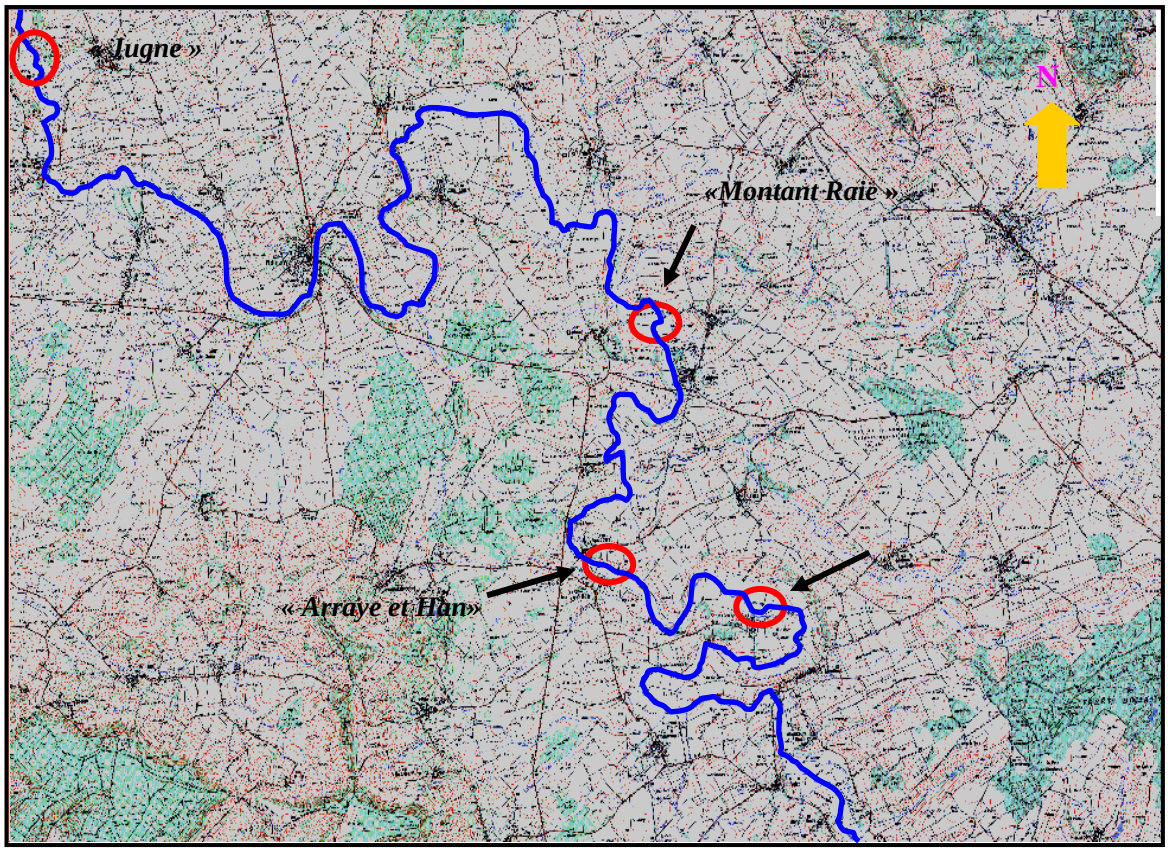


Finalement, ces quatre exemples qui représentent l'état de l'amont de la Seille attestent de l'anthropisation quasi-totale du cours d'eau, essentiellement liée à des actions anciennes (curage, calibrage, digue, barrage…). Le renouvellement de ces actions pendant la période contemporaine (site de Dieuze et Vic-Sur-Seille) n'a pas modifié l'évolution très lente des morphologies.

b- Le paysage fluvial de la partie médiane :

Dans cette zone, située entre Brin sur Seille et Morville-Sur-Seille, le tracé de la Seille est sinueux et la vallée est encaissée dans le plateau liasique. Les actions anthropiques ont été faibles. Les berges sont généralement consolidées dans la traversée des villages. Ailleurs elles sont souvent à nu ou occupée par une végétation herbacée. Les caractéristiques géométriques et hydrauliques indiquent des conditions favorables à une relative stabilité des formes fluviales. La pente longitudinale est un peu plus marquée (0,37‰), les berges du lit mineur ont les hauteurs variant entre 1,5 et 3,5 m. Les puissances spécifiques inférieures à 15 w/m², sont en accord avec une faible et lente évolution des formes fluviales. Cependant la succession de sinuosités entraîne une déviation du courant déterminant ainsi une érosion le plus souvent localisée en rive concave ; sapement et encoches, berges glissées ou dégradées. Mais leur recul est très lent. Plus en détail, des formes assez variées ont été observées sur le terrain. Elles sont liées à la hauteur et à l'inclinaison des berges.

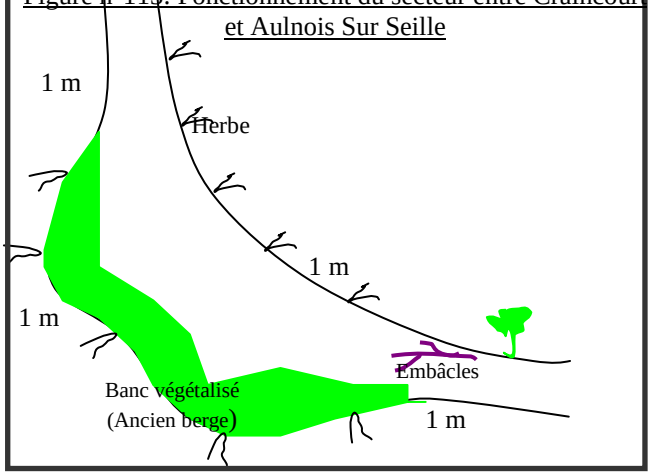
Carte n°46: Localisation des sites étudiés dans la partie médiane de la Seille

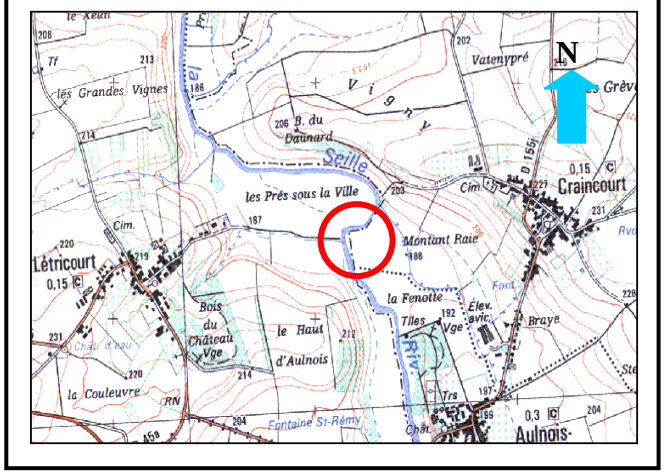


**** Le site de Montant Raie (Figure n°113)***

Il est situé entre Craincourt et Aulnois / Seille, (tronçon n°11, secteur 2) et présente des formes très fréquentes dans cette partie, d'Ajoncourt, Aulnois Sur Seille, Thézey Saint Martin.

Figure n°113: Fonctionnement du secteur entre Craincourt et Aulnois Sur Seille





L'action principale est une érosion latérale avec un recul de la berge en rive concave ; les matériaux s'affaissent naturellement mais aussi en raison du piétinement du bétail qui pâture les prairies du fond alluvial. La rive convexe est sapée à la base ; verticalement elle recule peu.

** *Le site de Han (tronçon n° 10 secteur n°4) (Figure n°114):*

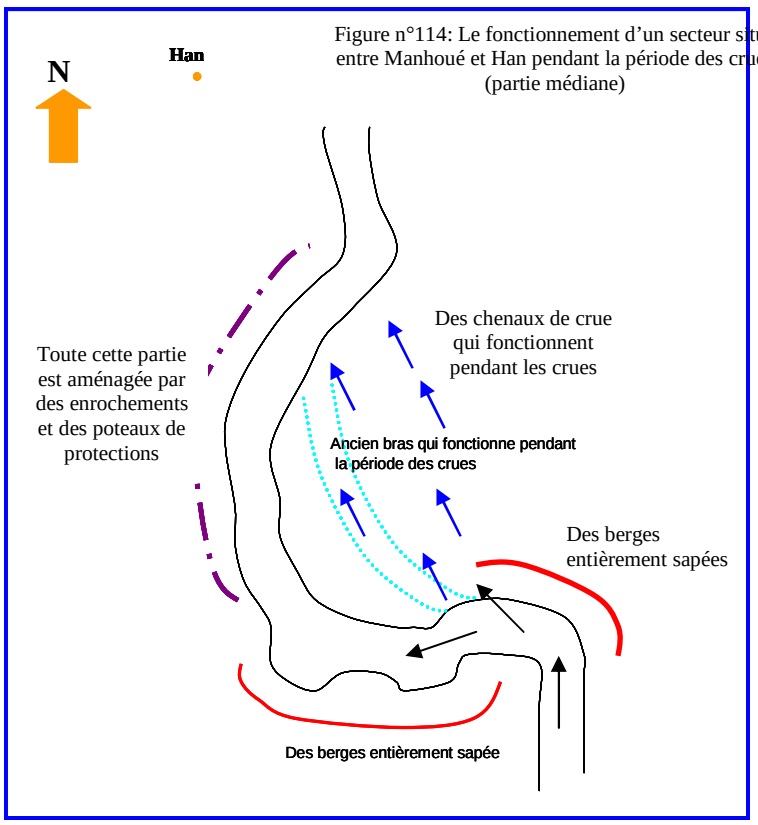
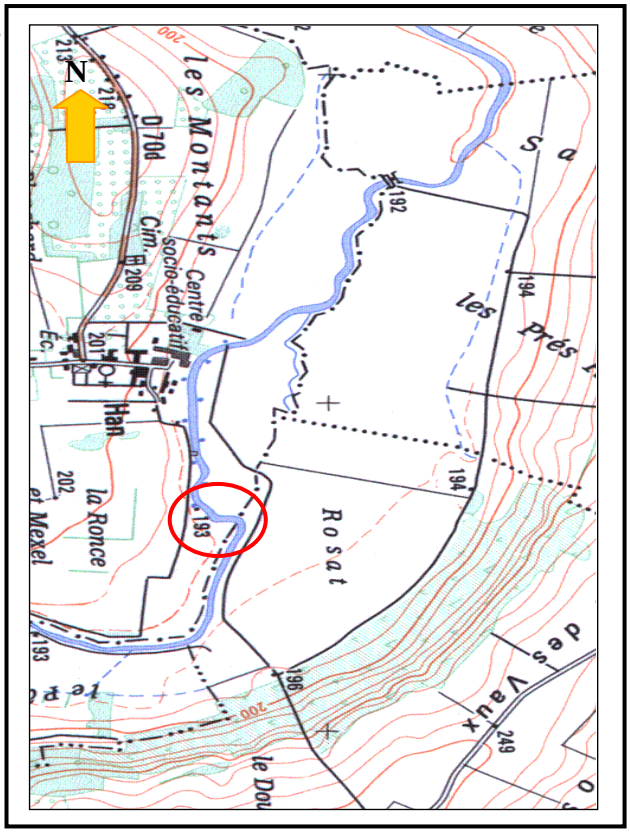


Figure n°114: Le fonctionnement d'un secteur situé entre Manhoué et Han pendant la période des crues (partie médiane)

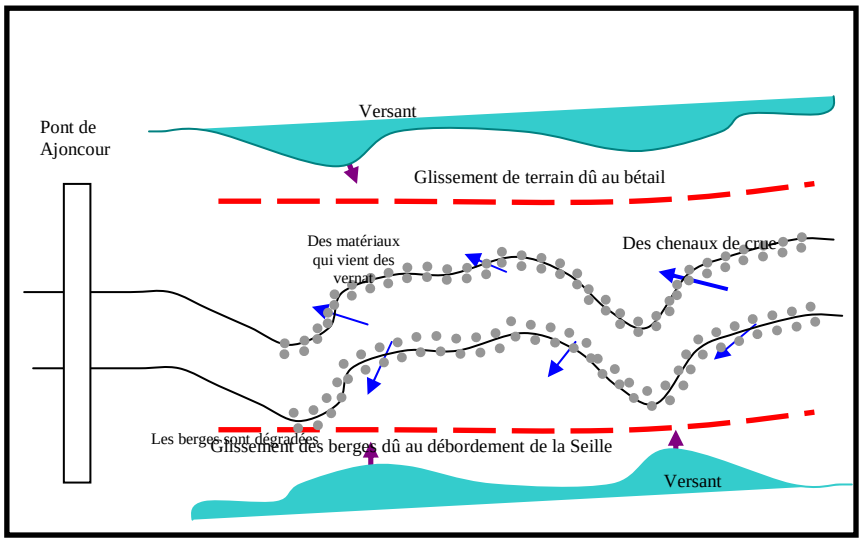


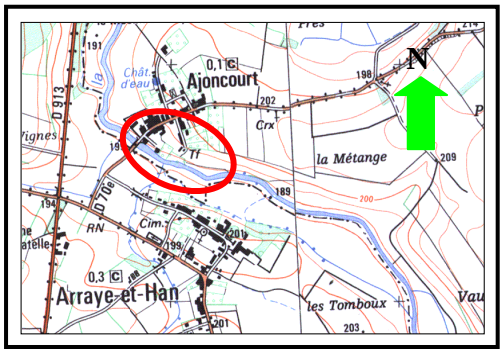
Le tracé présente une triple sinuosité. Les berges sont sapées à l'amont. Puis leur protection relative est assurée en crue par la détermination d'une partie du débit en travers par le lobe de la boucle principale. En rive concave, un enroche fixe la berge.

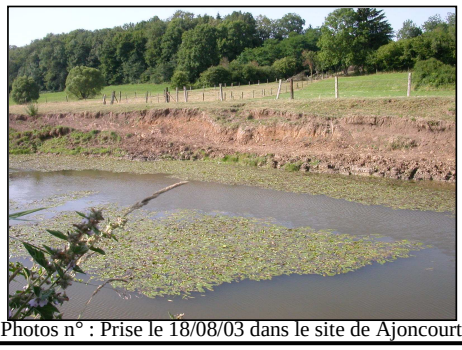
** *Le site d'Arraye (tronçon n° 10, secteur 3) (Figure n°115):*

Dans l'ensemble de cette zone, le tracé estrelativement sinueux. Les berges des deux rives sont hautes (> 2,5 m), avec une influence du bétail. Le lit mineur est étroit (10 à 12 m). Ici les conditions sont plutôt favorables à la dynamique fluviale. Cette configuration est valable pour toute la zone d'Aboncourt sur Seille, Manhoué, Aulnois sur Seille, Nomeny, et Port sur Seille.

Figure n 115: Zoom sur un secteur d'alimentation de la charge solide situé entre Ajoncourt et Harray et Han







Photos n° : Prise le 18/08/03 dans le site de Ajoncourt

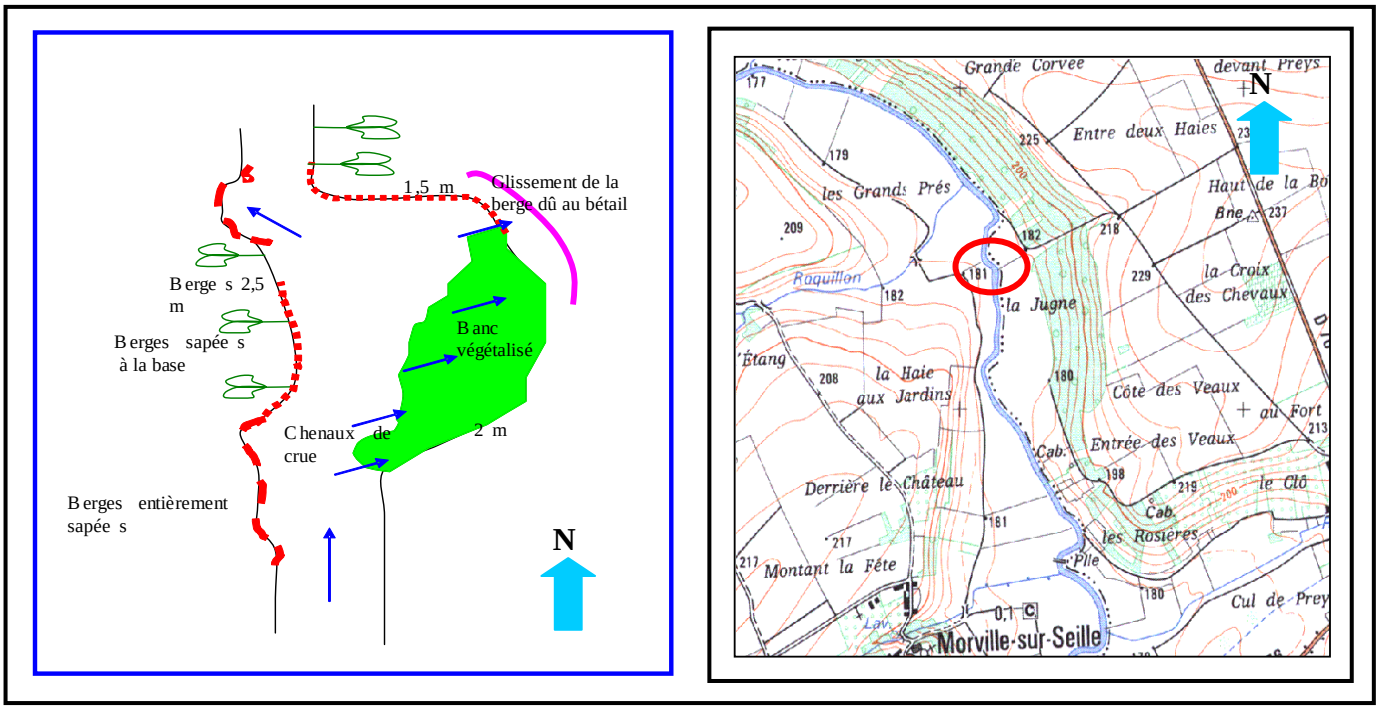
La montée des eaux favorise la libération de sédiments puis transportés rapidement vers l'aval (l'apparition des banquettes). La configuration comme le montre la photo est fortement influencée par les travaux antérieurs et le calibrage du lit.

***** Le site de « Jugne » (Figure n°116)***

Ce site est situé entre Morville sur Seille et Cheminot, il appartient au tronçon n° 14 et très exactement au secteur 1.

Dans ce site, lors de la montée des eaux les modalités d'écoulement conduisent à un fonctionnement hydrodynamique très particulier. Le banc végétalisé (rive droite) se trouve envahit par les eaux de la crue. La dynamique érosive s'accélère en rive droite à cause de l'absence des protections végétales. Par contre, en rive gauche, les protections des berges ont gêné localement les déplacements latéraux en stoppant le recul de la berge.

Figure n°116: Les impacts des crues sur le fonctionnement de la Seille dans le secteur situé entre Morville sur Seille et Cheminot



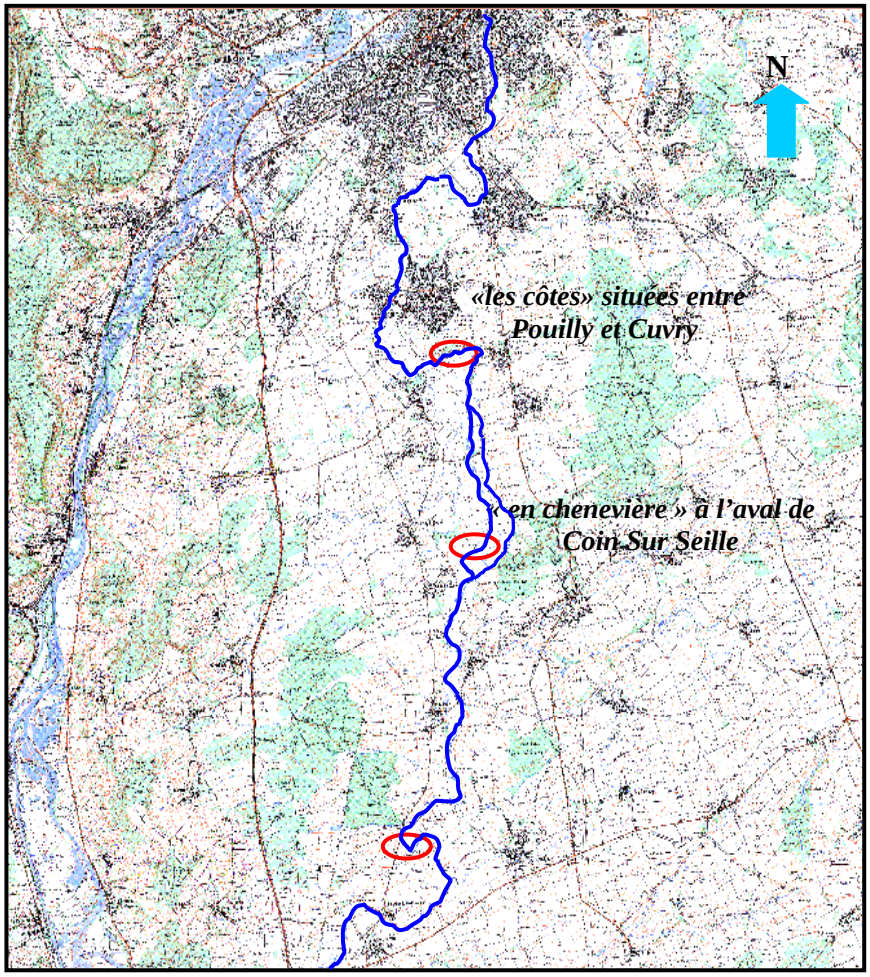
On retient dans cette zone médiane de la Seille qu'en raison de la configuration du tracé très sinueux, l'érosion est un peu plus importante qu'ailleurs et essentiellement marquée par le sapement plus ou moins important des berges. Elle présente des caractéristiques assez proches de celles d'autres cours d'eau qui parcourent le plateau Lorrain et dont les pentes longitudinales sont aussi faibles que celles de la Seille (moins de 0.5 ‰).

c- Le paysage fluvial aval de la Seille

De Morville-Sur-Seille/Cheminot jusqu'à la ville de Metz, l'anthropisation du lit mineur fait partie du paysage fluvial de la Seille actuelle. La Seille dans cette zone coule dans un fond alluvial, évasé, inondable (*cf.* Tome II, carte du lit majeur) relativement incliné. Le lit mineur est large 18 m à 25 m. Les berges ont une hauteur considérable par rapport aux parties amont et médiane, elles peuvent atteindre 4,5 m. Leur point commun est qu'elles sont végétalisées au sommet de la berge (arbres) grâce aux travaux de restauration permanents. Cette hauteur de berge, variable d'une section à l'autre explique les sections mouillées de surfaces très variables. Le lit majeur d'abord plus étroit jusqu'à Sillegny s'élargit ensuite jusqu'à 2000 m vers l'aval. Il est parcouru par un réseau de chenaux anciens et actuels (chenaux de crues) ainsi que par des lits secondaires en eau et des drains qui sont empruntés par les affluents de la Seille dans leur partie aval. Tout ce dispositif suggère un réseau de bras qui devait contribuer à évacuer le débit de la rivière en particulier en période de crue. La plupart des bras ont été aménagés et réutilisés comme canal ou drain ou encore comblés. Ainsi peut-on trouver là l'explication à la variété des surfaces des sections mouillées de cette partie aval, que les aménagements successifs ont pu exagérer ou atténuer. Y sont reliées des débits pleins bords élevées (5 fois le module soit 50 m3/s et des puissances spécifiques importantes et contrastées. Les formes fluviales corrélatives sont elles aussi variables et présentent tantôt une très grande stabilité, tantôt une très forte mobilité sans que la Seille en soit responsable. Elle semble surtout exploiter un chenal dont les dimensions sans cesse revues, lui sont imposées.

Dans le détail, l'érosion comme ailleurs concerne surtout les berges. Elles sont hautes ce qui favorise le glissement des matériaux mais également toutes les autres formes d'érosion. Plus localement le fond du lit a été réincisé, altérant ainsi la forme trapézoïdale associée au calibrage d'origine anthropique.

Carte n°47: Localisation des sites étudiés dans la partie aval de la Seille

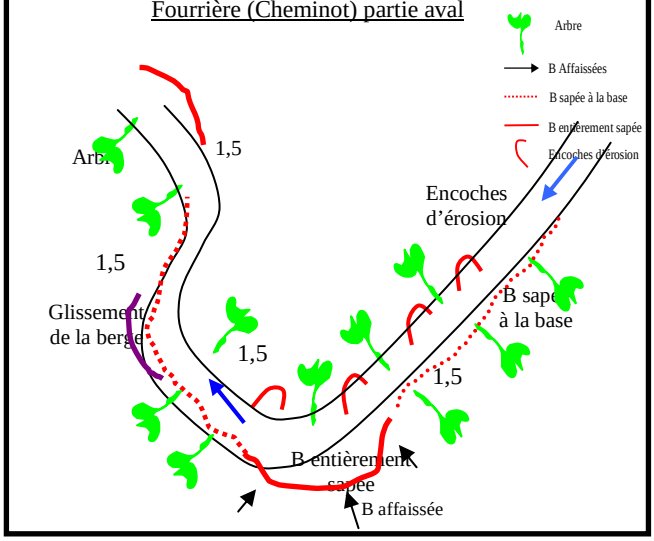


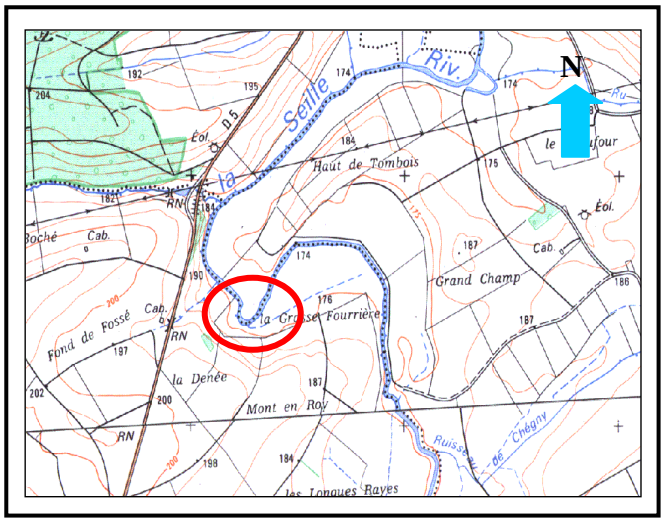
Toute cette zone est également fortement modifiée par les interventions anthropiques destinées à contenir l'évolution du lit fluvial : fixation des berges, construction de seuils. Finalement on constate que l'écoulement y est souvent plus rapide qu'ailleurs (accélération de la pente) et l'érosion plus forte. Trois sites permettent d'éclairer les conditions de la dynamique :

** ***Le site de « La Grasse Fourrière » (Figure n°117):***

Situé entre Longeville-lès-Cheminot et Sillegny. (Tronçon n°15, secteur n°1). Les deux berges présentent des banquettes. Elles sont érodées en hautes eaux et piétinées par le bétail en basses eaux.

Figure n°117: Fonctionnement du secteur de la Grasse Fourrière (Cheminot) partie aval



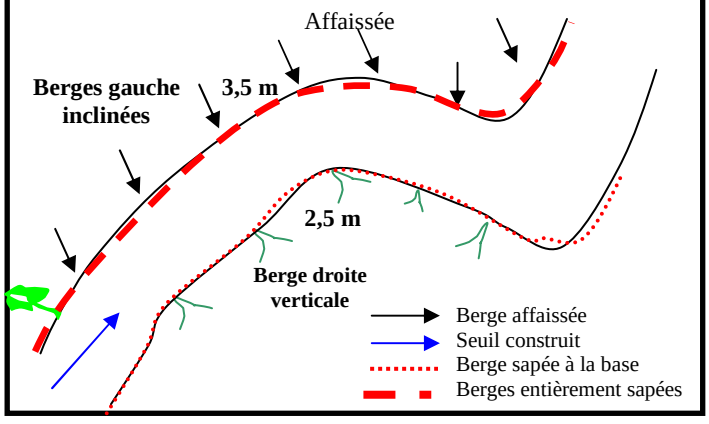


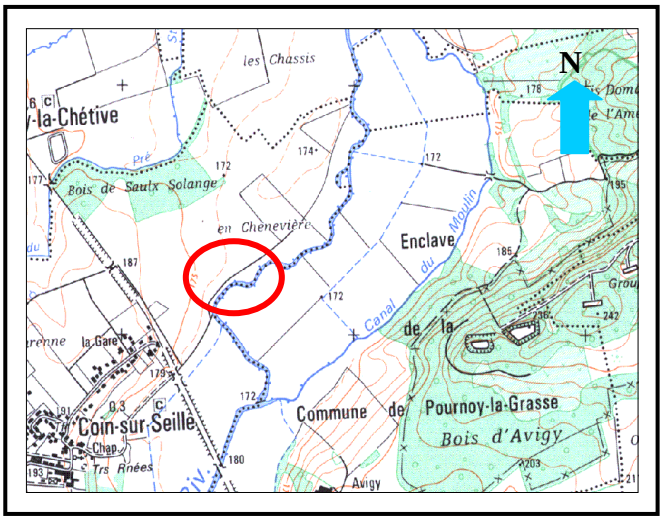
La présence de la végétation arborée sur les berges assure leur protection et limite leur recul. Mais ces conditions favorisent le creusement vertical du lit. Dès que la végétation disparaît, d'importants sapements se développent.

** *Le site de « en Chènevière » (Figure n°118)*

Situé entre Coin sur Seille et Pournoy la Chétive (tronçon n° 16, secteur 2). Il présente des berges dissymétriques : - La rive droite est verticale haute de 2 m et 3 m. La berge est sapée à la base mais pas assez puissamment pour que les matériaux s'éboulent. - La rive gauche est inclinée sur une hauteur de 3 m et 4 m. Elle est affectée par des glissements qui déplacent les matériaux par paquets.

Figure n°118: Le fonctionnement hydro dynamique du site de « en chenevière » à l'aval de Coin Sur Seille



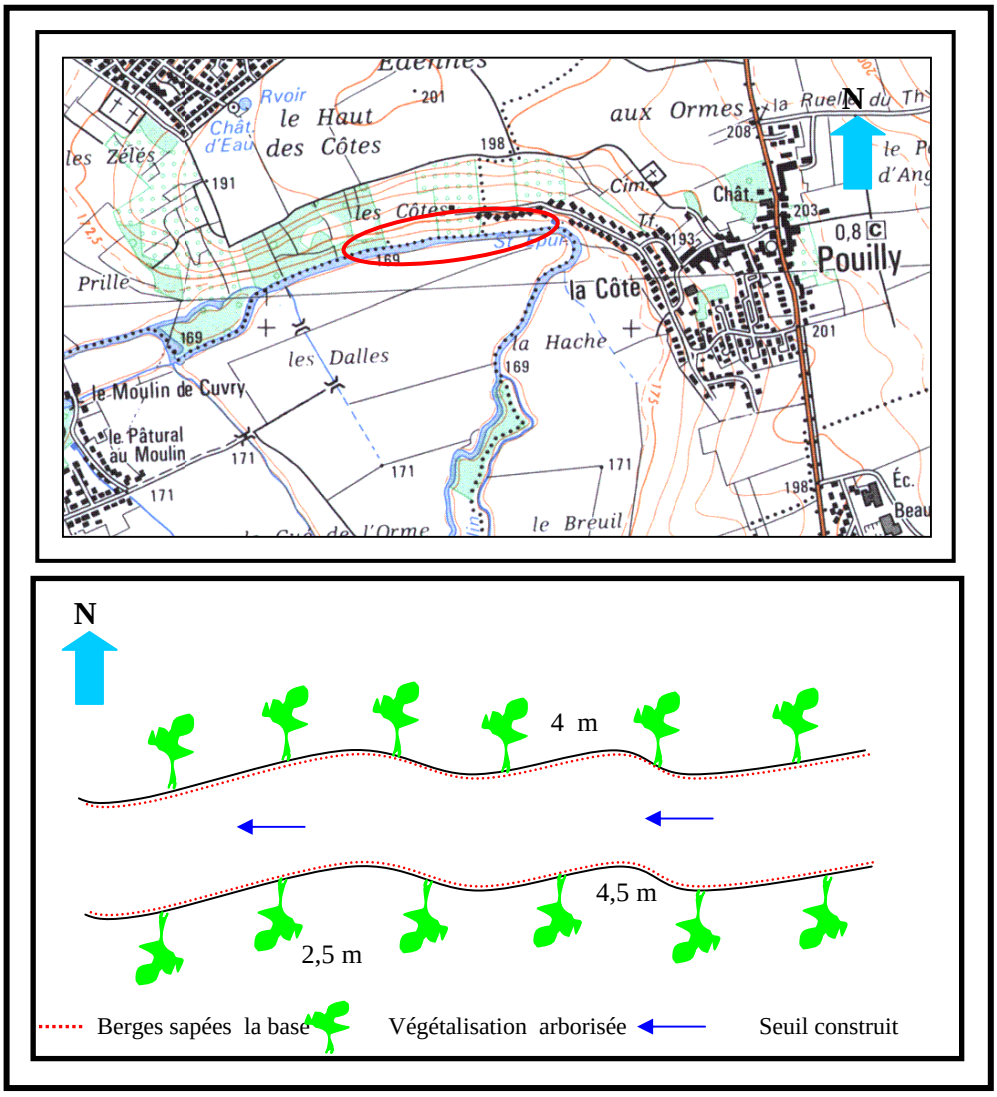


Ces berges évoluent au rythme des crues et seules les plus fortes dégagent les matériaux entraînés dans le lit. Ces caractéristiques sont celles de tout le secteur de Sillegny, Loiville et Coin sur Seille.

*** Le site des « côtes » (Figure n°119)*

Situé entre Pouilly et Cuvry (tronçon n° 17 secteur 2). Il présente des berges hautes (plus de 4.5 m) et verticales, aménagées, stabilisées par des protections végétales (arbres). Elles encadrent un lit mineur large de plus de 20 mètres.

Figure n°119: Le fonctionnement hydro dynamique du site des « côtes» situé entre Pouilly et Cuvry



En effet, la fixation de ces berges par les arbres conduit à l'incision du lit comme l'a montrée l'étude des profils transversaux dans cette partie aval de la Seille (profils en travers n° 13, 14 et 15).

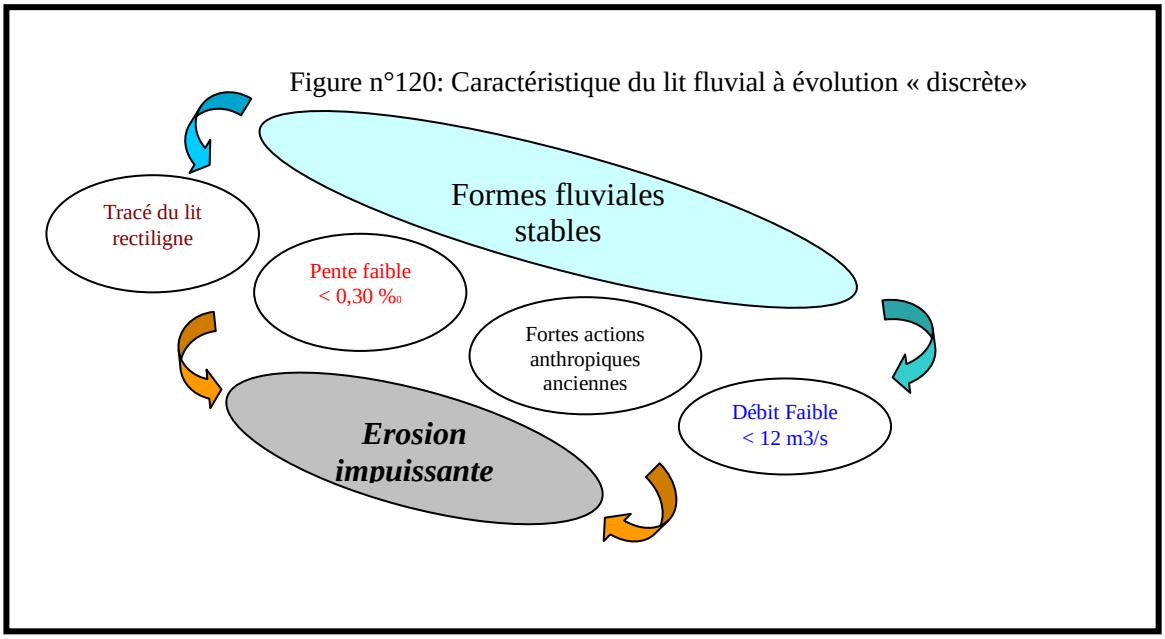
D'une manière générale, dans cette zone aval, l'érosion est assez forte et quasi omniprésente sur les berges ou dans le fond du lit. Là l'incision permet localement la remobilisation des sédiments graveleux hérités ce qui n'a pas été observé dans les autres zones. Il s'agit donc ici des parties les plus évolutives du lit fluvial où les interventions anthropiques ont peut-être exacerbé une évolution naturelle plus rapide qu'ailleurs, liée en particulier comme cela a déjà été évoqué à une accélération de la pente longitudinale en aval de Cheminot.

III- Spatialisation des divers modes de fonctionnement dans la Seille

Sur le plan hydrodynamique, les modes de fonctionnement de la Seille peuvent être déterminés en combinant les trois indicateurs (section mouillée, profondeur du chenal, largeur du lit et le rayon hydraulique) (carte n°48). Ces styles fluviaux varient selon la forme du tracé, les lames d'eau écoulées, la pente, les aménagements. Au final, on retient quatre modes de fonctionnement :

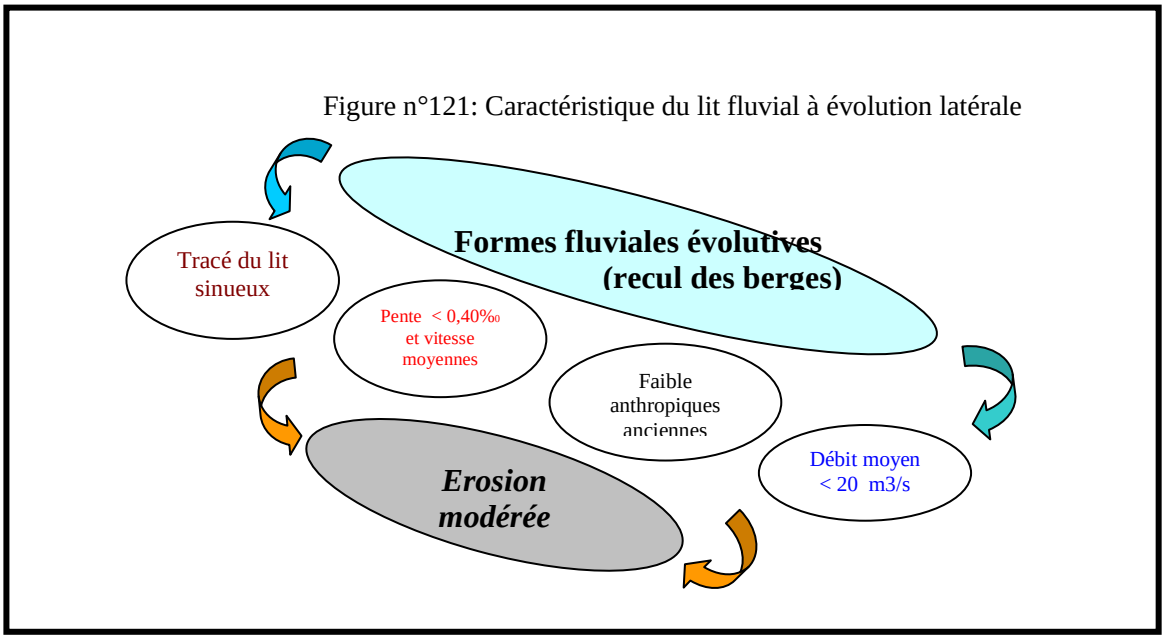
** **Lit fluvial à évolution « discrète »** : Il est caractérisé par une érosion impuissante. On le trouve dans la partie amont de la Seille (tronçons 1, 2, 3, 4, 5,6 et7) dont le tracé est rectiligne et les débits faibles

Figure n°120: Caractéristique du lit fluvial à évolution « discrète»



**** Lit fluvial caractérisé par une évolution latérale :** Ce mode comprend un élargissement du chenal qui connaît une dynamique notoire marquée par l'érosion des berges. Il correspond à la partie aval de la Seille (tronçons 13, 14, 15, 16) et au tronçon 8.

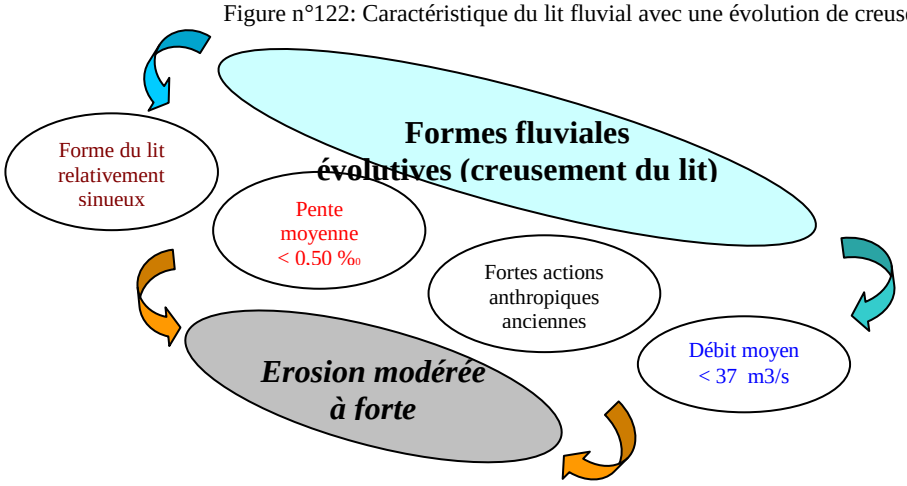
Figure n°121: Caractéristique du lit fluvial à évolution latérale



** **Lit fluvial en creusement** : Le lit se caractérise par une évolution verticale qui a pour conséquence une augmentation de la profondeur du chenal. Ce style caractérise

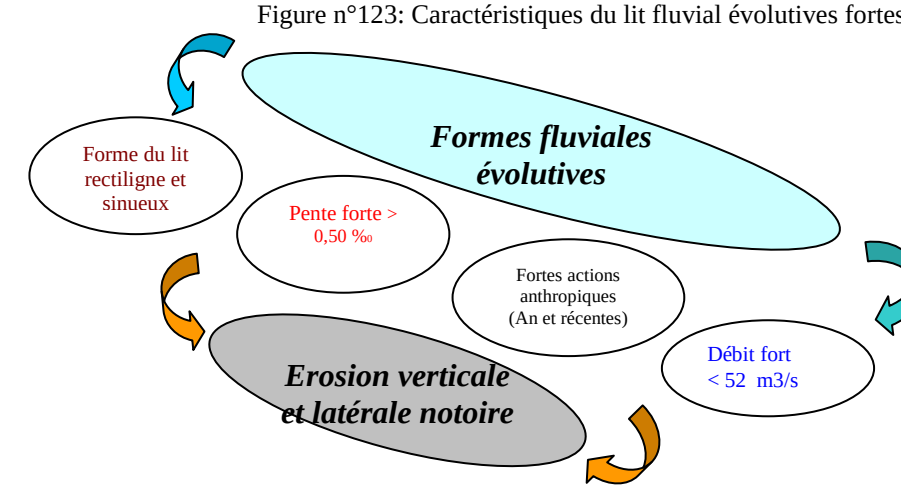
l'ensemble du linéaire de la Seille mais avec un degré différent. Il est présent à l'amont dans le tronçon 8 (une évolution verticale de l'ordre de 0,67 cm pendant 19 ans). Dans la partie médiane (tronçons 11 et 13) l'incision moyenne ne dépasse pas quelques centimètres pour une durée de 28 ans (0,57 cm). C'est à l'aval, que le lit fluvial se creuse le plus souvent (tronçons 15 et 16) avec ponctuellement un approfondissement de plus d'un mètre (1m 59 cm) pour les 28 dernières années.

Figure n°122: Caractéristique du lit fluvial avec une évolution de creusement



**** Lit « fortement » érodé**: Il présente une double évolution, latérale et horizontale qui conduit à une augmentation de la largeur et la profondeur du chenal. Il concerne essentiellement la partie aval de la Seille où les conditions d'écoulement sont favorables (pente longitudinale forte, débit important, tracé modifié….) aussi que les actions anthropiques.

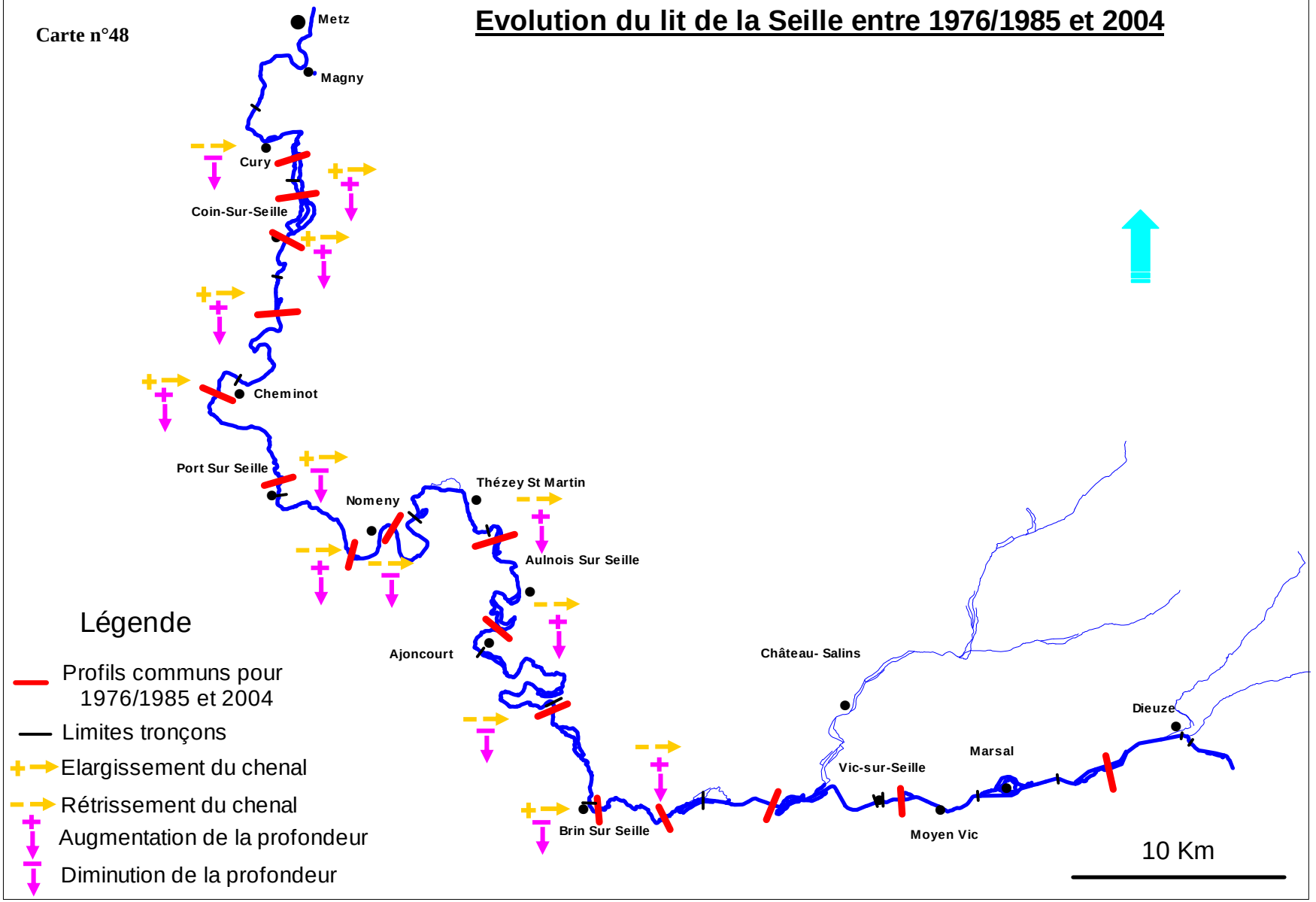
Figure n°123: Caractéristiques du lit fluvial évolutives fortes



La carte représente la succession de ces lits tout au long de la Seille.

Carte n°48

Evolution du lit de la Seille entre 1976/1985 et 2004



Aussi sur plusieurs décennies le lit de la Seille se caractérise par des formes dont l'évolution discrète. Ceci est assez représentatif de la plupart des rivières qui parcourent le plateau lorrain.

Conclusion :

L'évolution du lit mineur, déterminée par les conditions géomorphologiques, est rythmée par les crues sous l'influence des actions anthropiques. Il en résulte une variété de formes fluviales, discrètement différenciées ; on note un sapement discontinu et une faible accumulation de sédiments dans le chenal. Localement, seule l'érosion est exacerbée par le piétinement du bétail ou par les actions anthropiques.

Dans la partie amont, caractérisée par un débit faible, les modifications anciennes ont surtout créé un chenal rectiligne dont les berges basses déterminent une évolution très lente. La partie médiane, peu aménagée, est caractérisée par un tracé sinueux, un lit mineur encaissé. Le fonctionnement géomorphologique est contrasté dans l'espace (selon les rives des sinuosités) et dans le temps selon les conditions hydrologiques. Enfin, dans la zone aval, l'emprise humaine est très importante, les berges sont fréquemment fixées par les enrochements ou dominées par les digues, les modifications y sont permanentes. L'évolution du lit mineur est loin plus rapide qu'ailleurs comme l'indique la fréquence des berges entièrement sapées, affaissées, glissées, dégradées.

Finalement dans ces trois zones se répètent globalement quatre types de situation donnant autant de formes et d'évolutions du lit de la Seille.

***Chapitre 8* : De la dynamique à la gestion du cours d'eau : évaluation des actions anthropiques et réactions de la Seille par la modélisation**

Ce chapitre est consacré aux impacts des aménagements sur les 17 tronçons du cours d'eau. Il s'agit d'analyser comment les riverains de la vallée de la Seille ont modifié le fonctionnement de la rivière. D'un point de vue méthodologique, on s'est inspiré du modèle d'évaluation mis au point par Rolland-May (2000) appliqué par Sghir (2002) pour évaluer l'impact de l'irrigation sur le fonctionnement des exploitations agricoles. Pour appliquer ce modèle sur l'évolution des lits fluviaux, il a fallu l'adapter à la problématique de notre étude ; rôle des actions anthropiques et changement du paysage fluvial. Le modèle utilisé est basé sur l'évaluation quantitative de l'état des différents tronçons à partir de cinq grandes thématiques subdivisées en vingt et un indicateurs. Nous proposons dans un premier lieu une présentation théorique du modèle développé, ensuite la partie opérationnelle sera consacrée à l'application du modèle à la Seille.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier les tronçons de cours d'eau en prenant en considération la globalité de leurs caractéristiques et en particulier des différents aspects d'aménagement. Il s'agira d'évaluer les impacts de ces actions sur le fonctionnement de la rivière.

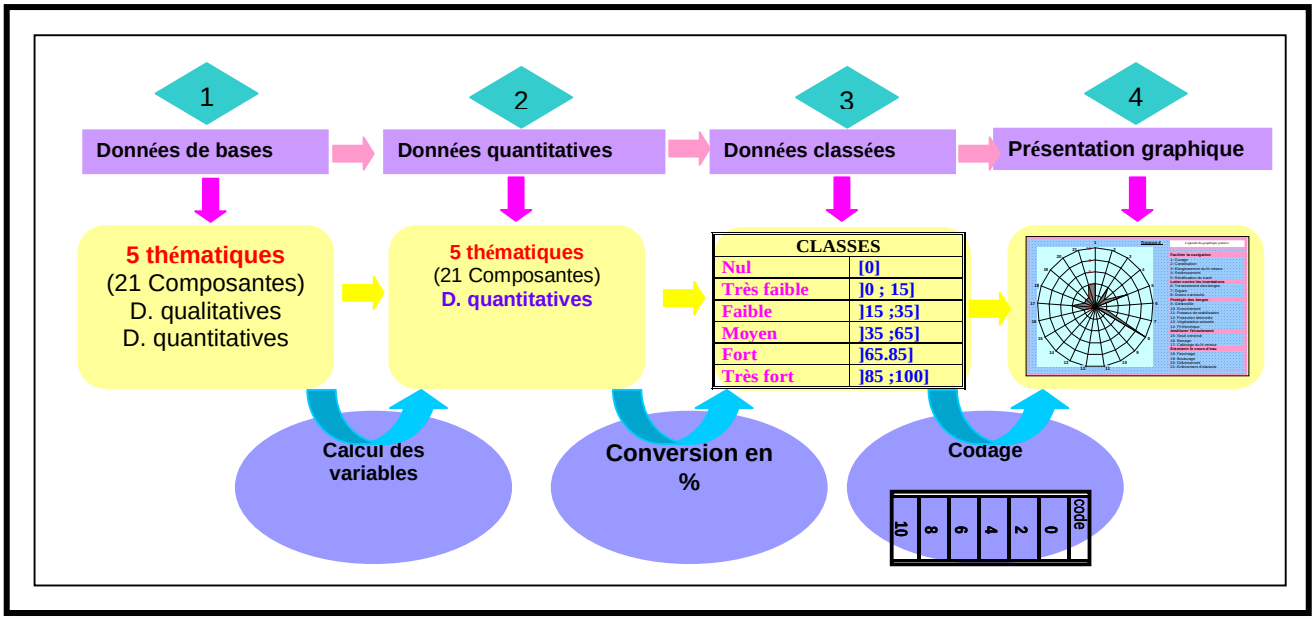
Les données utilisées (présentées dans les parties précédentes) proviennent des archives pour les aménagements historiques (dépouillement des anciennes archives 2004 et 2005) et du terrain pour les aménagements contemporains (cartographie des morphologies fluviales été 2003). Leur croisement a permis d'obtenir des indicateurs formant cinq grandes thématiques comprenant vingt et un éléments d'aménagement touchant tous les aspects qui orientent le fonctionnement des tronçons.

Ainsi le modèle réalisé permet de valoriser les sources historiques, d'exploiter le travail de terrain et de répondre aux questions concernant les mutations des tronçons. Il est possible de comparer les tronçons par la détermination d'un taux d'aménagement et d'apprécier la réponse de la Seille à ces aménagements.

I- Présentation du modèle mis en œuvre

Le modèle d'évaluation globale des tronçons est fondé sur une logique mathématique complétée par une présentation graphique qui utilise le graphe polaire « sous Excel ».

Figure n°124 **:** Architecture du modèle pour le bassin de la Seille



Dans le cas traité, le remplissage du modèle est assuré par les vingt et une composantes regroupées dans cinq thématiques majeures déterminées dans la partie précédente :

* Faciliter la navigation de la Seille
* Lutter contre les inondations
* Protéger les berges
* Améliorer l'écoulement
* Entretenir le cours d'eau

1- Les composantes du modèle d'évaluation

a- La définition des composantes

Les cinq thématiques de vingt et une composantes, forment les paramètres du modèle et représentent la base sur laquelle s'appuie l'évaluation de l'état du tronçon. L'importance de ces composantes ne devient significative que lorsqu'elles sont reliées graphiquement entre elles.

Faciliter la navigation : Cette thématique se réfère à une époque historique. Concernant les aménagements effectués jusqu'en 1970. Elle inclut cinq composantes : Curage, Elargissement, Canalisation, Redressement et Rectification du tracé.

Lutter contre les inondations: Cette thématique se réfère à une époque récente et comprend les composantes suivantes : Terrassement, Digues, Drains construits.

Protéger les berges : Cette thématique renseigne sur les performances des actions anthropiques pour faire face à toutes sortes de dégradation. Elle se compose de cinq éléments : Géotextile, Enrochement, Végétal, Béton, Poteaux et Fil électrique. Ils assurent différents niveaux de protection en rapport avec l'intensité de l'érosion et les choix d'aménagement.

Améliorer l'écoulement : Cette thématique comporte trois éléments essentiels : Seuils construits, Calibrage du tracé et Barrage.

Entretenir le cours d'eau : Les actions permanentes dans le temps et dans l'espace comportent quatre composantes : Enlèvement d'obstacle, Bouturage, Déboisement, Fascinage.

Tableau 86: Les composantes du modèle

Thématiques	Composantes	Indicateur
Faciliter la navigation	Curage	Entretien historique dont les marques sont atténuées ou disparues
	Elargissement	Agrandissement du lit mineur
	Canalisation	Créations un deuxième lit pour des raisons économiques et sécuritaires
	Redressement	Actions dans les endroits sinueux, recoupement des méandres pour faciliter l'écoulement
	Rectification du tracé	Linéarisation du tracé avec des actions lourdes
Lutter contre les inondations	Terrassement des berges	Calibrage du lit selon les débits passent
	Digues	Des constructions de protection contre les débordements
	Drains construits	Organiser les échanges d'eau entre le lit mineur et majeur
Protéger les berges	Géotextile	Tissu de protection des berges contre le glissement
	Enrochement	Des blocs de protection contre l'érosion des berges
	Végétation arborée	L'implantation des arbres au bord des berges pour lutter contre la dégradation des berges
	Protection bétonnée	Maçonner une partie du lit mineur pour faciliter l'écoulement
	Poteaux de stabilisation	Fixation de la berge afin d'éviter son recul à cause de l'érosion
	Fil électrique	Protection des berges contre le piétinement du bétail
Améliorer les écoulements	Seuils construit	Création une rupture de pente pour accélérer la vitesse de l'eau
	Calibrage	Bétonner l'ensemble du lit mineur y compris les berges des deux côtés pour lutter contre l'érosion et les débordements
	Barrage	Contrôler les quantités d'eau circulée et stopper les matériaux
Entretenir le cours d'eau	Enlèvement d'embâcle	Enlèvement de tous les perturbateurs qui peut gêner les écoulements
	Bouturage	Entretien de la berge par l'implantation des poteaux contre le bétail
	Déboisement	Déboisement des branches baignant dans le cours d'eau
	Fascinage	Plantation des poteaux pour protéger dès la mise en place des aménagements lourds (plantation des arbres, géotextile.. ;)

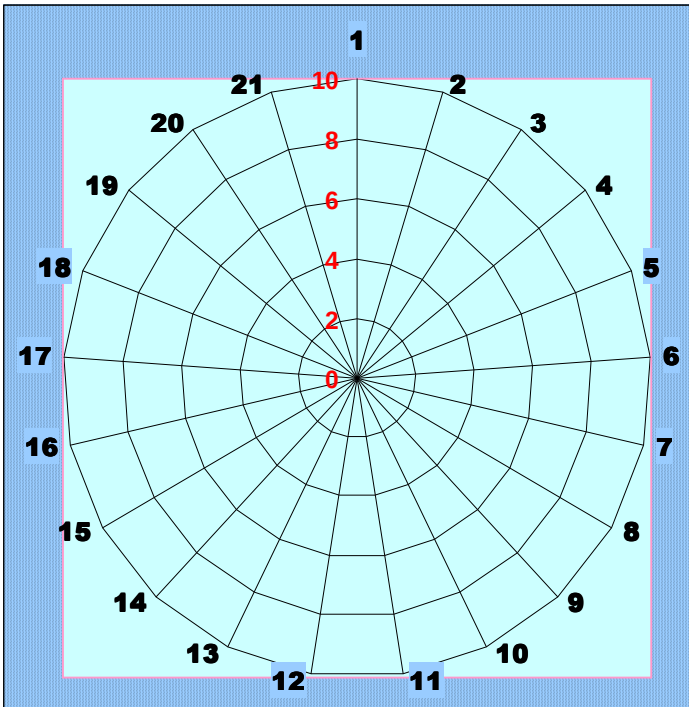
b- La présentation graphique

Il s'agit de construire des graphiques selon le degré de fréquence d'apparition des composantes. Généralement dans la bibliographie, Rolland-May (2000) six caractéristiques ont été définies. Chacune a une note selon l'intensité du phénomène. Cette note est figurée sur le graphique polaire.

Tableau n°87: Les calibrages du modèle

Caractéristiques	Situation dans le graphique
Nulle	au centre du graphe.
Très faible	située au 2/10 à partir du centre du cercle.
Faible	située au 4/10 du rayon à partir du centre du cercle.
Moyenne	située au 6/10 du rayon à partir du centre du cercle.
Forte	située au 8/10 du rayon à partir du centre du cercle.
Très forte	située au 10/10 du rayon à partir du centre du cercle.

Figure n°125: Graduation du graphique polaire



Légende du graphique polaire

Faciliter la navigation
1- Curage
2- Canalisation
3- Elargissement du lit mineur
4- Redressement
5- Réctification du tracé

Lutter contre les inondations
6- Terrassement des berges
7- Digues
8- Drains construits

Protégér des berges
9- Géotextille
10- Enrochement
11- Poteaux de stabilisation
12- Protection bétonnée
13- Végétalation arborée
14- Fil électrique

Améliorer l'écoulement
15- Seuil construit
16- Barrage
17- Calibrage du lit mineur

Entretenir le cours d'eau
18- Fascinage
19- Bouturage
20- Déboisement
21- Enlèvement d'obstacle

Pour arriver à évaluer le niveau de chaque composante sur la même échelle (0-10), deux problèmes ont dû être résolus : la gestion des données quantitatives et la gestion des composantes quantitatives et leur impact relatif. Ce double défi a nécessité d'utiliser des règles mathématiques simples qui permettent d'évaluer le niveau des composantes quantitatives.

2- Le calcul des variables

L'objectif principal est de déterminer des règles de calcul pour les vingt et une composantes des cinq grandes thématiques d'aménagement. Une fois la valeur des variables calculée selon des formules que nous allons présenter, elles sont cadrées par des règles d'inférences qui représentent pour le modèle un cadrage mathématique et logique pour une homogénéisation de l'échelle selon laquelle seront évaluées les vingt et une variables des différents tronçons. Pendant l'élaboration des formules de calcul, nous étions obligés de prendre en compte la nature, la fréquence de chaque composante par tronçon.

a- Les variables de la thématique « faciliter la navigation»

** Curage* :

Il est évalué à partir du rapport entre la longueur, le type de curage et le nombre d'application dans le tronçon, sachant que cette opération fait partie des aménagements anciens. Toutes les opérations ont été complétées en différenciant les types de curage. Le curage sévère, note 7/10 et le curage simple avec une note de 3/10. Ainsi :

X = Type de curage * Nombre de curage / Longueur du tronçon.

** Canalisation* :

On différencie

- Le type du canal destiné à faciliter l'écoulement (note 7/10) et canal de dérivation qui mène l'eau vers les moulins (3/10).
- La date de création = action antérieure (note de 7/10) et action postérieure à 1970 (note de 3/10).

X = Type du canal * la date de création / la longueur du tronçon

* *Elargissement du lit mineur* :

Le problème qui s'est posé pour cette évaluation est que nous ne disposons pas des mesures pour tous les tronçons concernés. On s'est donc basé sur le rapport du nombre d'élargissement et le type d'élargissement.

- l'endroit élargi est rectiligne x = 3
- l'endroit élargi est sinueux x = 7

X = (le nombre d'élargissement / type d'élargissement) * 100

* Redressement :

Les endroits redressés ont également été classés selon leur localisation dans le tracé

- si l'endroit redressé est rectiligne x = 3
- si l'endroit redressé est sinueux x = 7

X = Nombre de redressement * type de l'endroit redressé / longueur du tronçon

* *Rectification* du tracé:

Le grand chantier de rectification de la Seille a été fait au moyen âge, des travaux de rectification ont touché l'ensemble du tracé. Ces travaux ont été évalués selon la relation entre le nombre de rectification dans le tronçon et le type de rectification.

- si l'endroit rectifié se trouve au niveau rectiligne x = 3
- si l'endroit rectifié se trouve au niveau des cônes x = 7

X = Nombre de rectification * type de rectification

b- Les variables qui traduisent la lutte contre les inondations

* *Terrassement* des berges :

Le terrassement est évalué à partir du rapport entre la distance terrassée et la longueur du tronçon.

X= La longueur des berges occupées par les terrasses / La longueur du tronçon)* 100

* *Digue* :

Dans le but d'adapter nos données au modèle, on a classé les digues selon leur positionnement, et on a cherché une équation pour que la somme des digues ne dépasse pas les 100 et le deuxième individu est le double du premier, le troisième est le triple du premier jusqu'au dernier. Soit un système d'équations simples :

X = a+b+c+d+e+f
b = 2a
c = 3a
d = 4a

Donc

a = 10
b = 20
c = 30
d = 40

D'où on tire x a = 100

a = présence d'un pont qui est considéré comme une digue,
b = présence d'une digue qui a dessus des berges,
c = présence d'une digue dans le lit majeur perpendiculaire au tracé,
d = présence d'une digue en parallèle du tracé.

X = (Somme du nombre de différents types de digues présentes dans le tronçon) /longueur du tronçon.

* Drain construit :

Deux types de drains ont été différenciés : les drains connectés avec le cours (note de 7/10) et les drains non connectés avec le cours d'eau (note de 3/10).

X = Type de drains construits * la longueur du tronçon

c- Les variables qui assurent la protection des berges

* Géotextile :

Cette variable prend en considération la localisation dans le tracé (rectiligne ou sinueux) et le type des berges protégées.

- berge basse inclinée ou berge haute inclinée.
- positionnement dans le tracé rectiligne ou sinueux.

Selon le degré de résistance chaque type a reçu une note comprise entre (2 et 8) soit :

Tableau n°88: Calcul du variable de géotextile

Localisation dans le tracé (A1)	**Forme de la berge (A2)**
Sinueux : 7	Berge basse Inclinée : 3
Rectiligne : 3	Berge haute Inclinée : 7

X = Localisation dans le tracé (A1) + Forme de la berge (A2) / 2

* Enrochement :

Pour évaluer l'importance des enrochements dans le système d'aménagement de la Seille, trois indicateurs : la longueur de la berge (RD + RG), la taille des enrochements (diamètre) et enfin leur localisation dans le tracé.

x 1 = longueur occupée par les enrochements / longueur totale du tronçon

x 2 = Taille des enrochements + Localisation

Pour la taille des blocs des enrochements, on a différencié:

- des blocs de petit taille avec un calibre qui varie entre 10 cm et 30 cm (note de 3/10).
- des blocs qui possèdent une taille moyenne avec un calibre qui varie entre 30 cm et 50 cm (une note de 7/10).
- des blocs qui possèdent une taille supérieure à 50 cm (une note de 10/10).

Pour la localisation, les deux situations : sinueux (une note de 7/10) et rectiligne (3/10) ont été différenciées.

Au final la composante enrochements a été évaluée de la façon suivante :

X = x 1 + x 2

* *Poteau de stabilisation* :

Pour évaluer cette variable on a utilisé le même principe que pour les enrochements : la longueur occupée par les poteaux, la nature de ces poteaux et leur localisation.

Soit x 1 = longueur occupée par les poteaux / longueur du tronçon

Pour la nature et la localisation, on différencie plusieurs éléments

Tableau n°89: Calcul du variable des poteaux de stabilisation

Nature	**Localisation**	
Béton : 3	Sinueuse : 7	x 2 = nature + localisation
Métallique : 7	Rectiligne : 3	

Ainsi : **X = x 1 + x 2**

* Protection *bétonnée :*

Les diverses situations sont évaluées par le rapport entre la longueur de berge concernée et le positionnement dans le tracé.

Soit x 1= la longueur de la berge bétonnée / la longueur totale du tronçon

Pour la localisation trois types de localisation ont été pris en compte :

- Apparition du béton seulement dans le lit mineur a = 3
- Apparition du béton dans la berge : b = 7
- Apparition du béton dans la berge et le lit mineur : c = 10

Soit : x 2 = (a + b + c)

Ainsi : **X = x 1 * x 2**

* *Végétation arborée* :

L'évaluation est faite à partir du rapport entre la longueur végétalisée dans le tronçon et la longueur du tronçon.

X = (la longueur végétalisée dans le tronçon / la longueur totale du tronçon) * 100

** Fil électrique:

L'existence ou l'absence de cette variable dans le tronçon permet d'attribuer deux notes différentes :

- Si le tronçon possède ce type d'action x = 7
- Si le tronçon ne possède pas ce type d'action x = 3

d- Les variables exprimant l'amélioration des écoulements

* Seuil construit:

Cette variable a été évaluée par le rapport entre le nombre des seuils dans le tronçon et la longueur du tronçon.

X = (le nombre des seuils construits / la longueur du tronçon)*100

* Barrage :

Pour évaluer cette variable, deux éléments ont été retenus : le nombre de barrages par tronçon et le type de barrage (fixes ou mobiles). On a attribué pour chaque type une note selon leur importance dans la gestion des crues.

- Si le barrage est fixe x = 7
- Si le barrage est mobile x = 3

Ainsi, **X = Nombre par tronçon * type**

* Calibrage du lit mineur :

Dans le but d'adapter cette variable au modèle, on a différencié le calibrage total qui concerne l'ensemble du tronçon et le calibrage partiel qui ne touche que quelques endroits dans le tronçon.

Aussi, - si l'ensemble du tronçon est calibré X = 10

- si le calibrage couvre juste une proportion dans le tronçon X = 5

e- Les variables d'entretien du cours d'eau

** Fascinage :

Le fascinage se présente sous des allures très variées. Nous avons aussi choisi en l'évaluant en tenant simplement compte de sa présence (x = 7) ou de son absence (x = 3) dans le tronçon.

** Bouturage :

Comme pour les variable précédente, l'information retenue est: l'existence ou l'absence de cette variable dans le tronçon.

- Si le tronçon possède ce type d'aménagement x = 7
- Si le tronçon ne possède pas ce type d'aménagement x = 0

** Déboisement :

Il traduit la présence de branchages baignant dans l'eau. Il gêne l'écoulement et nécessite une intervention humaine. Trois situations ont été déterminées:

- Situation normale (des branches cachent les berges) : 1
- Situation moyenne (des branches s'étendent dans le chenal) : 5
- Situation grave (des branches flottent dans le cours d'eau) : 10

La note 0 signifie l'absence de la végétalisation arborée dans le tronçon.

** Enlèvement des embâcles :

Cette composante associe deux indicateurs : la longueur du cours d'eau occupée par les embâcles dans le tronçon et le type d'embâcle.

x 1 = Longueur occupée par les embâcles / longueur totale du tronçon

- Pour les types d'embâcles on différencie plusieurs éléments pour lesquels nous avons attribué une note :

Tableau n°90: Calcul de la composante de l'embâcle

A1	**A2**	**A3**
Végétaux	Matériaux	Déchets divers
Petit : 6	-	-
Moyen : 8	-	-
Grand : 10	-	-
Entre 6 et 10	4	2

x 2 = A1+ A2 +A3

Au final, l'évaluation des embâcles est : **X = x 1 * x 2**

Tableau n°91: Description des vingt et une composantes

Composantes	Définition	Type de composante	Bornes	
			Infér ^	Super v
Curage	Rapport entre le nombre, le type de curage et la longueur du tronçon	Quantitative	0	40
Canalisation	Rapport entre la longueur du canal, la date de création et la longueur du tronçon	Quantitative	0	10
Elargissement du lit mineur	Rapport entre le nombre et le type d'élargissement	Quantitative	0	40
Redressement	Rapport entre la longueur, le nombre et le type de redressement	Quantitative	0	8,6
Rectification du tracé	Relation entre le nombre et type de rectification	Quantitative	3	49
Terrassement des berges	Rapport entre la longueur occupée et la longueur totale du tronçon	Quantitative	0	0,7
Digues	Rapport entre le nombre, le type de la digue et la longueur totale du tronçon	Quantitative	6,7	95
Drains construits	Relation entre le type du drain et la longueur du tronçon.	Quantitative	10	69
Géotextile	Relation entre l'étendue spatiale, le type, et la forme de la berge.	Quantitative	0	29
Enrochements	Relation entre l'étendue spatiale et la taille de ces enrochements	Quantitative	0	17
Poteaux de stabilisation	Relation entre la longueur, la nature et la localisation.	Quantitative	0	14
Protections bétonnées	Relation entre la longueur et la localisation	Qualitative	0	10
Végétation arborée	Rapport entre la longueur végétalisée et la longueur totale du tronçon	Quantitative	0	22
Fil électrique	Présence ou absence dans le tronçon	Qualitative	3	7
Seuil construit	Rapport entre le nombre et la longueur totale du tronçon	Quantitative	0	100
Barrages	Relation entre le nombre et le type	Quantitative	0	14
Calibrage du lit mineur	Absence ou apparition du calibrage	Quantitative	0	10
Le fascinage un moyen de protection des berges	Présence ou absence dans le tronçon	Qualitative	0	7
L'importance de la technique bouturage	Présence ou absence dans le tronçon	Qualitative	0	7
Déboisement de la végétation favorise l'écoulement	Présence ou absence dans le tronçon	Quantitative	0	10
Enlèvement des embâcles	Relation entre la longueur et le type d'embâcle	Qualitative	0	73

Ainsi au long de la Seille les variables qui présentent des actions d'aménagements nombreuses sont parfois difficiles à évaluer. Les plus pertinentes sont celles qui sont appréciées par des longueurs des berges concernées. Au final, les variables qui composent les cinq thématiques d'aménagement ont été classées selon leur importance dans la stabilité de l'état du milieu en deux catégories :

- Les composantes du premier ordre : ce sont des actions lourdes mais qui apparaissent dans le paysage fluvial. En effet, sur les vingt et une variables, quinze appartiennent à cette

catégorie : Canalisation, Elargissement du lit mineur, Redressement, Rectification du tracé, Terrassement des berges, Digues, Drains construits, Géotextile, Enrochements, Poteaux de stabilisation, Protections bétonnées, Végétation arborée, Seuil construit, Barrages et enfin Calibrage du lit mineur.

- Les composantes du deuxième ordre : ce sont des actions peu visibles, souvent plus anciennes en rapport avec l'entretient du lit ou recalibrées très ponctuellement. Seulement, six variables composent cette catégorie : Curage, Fil électrique, Fascinage, Bouturage, Déboisement, Enlèvement des embâcles.

3- Le calcul du taux d'aménagement dans les tronçons déterminés

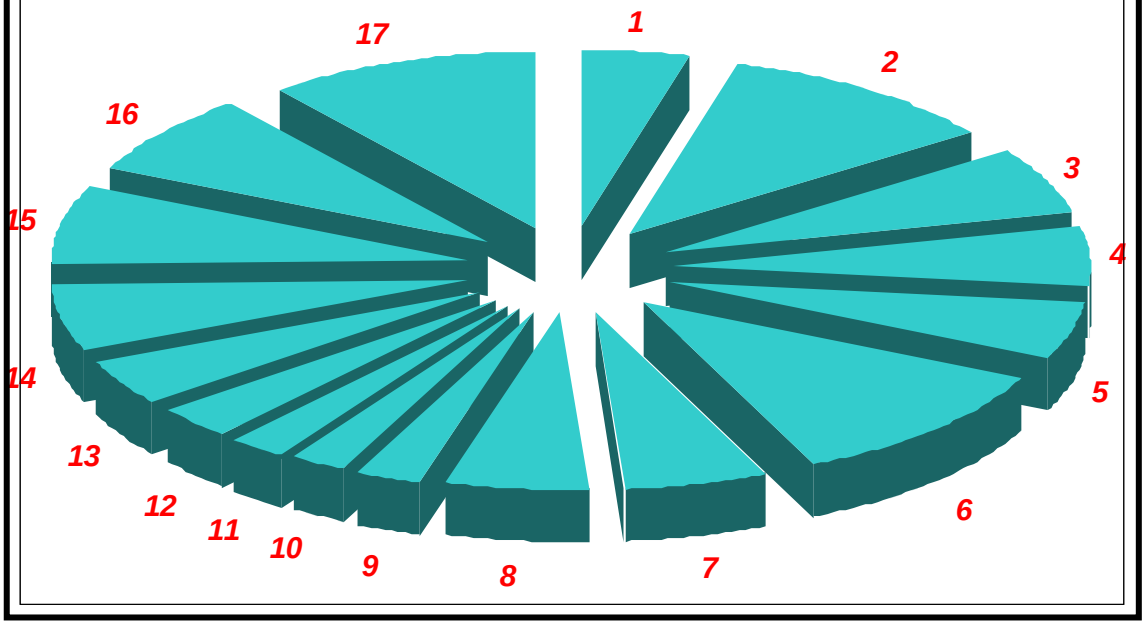
Le taux d'aménagement est le résultat du rapport entre la longueur totale du tronçon et la distance aménagée utilisée.

T. A. = (longueur du tronçon / distance aménagée dans le tronçon)*100

Tableau n° 92: Calcul du composant taux d'aménagement

Tronçons	Longueur en Km (RD + RG) **(1)**	Distance aménagée **(2)**	Taux d'aménagement **(1/ 2)* 100**
1	6,56	2,38	36,3
2	1,21	1,21	100,0
3	9,85	5,36	54,4
4	17,14	8,09	47,2
5	12,71	6,26	49,3
6	0,88	0,88	100,0
7	15,96	7,96	49,9
8	12,01	6,2	51,6
9	25,42	5,1	20,1
10	11,82	2,5	21,2
11	25,91	4,9	18,9
12	7,25	2,1	29,0
13	14,36	5,4	37,6
14	18,89	10,3	54,5
15	16,89	10,7	63,4
16	17,79	12,12	68,1
17	21,07	19,8	94,0

Figure n°126 **La répartition du taux d'aménagement par tronçons (du 1 à 17)**



Le taux d'aménagement varie entre 18,9 et 100 %, ce qui révèle le caractère très anthropisé de la Seille. Chaque tronçon est affecté au minimum sur 1/5 de sa longueur par des interventions diverses et aucun n'est épargné. Le modèle va permettre d'apprécier plus rigoureusement les niveaux d'intensité de ces aménagements.

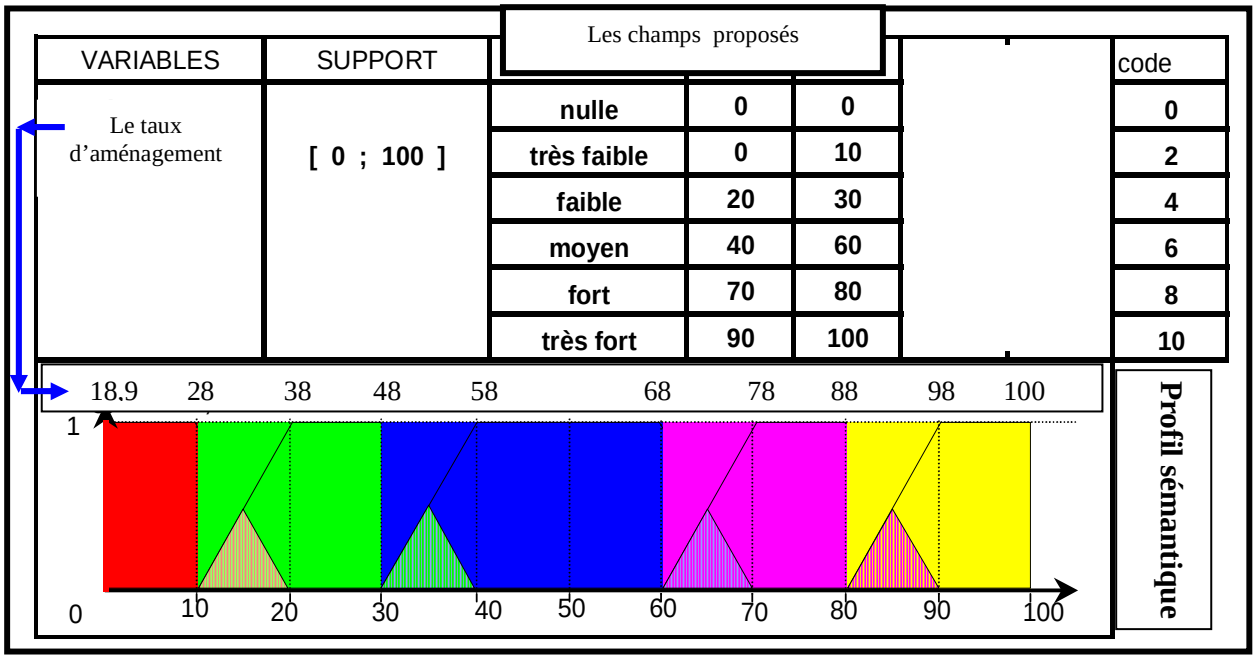
II- L'application du modèle et les résultats

Cette opération se compose de trois phases : emplacement des valeurs dans le profil sémantique, passage au codage qualitatif et enfin résultats.

1- L'emplacement des valeurs dans le profil sémantique et l'évaluation

Le profil sémantique est un outil proposé par Rolland – May (2000). Il se compose d'une grille qui permet de qualifier et de hiérarchiser nos données en les répartissant dans six catégories. Pour nous, il s'agit de convertir en appréciation qualitative les taux d'aménagements pour l'utilisation de ce profil sémantique. A chaque champ elle a attribué un code qui évalue le niveau du taux d'aménagement. Le placement des résultats des taux d'aménagements obtenus auparavant dans ce profil sémantique prend donc 18,9 % comme valeur minimale et 100 % comme valeur maximale, cela donne un profil sémantique du taux d'aménagement comme suit :

Figure n°127: Profil sémantique



Le placement de ces valeurs dans le profil sémantique permet de déterminer leur codage afin de faciliter leur intégration dans le modèle. Deux types de données sont concernés par ce codage : les taux d'aménagement qui concerne les tronçons et les vingt et une variables calculées auparavant.

a- Le passage au codage qualitatif

Seulement cinq classes correspondant à l'évaluation du niveau du taux d'aménagement ont été atteintes des six classes proposées par le profil sémantique. Elles sont présentées dans le tableau n°93.

Tableau n°93: Le codage qualitatif

Tronçons	Taux d'aménagement	Classe sémantique	Code
11	18,9	Très faible	2
9	20,1	Faible	2
10	21,2	Faible	4
12	29,0	Faible	4
1	36,3	Faible	4
13	37,6	Faible	4
4	47,2	Moyenne	6
5	49,3	Moyenne	6
7	49,9	Moyenne	6
8	51,6	Moyenne	6
3	54,4	Moyenne	6
14	54,5	Moyenne	6
15	63,4	Forte	8
16	68,1	Forte	8
17	94,0	Très forte	10
2	100,0	Très forte	10
6	100,0	Très forte	10

Au final, sur les dix sept tronçons, onze se caractérisent par un taux d'aménagement moyen (6/10) à très fort (10/10).

b- Le passage au codage des vingt et une variables

Les six classes proposées par le profil sémantique correspondent exactement aux sept états qui concernent le degré de l'aménagement dans chaque tronçon. L'attribution d'un code pour les vingt variables a permis la construction d'une matrice de vingt et une lignes (variables) sur dix sept colonnes (tronçons). Les résultats de cette matrice seront représentés dans le graphique polaire et vont permettre de déterminer le degré de l'anthropisation dans le tronçon ainsi que les types d'actions.

Dans le but de déterminer la réponse du cours d'eau aux aménagements, on a classé les cinq grands axes des aménagements réalisés dans la Seille, ensuite on a déterminé des indicateurs qui nous informent sur l'état de l'évolution de ces aménagements (tableau n°94).

Tableau n°94: Les résultats de l'évaluation des variables pour tous les tronçons

Tronçons	Tronçon 1	Tronçon 2	Tronçon 3	Tronçon 4	Tronçon 5	Tronçon 6	Tronçon 7	Tronçon 8	Tronçon 9	Tronçon 10	Tronçon 11	Tronçon 12	Tronçon 13	Tronçon 14	Tronçon 15	Tronçon 16	Tronçon 17
Curage	6	10	6	4	4	8	2	6	4	4	2	4	2	2	2	2	2
Canalisation	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elargissement du lit mineur	4	4	2	4	4	4	4	6	8	6	8	6	6	6	8	8	10
Redressement	2	2	2	2	2	2	2	6	8	6	10	2	4	8	8	4	8
Rectification du tracé	2	2	2	6	2	2	2	6	8	6	8	6	4	6	8	10	10
Terrassement des berges	0	0	0	0	0	0	0	2	2	10	6	2	0	0	0	0	0
Digues et remblais	6	10	4	2	4	10	6	4	2	4	2	8	6	6	8	6	8
Drains construits	8	2	2	10	2	2	2	0	0	0	8	0	10	2	10	2	8
Géotextile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	8	0	10	0
Enrochements	0	6	0	0	0	4	4	2	0	8	2	8	10	8	10	2	10
Poteaux de stabilisation	0	0	0	0	0	0	6	8	8	0	0	2	0	0	10	8	10
Protections bétonnées	2	8	0	0	0	10	0	0	2	2	0	6	0	2	0	4	8
Végétation arborée	8	4	0	0	0	2	2	0	0	10	4	8	4	4	6	6	8
Fil électrique	4	2	6	4	4	2	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2
Seuil construit	6	10	0	2	2	0	2	2	6	4	8	4	6	8	2	6	8
Barrages	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	2	8	10	8	10
Calibrage du lit mineur	0	6	0	0	0	10	2	0	0	0	0	0	6	0	6	0	0
Fascinage un moyen de protection des berges	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	2	2	2
Importance de la technique bouturage	2	10	2	2	2	8	2	2	4	6	4	6	4	4	4	2	2
Déboisement de la végétation favorise l'écoulement	2	2	4	4	4	4	4	2	2	8	8	8	4	4	4	2	2
Enlèvement des embâcles	4	8	4	2	2	2	8	6	8	2	10	10	4	10	6	8	10

2-Evaluation de la réponse du cours d'eau aux aménagements de la Seille

Dans le but de déterminer la réponse du cours d'eau aux aménagements, on a déterminé des indicateurs qui informent sur l'état de l'évolution de ces aménagements (tableau n°95), définis à partir des résultats obtenus dans le chapitre précédent.

- les axes d'aménagement retenus sont ceux analysés auparavant : faciliter la navigation, lutter contre les inondations, protéger des berges, améliorer les écoulements et entretenir le cours d'eau.

- les indicateurs retenus pour l'évaluation de ces axes d'aménagements sont : envasement, apparition des bancs pour la facilité la navigation, état des digues, état des barrages, état des drains pour la lutte contre les inondations, état des berges pour la protection des berges, supervision des conditions d'écoulement. Pour l'entretien du cours d'eau, on a l'apparition des embâcles, et le déboisement.

- l'évaluation des réponses du cours d'eau est faite selon le degré de leur état général, chaque état de ces aménagements a reçu une note qui varie entre 1 et 3.

- Fort = 3, Moyen = 2 et Faible = 1

Tableau n°95: Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements du bassin

	A	B	C	D	E
Axes aménagement	**Faciliter la navigation**	**Lutter contre les inondations**	**Protéger les berges**	**Améliorer les écoulements**	**Entretenir le cours d'eau**
Indicateur	* Envasement et apparition des bancs	* Etat des digues, des barrages et des drains construits	* Etat des berges	*Conditions d'écoulement	*Apparition d'embâcles et déboisement
Constat	- Lit normal = 1 -Lit moyennement envahi = 2 -Lit fortement envahi = 3	-Débordement rare =1 -Débordement temporaire = 2 -Débordement régulier = 3	-Erosion faible = 1 -Erosion moyenne = 2 -Erosion forte = 3	-Condition mauvaise = 1 -Condition moyenne = 2 -Condition bonne = 3	-Entretien permanent = 1 -Entretien occasionnel = 2 - Entretien absent = 3
Indice évaluation de réponse du cours d'eau	$X = (A + B + C + D + E) / 5$				

- Si X = 3 la réponse du cours d'eau est **forte**
- Si X = 2 la réponse du cours d'eau est **moyenne**
- Si X = 1 la réponse du cours d'eau est **faible**

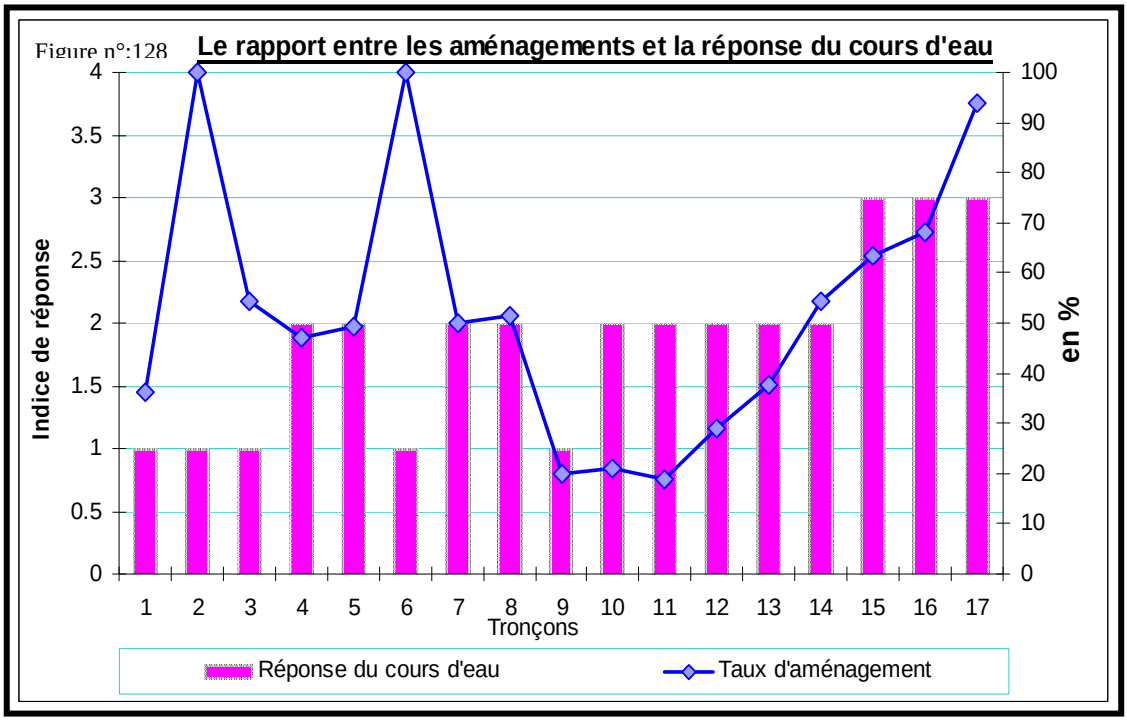
L'application de ce modèle sur les 17 tronçons de la Seille a donné les résultats qui sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau n°96: L'indice de réponse de la Seille aux aménagements du cours d'eau

Tronçons	Faciliter la navigation	Lutter contre les inondations	Protéger des berges	Améliorer les écoulements	Entretenir le cours d'eau	Indice de réponse	
1	3	1	1	1	1	**1**	**Faible**
2	1	1	1	3	1	**1**	**Faible**
3	3	1	1	1	1	**1**	**Faible**
4	3	2	1	1	1	**2**	**Moyen**
5	3	2	1	2	2	**2**	**Moyen**
6	1	1	1	3	1	**1**	**Faible**
7	3	2	2	2	1	**2**	**Moyen**
8	3	2	3	1	1	**2**	**Moyen**
9	2	1	2	1		**1**	**Faible**
10	2	1	3	1	1	**2**	**Moyen**
11	2	2	3	2	1	**2**	**Moyen**
12	2	2	2	2	1	**2**	**Moyen**
13	2	2	1	2	2	**2**	**Moyen**
14	1	3	3	3	2	**2**	**Moyen**
15	2	3	2	3	3	**3**	**Fort**
16	2	3	3	3	3	**3**	**Fort**
17	3	3	3	3	3	**3**	**Fort**

On constate que la réponse de la Seille à ces aménagements et rarement forte et varie selon les zones. A l'amont, la réponse est faible sauf dans les tronçons 4 et 5 où les débordements en lit majeur sont plus fréquents. Ceci est dû à l'intensité des actions anthropiques, surtout les anciennes modifications du tracé, ainsi que les faibles lames d'eau écoulées, qui restent insuffisantes pour déclencher une dynamique érosive très active. Dans cette partie du cours, l'emprise humaine est plus forte que la dynamique naturelle du cours d'eau, par ailleurs peu importante. Dans la partie médiane peu aménagée, caractérisée par une dynamique moyenne, très active lors des crises hydrologiques, la réponse reste moyenne. Dans cette partie les conditions naturelles déterminent surtout une érosion des berges. Dans la partie aval, malgré l'intensité des aménagements qui caractérise l'ensemble de cette partie, la réponse du cours d'eau reste très forte. Les conditions d'écoulement sont bonnes, les débits sont forts, ce qui favorise la dynamique fluviale malgré les aménagements importants, cette zone est très active et développe une réponse positive.

Afin de mieux identifier la réponse du cours d'eau aux aménagements du cours d'eau, nous avons superposé ces réponses au taux d'aménagement.



Plus en détails, sur les 17 tronçons cinq ont une réponse faible, neuf ont une réponse moyenne et trois ont une réponse forte. Si nous prenons en compte le taux d'aménagement, on constate que les tronçons entièrement aménagés (100%) ont une réponse faible, ce qui est le cas des tronçons 2 et 6. Les tronçons qui ont un taux d'aménagement faible se situent au niveau de la partie médiane et se caractérisent par une réponse moyenne, à part le tronçon neuf (réponse faible). Dans la partie médiane le taux d'aménagement est variable et la réponse est très contrastée, mais majoritairement moyenne. On retrouve la partie aval avec un taux d'aménagement élevé et une réponse forte. Ceci est bien en rapport avec les caractéristiques hydrologiques et hydrauliques de cette zone.

III- Présentation des résultats

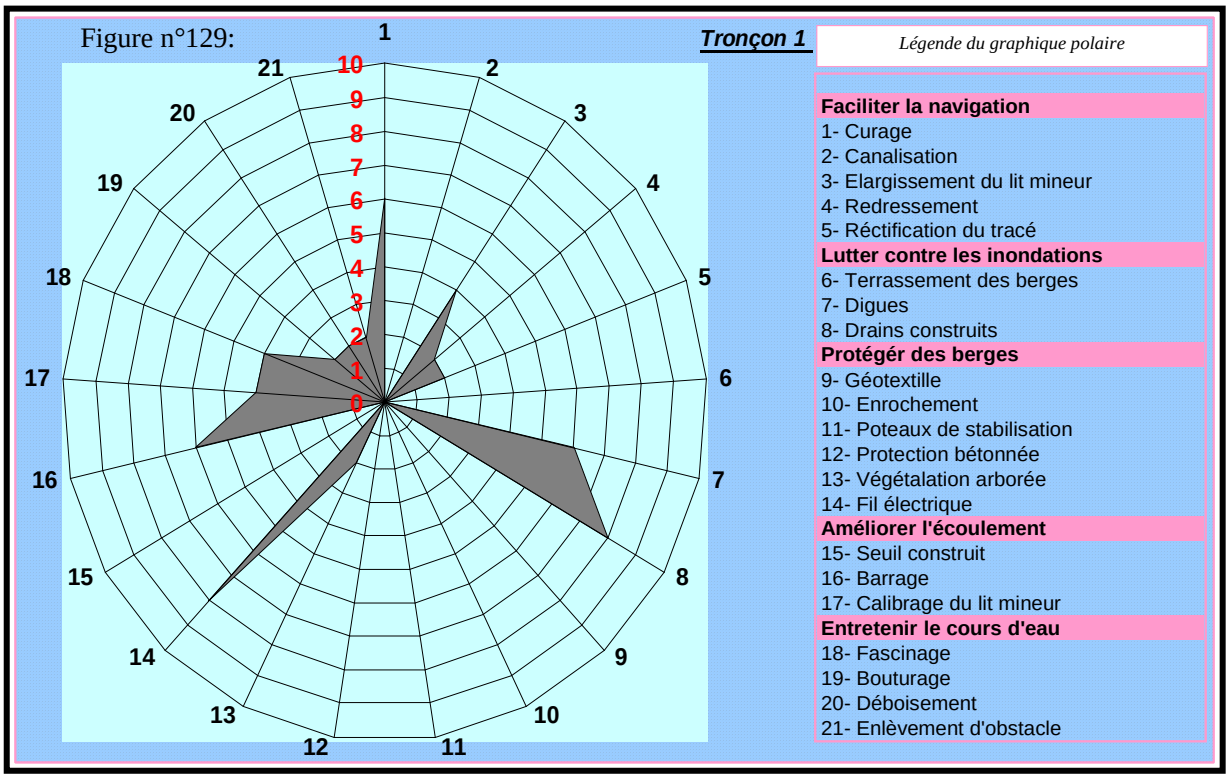
Nous allons essayer d'évaluer les résultats du modèle appliqué sur les tronçons du cours d'eau en tenant compte des deux critères déterminés auparavant, le taux d'aménagement et la réponse du cours d'eau aux aménagements.

Ces résultats sont présentées sous la forme de fiche comprenant le graphique polaire et un rapide commentaire.

Fiche d'identité du tronçon n° : 1

Localisation	Amont de la Seille (région des Etangs)
Longueur (rive droite + rive gauche)	6,56
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	2,38
Commune principale	Lindre basse
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	36,3
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Faible

Figure n°129:



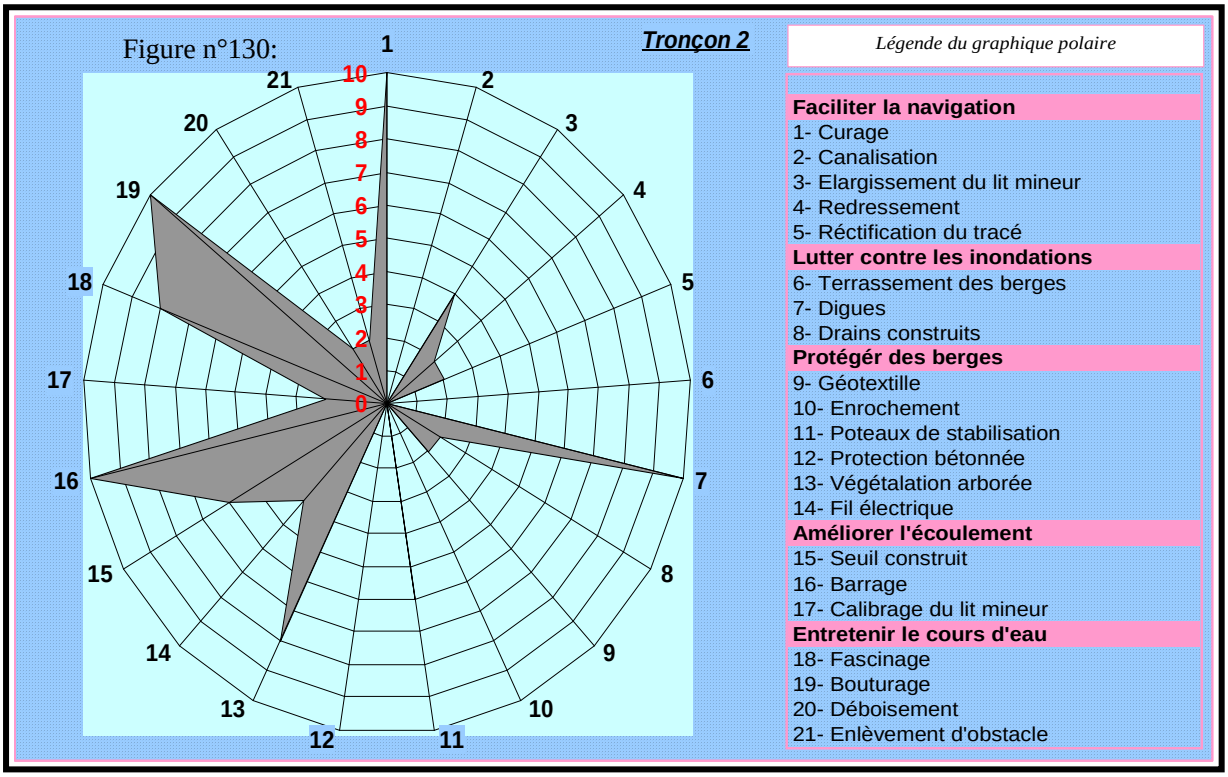
La silhouette est très restreinte et faiblement étendue vers la circonférence, elle montre une faible domination des aménagements. Le taux d'aménagement dans le tronçon est de 36,3 % de la distance totale, répartie sur les cinq grandes thématiques d'aménagement. Sur les vingt-et-une variables deux sont plus importantes : la protection végétale et les drains construits qui atteignent les 8 /10 sur l'échelle du modèle. Pour les huit variables restant les valeurs sont inférieures à 5/10.

Ce tronçon, souffre d'un nombre important d'aménagement, qui peut être expliqué par sa localisation à l'amont du cours d'eau juste à la sortie de l'étang du Lindre et l'absence des habitations. La réponse du cours d'eau reste faible car les lames d'eau écoulées sont faibles.

Fiche d'identité du tronçon n°: 2

Localisation	Amont de la Seille (région des Etangs)
Longueur (rive droite + rive gauche) en Km	1,21
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	1,21
Commune principale	Dieuze
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	100,0
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Faible

Figure n°130:



Selon le modèle d'évaluation, ce tronçon montre une diversité des actions d'aménagements qui atteint un taux d'aménagement de 100%. Cette prédominance des actions humaine est perçue par la présence des cinq thématiques d'aménagements qui enregistrent des notes très importantes sur l'échelle du modèle. Pour la thématique qui concerne « faciliter la navigation », le curage atteint un degré de 9/10 sur l'échelle du modèle. Pour la lutte contre les inondations, les digues marquent 10/10 sur l'échelle du modèle. En ce qui concerne la protection des berges, le béton enregistre 8/10. L'amélioration des écoulements, les seuils construits atteignent une valeur de 10/10 sur l'échelle du modèle. Enfin pour l'entretien du tronçon, le bouturage enregistre 10/10 sur l'échelle du modèle.

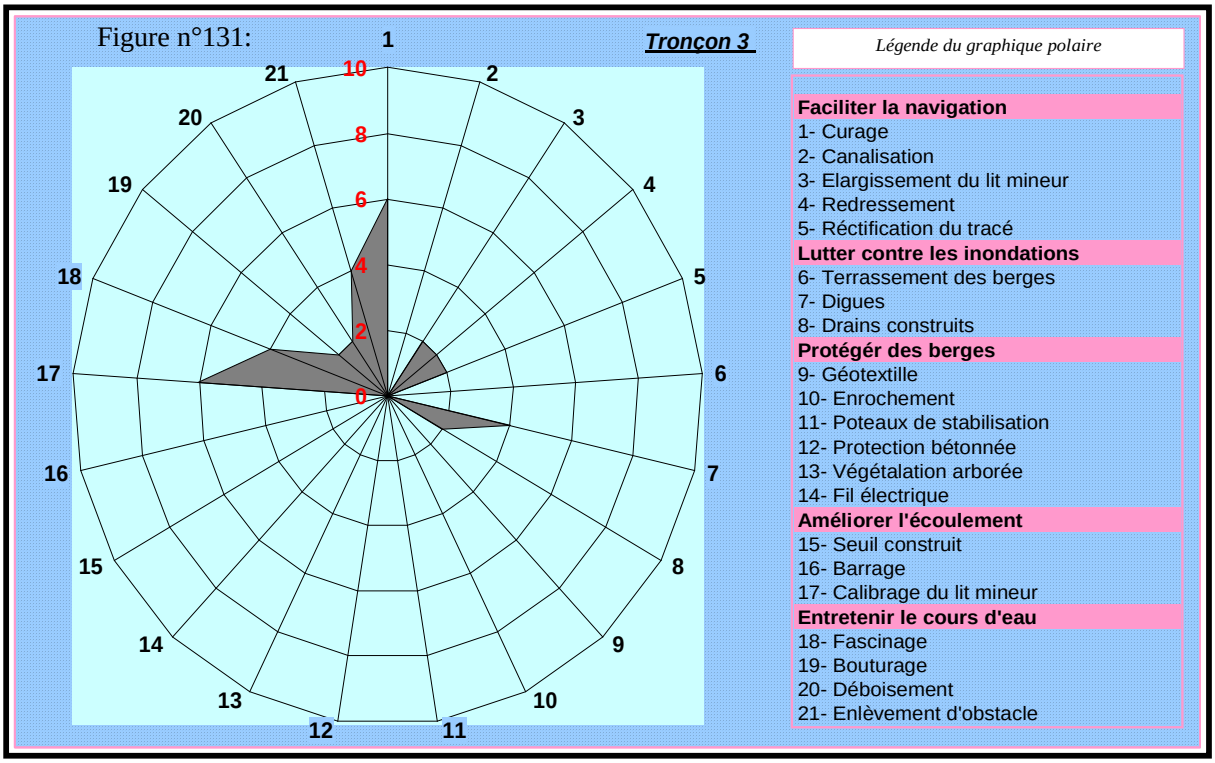
Cette situation est la conséquence de la traversée de l'agglomération de Dieuze où le risque d'inondation a poussé les gestionnaires à concentrer et renforcer les actions d'aménagement.

Ce tronçon est un exemple d'aménagement contrôlé et surveillé, d'ailleurs la réponse de la Seille à ces aménagements est faible.

Fiche d'identité du tronçon n° : 3

Localisation	Amont de la Seille (région Saulnois)
Longueur (rive droite + rive gauche)	9,85
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	5,36
Commune principale	Mulcy
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	54,4
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Faible

Figure n°131:



C'est un tronçon identifié par une silhouette peu dense dans sa partie supérieure, mais qui présente un taux d'aménagement non négligeable qui atteint les 54,4 %. Les moyens d'aménagement sont peu développés à part quelques actions d'entretien comme le fil électrique et le déboisement qui enregistre une valeur de 6/10 sur l'échelle du modèle. Les autres composantes connaissent un niveau très faible, sans oublier l'absence de plusieurs types d'aménagement. Cette situation provoque une perturbation dans le fonctionnement du tronçon.

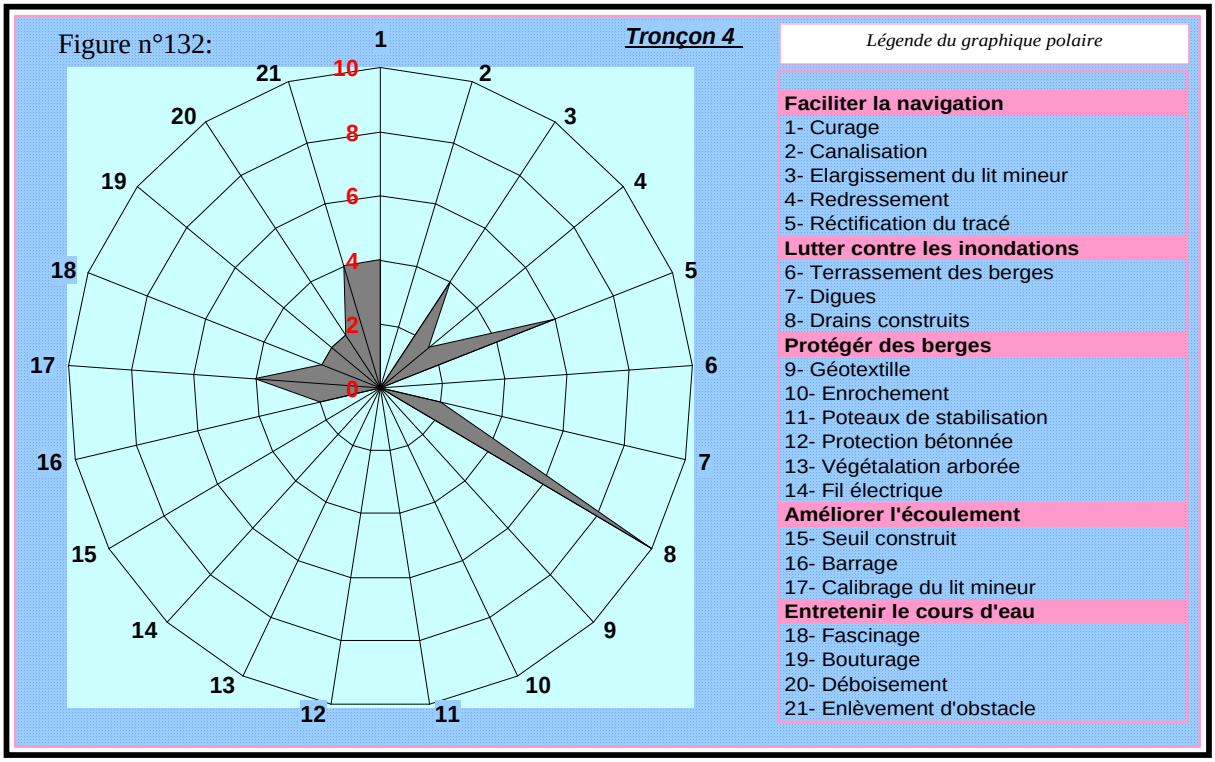
Si le système d'aménagement est globalement faible, c'est parce que ce tronçon est situé dans une vaste zone inondable, occupée par des prairies, ce qui explique la faible anthropisation du site. La réponse du cours d'eau reste faible.

Ce site reste très sensible aux inondations et présente une vulnérabilité permanente liée à l'impact du bétail sur les berges.

Fiche d'identité du tronçon n° : 4

Localisation	Amont de la Seille (région Saulnois)
Longueur (rive droite + rive gauche)	17,14
Distance aménagé (rive droite + rive gauche)	8,09
Commune principale	Marsal
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	47,2
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Moyen

Figure n°132:



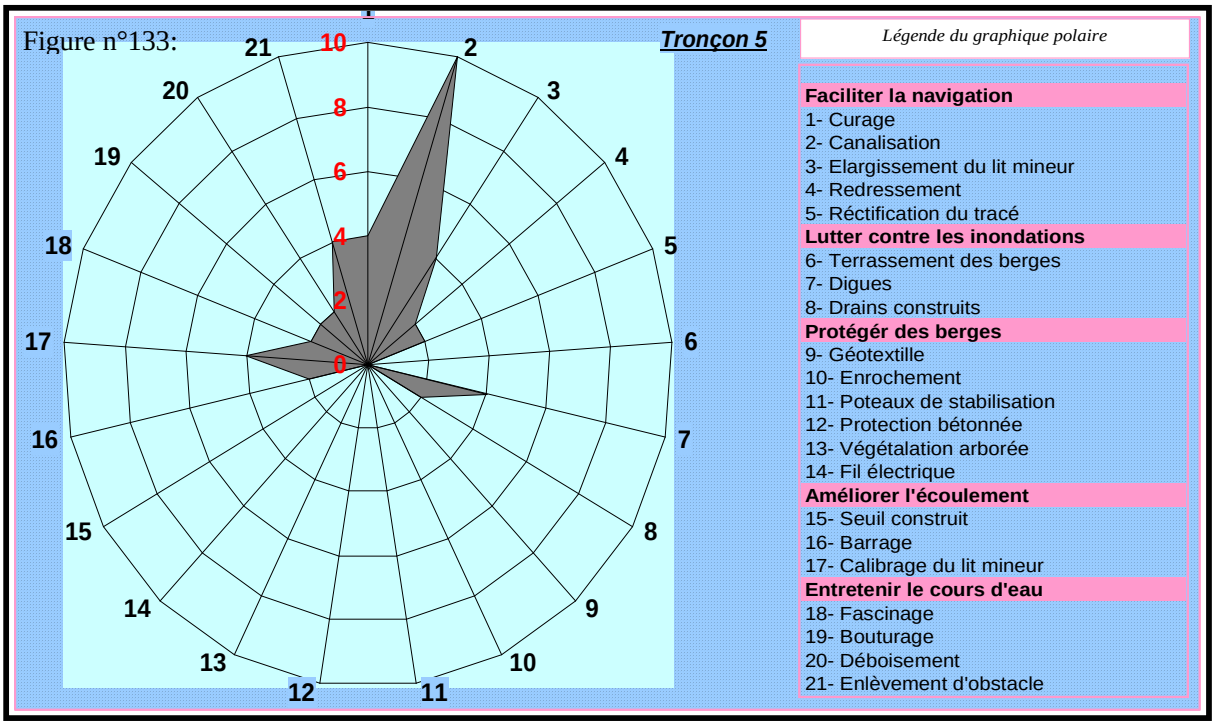
Le modèle polaire dégage un tronçon peu aménagé (taux d'aménagement de 47,2 %). Sur les vingt et une composantes seulement neuf variables apparaissent dans le site, dont sept sont inférieures à 4/10 sur l'échelle du modèle. Seule, une action qui facilite l'écoulement enregistre une note de 10/10 sur l'échelle du modèle. On constate une absence totale d'actions d'aménagement qui concernent la protection des berges. Comme précédemment, la Seille traverse une zone rurale, caractérisée par un tracé sinueux, influencée par les effets du bétail.

La réponse du cours d'eau est moyenne ce qui se traduit par une dégradation très localisée des berges.

Fiche d'identité du tronçon n° : 5

Localisation	Amont de la Seille (région Saulnois)
Longueur (rive droite + rive gauche)	12,71
Distance aménagé (rive droite + rive gauche)	6,26
Commune principale	Moyen Vic
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	49,3
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Moyen

Figure n°133:



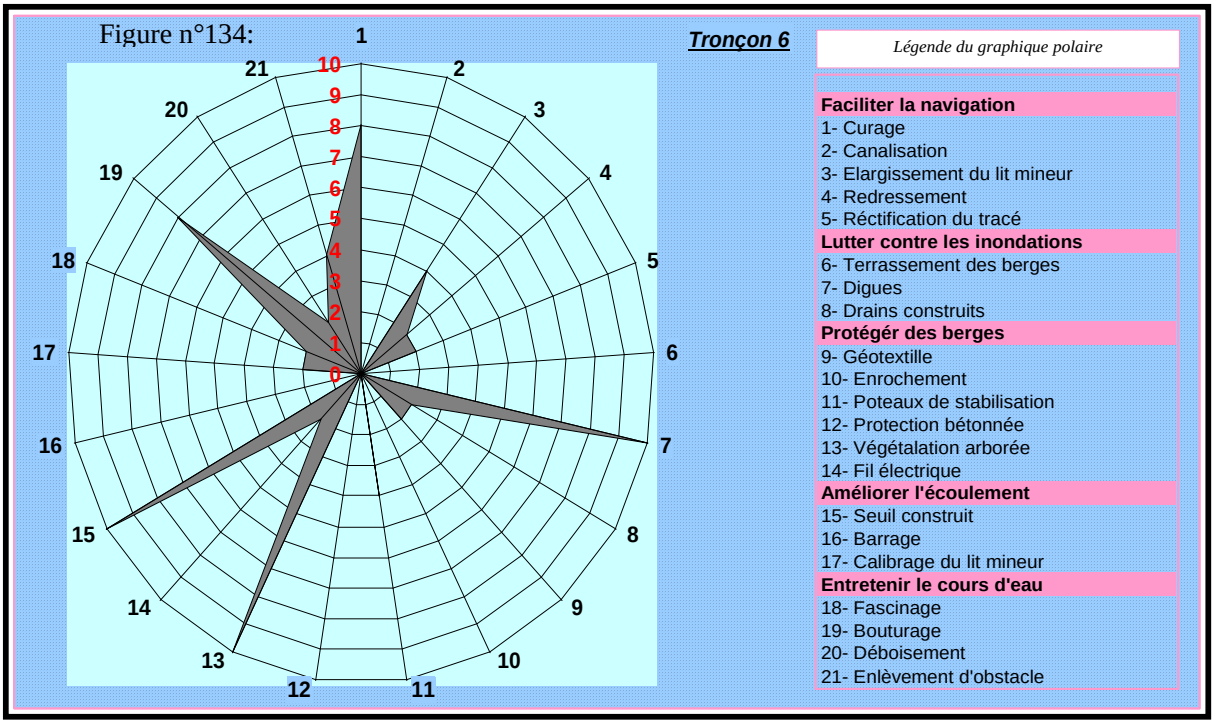
C'est un site qui montre une faiblesse à plusieurs niveaux et des incohérences nettes entres ces différentes thématiques d'aménagement. Le taux d'aménagement de 49,3 % a deux grands axes : - faciliter la navigation dont la canalisation du tracé atteint 10/10 sur l'échelle du modèle. - entretenir le cours d'eau qui reste malgré tout faible à part le fil électrique 4/10 dans l'échelle du modèle.

On note la faiblesse enregistrée dans les autres axes d'aménagement (protection des berges, lutte contre les inondations et amélioration des écoulements). Au niveau de la réponse du cours, elle est moyenne, ce qui se traduit par des dégradations moyennes des berges et des débordements occasionnels.

Fiche d'identité du tronçon n° : 6

Localisation	Amont de la Seille (région Saulnois)
Longueur (rive droite + rive gauche)	0,88
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	0,88
Commune principale	Vic Sur Seille
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	100,0
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Faible

Figure n°134:



La silhouette qui rappelle celle du tronçon 2, montre une présentation «parfaite » de chaque thématique. Ce tronçon arrive à atteindre un niveau « très bon » de l'aménagement, en témoigne l'échelle du modèle : 8/10 pur le curage, 10/10 pour les digues, 10/10 pour le béton, 10/10 pour le calibrage du tracé et 8/10 pour le bouturage. Cet équilibre qui caractérise ce site trouve son explication dans le fait que ce site traverse l'agglomération de Moyen-Vic et traduit cette emprise humaine totale sur le tronçon.

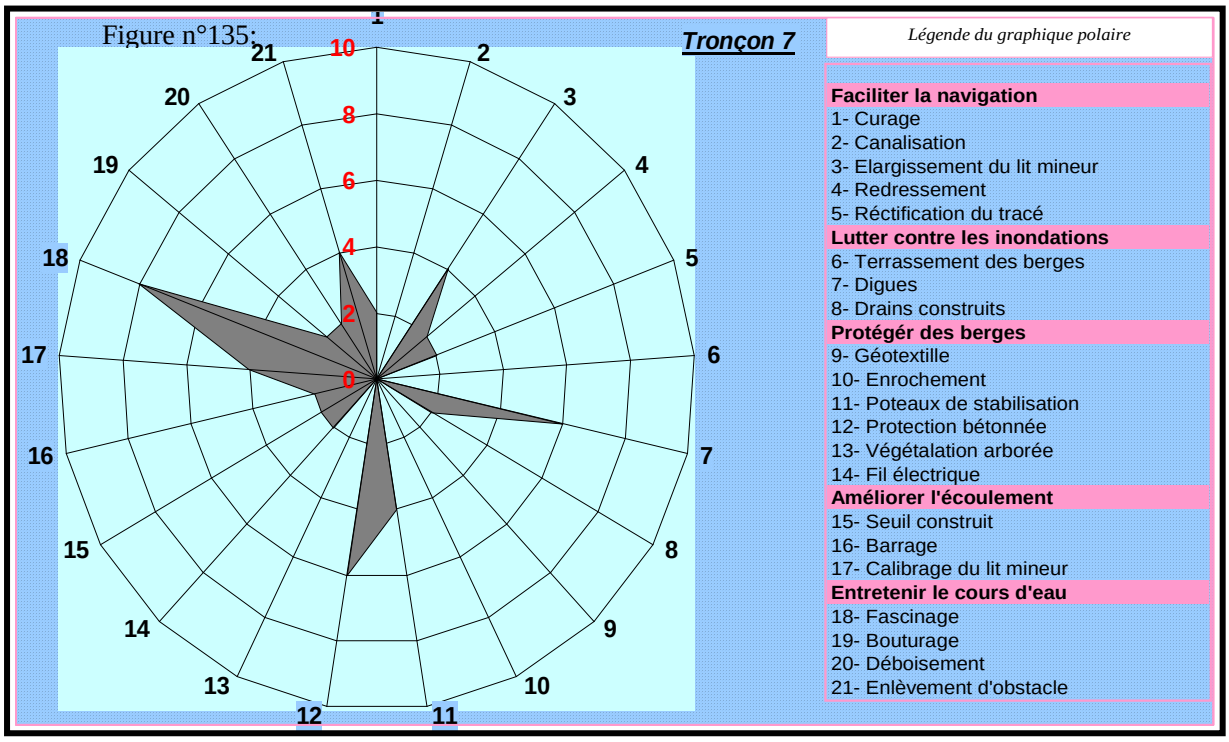
Le taux d'aménagement est maximal (100 %) du coup la réponse du cours d'eau à ces aménagements est quasiment nulle.

Les travaux d'entretien restent une nécessité en raison des moyens liés à l'agglomération de Vic/Seille.

Fiche d'identité du tronçon n° : 7

Localisation	Amont de la Seille (région Saulnois)
Longueur (rive droite + rive gauche)	15,96
Distance aménagé (rive droite + rive gauche)	7,96
Commune principale	Chambrey
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	49,9
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Moyen

Figure n°135:



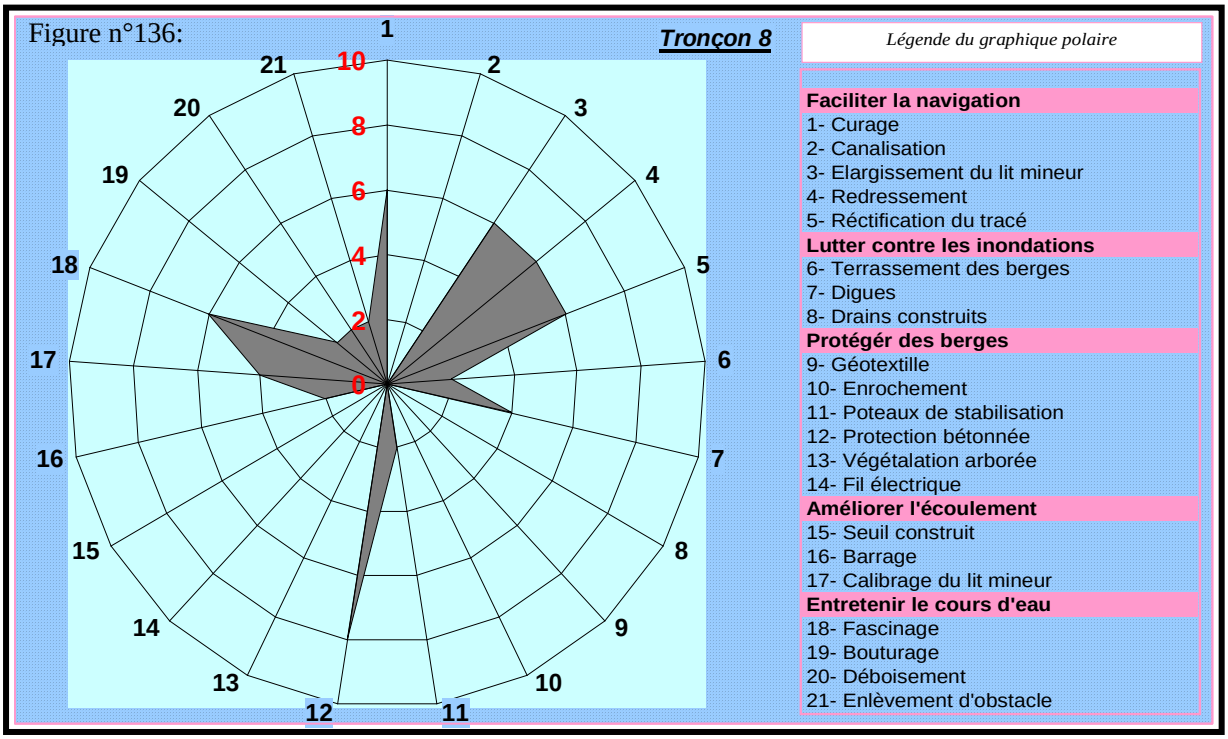
En dehors des nombreux embâcles qui gênent l'écoulement, la silhouette de ce tronçon est proche de celles des autres (sauf tronçons 2 et 6). La note la plus élevée sur l'échelle du modèle est de 8/10 et appartient à axe d'entretien du cours d'eau. On remarque de faibles actions qui concernent la lutte contre les inondations, la protection des berges et l'amélioration des écoulements y sont associées à une dégradation des berges et des débordements très localisés qui sont en rapport avec l'état des berges.

La réponse du cours d'eau à ces aménagements, par ailleurs peu développés, reste moyenne et explique la concordance entre les actions anthropiques et la dynamique du cours d'eau.

Fiche d'identité du tronçon n°: 8

Localisation	Amont de la Seille (région Saulnois)
Longueur (rive droite + rive gauche)	12,01
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	6,2
Commune principale	Pettoncourt, Brin Sur Seille
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	51,6
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Moyen

Figure n°136:



La silhouette est moyennement étendue, elle montre des contrastes au niveau de la répartition des aménagements. Le taux d'aménagement est de l'ordre de 51,6 % dominé par des aménagements qui facilitent la navigation et d'autre part qui vise l'entretien du cours d'eau. La note la plus élevée sur l'échelle du modèle est de 8/10 qui correspond au béton (protection des berges).

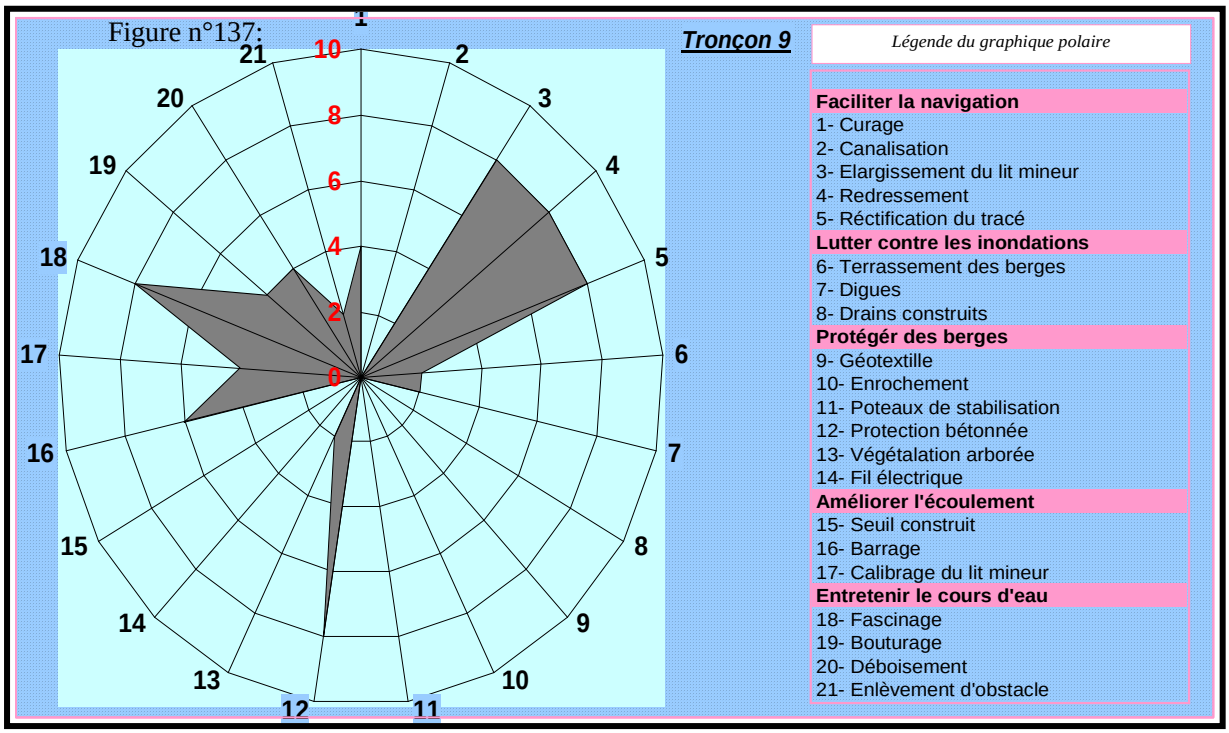
Cette répartition des aménagements dans le tronçon a des impacts négatifs sur les débordements qui sont fréquents, et sur les écoulements difficiles lors de la période des étiages (fréquents embâcles).

La réponse du cours est moyenne, elle se traduit par des débordements, quelques érosions très localisées et des conditions d'écoulement très difficiles pendant une période de l'année.

Fiche d'identité du tronçon n° : 9

Localisation	Médian de la Seille (zone Plateau Liasique)
Longueur (rive droite + rive gauche)	25,42
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	5,1
Commune principale	Aboncourt Sur Seille
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	20,1
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Faible

Figure n°137:

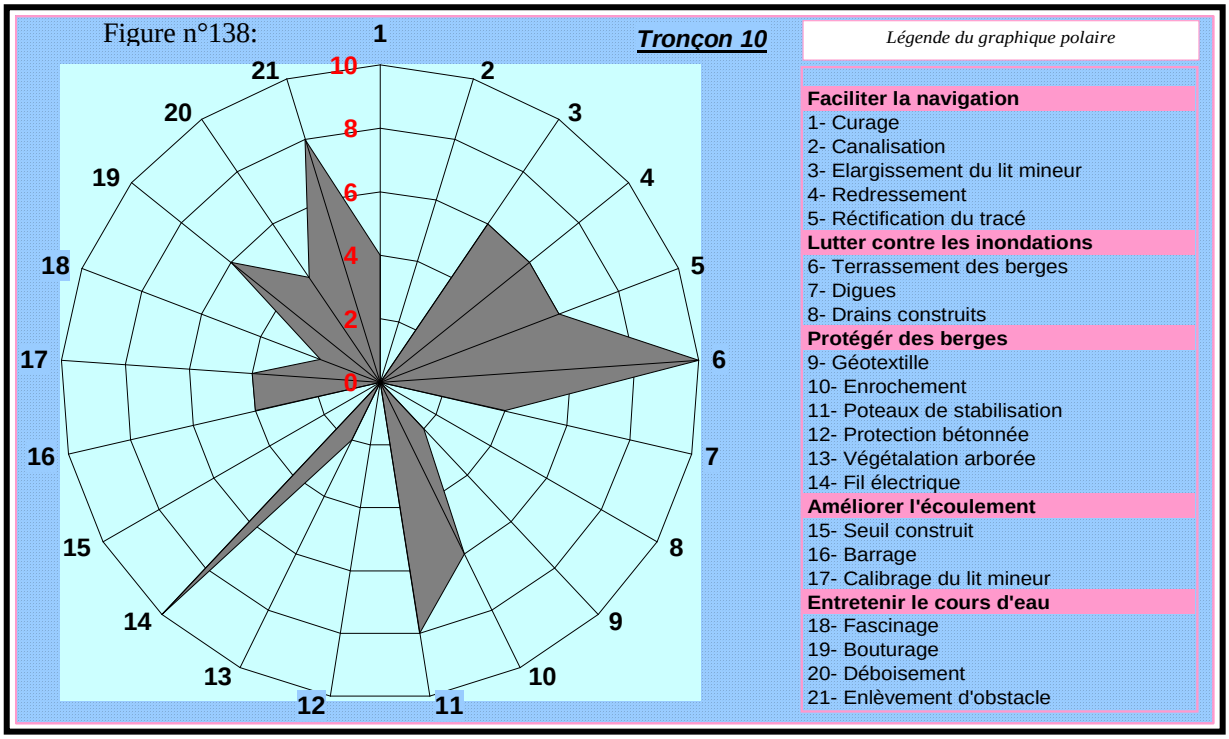


Le modèle polaire dégage trois grands axes d'aménagement qui enregistrent les plus hautes notes sur l'échelle du modèle : 10/10 pour l'élargissement, redressement, rectification, béton, et enlèvement d'embâcle. Mais globalement, le taux d'aménagement est parmi les plus faibles (20,1 %), et la réponse du cours d'eau est également faible (sapements à la base et quelques débordements occasionnels dans des prairies).

Fiche d'identité du tronçon n° : 10

Localisation	Médian de la Seille ((zone Plateau Liasique)
Longueur (rive droite + rive gauche)	11,82
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	2,5
Commune principale	Armaucourt
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	21,2
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Moyen

Figure n°138:



Le modèle graphique montre que le fonctionnement de ce tronçon est sous l'influence des aménagements. En effet, on note la présence de treize variables dont deux atteignent le maximum sur l'échelle du modèle 10/10 (les terrassements et la protection végétale).

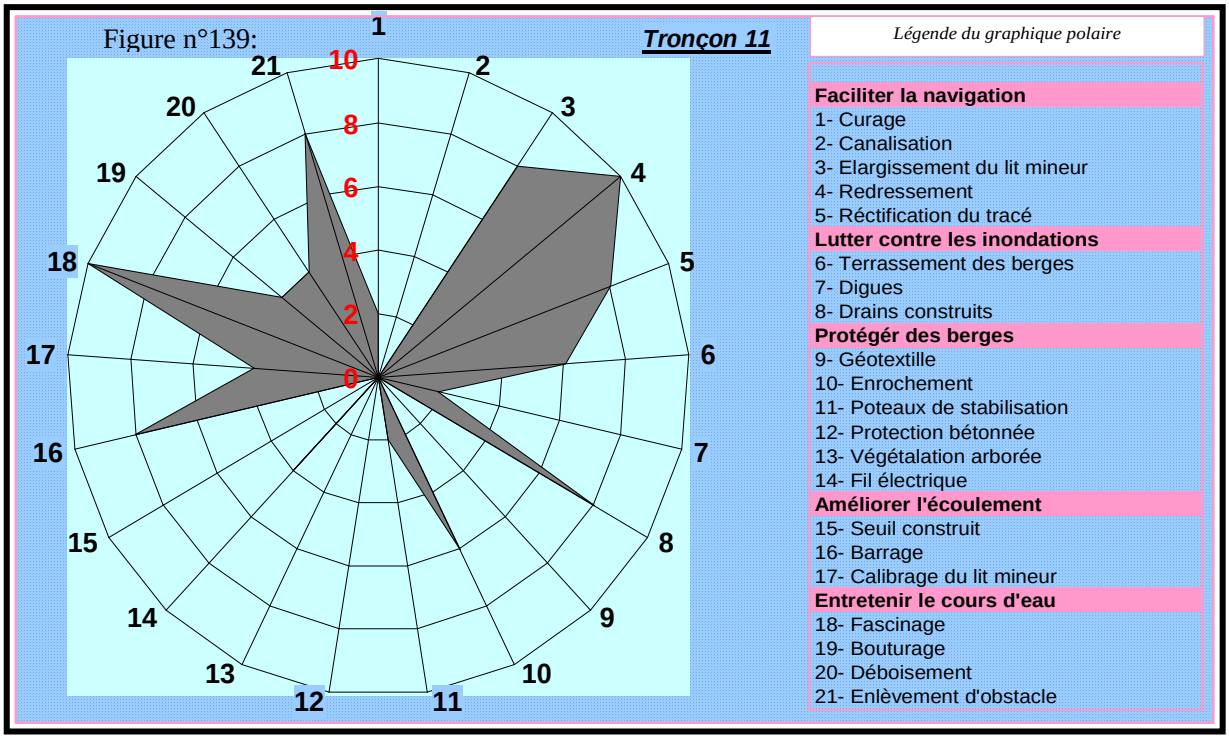
La bonne répartition des aménagements donne l'impression d'une faible anthropisation du site (21,2 % du taux d'aménagement) (qui n'apparaissent pas dans le paysage actuel) ou sont en travaux d'entretien.

Malgré cette bonne répartition des aménagements, on constate un déséquilibre interne dans le site qui se traduit par une réponse active du cours d'eau, jugée moyenne. Cette réponse, se traduit par quelques dégradations des berges et quelques débordements locaux. On remarque aussi que le bétail contribue à la dégradation de ces berges par le piétinement.

Fiche d'identité du tronçon n° : 11

Localisation	Médian de la Seille (zone Plateau Liasique)
Longueur (rive droite + rive gauche)	25,91
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	4,9
Commune principale	Aulnois Sur Seille
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	18,9
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Moyen

Figure n°139:



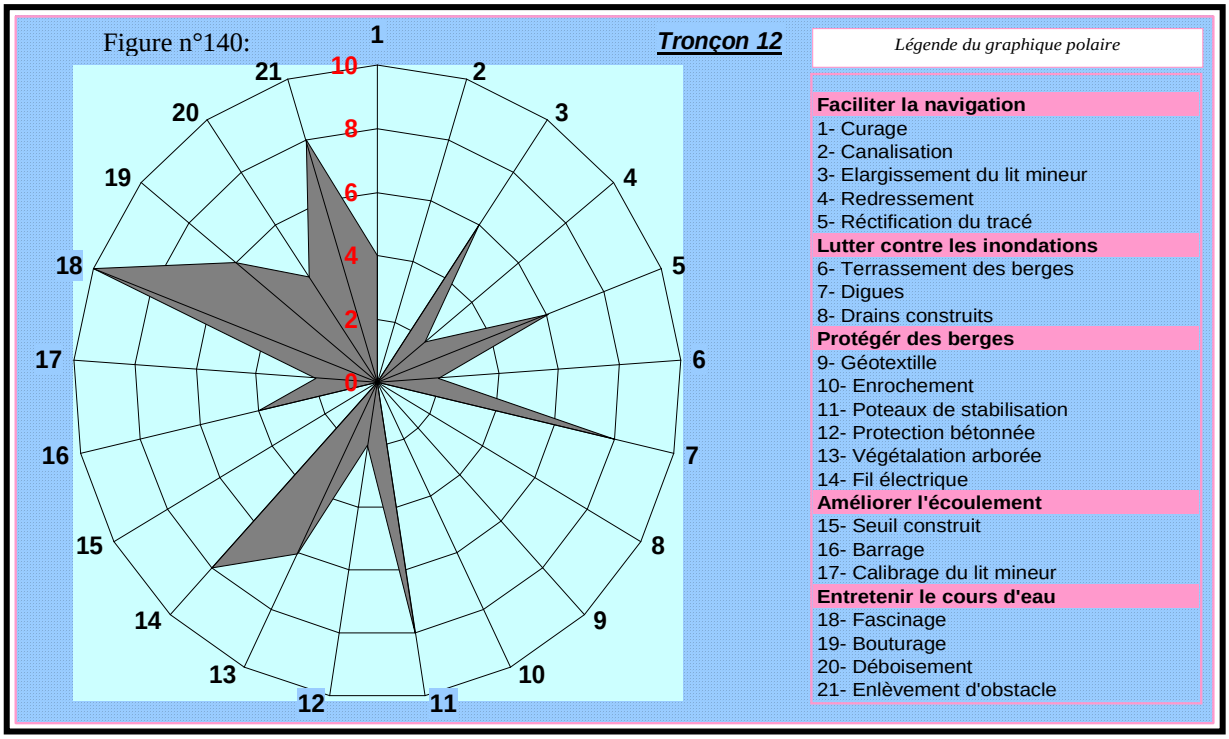
Ce tronçon a les mêmes caractéristiques que le tronçon précédent avec une forte emprise des aménagements. La silhouette est moyennement étendue vers la circonférence, et montre une répartition inégale des aménagements. Les notes les plus élevées dans l'échelle du modèle sont aperçues dans des aménagements anciens (redressement 10/10) et des actions d'entretien (enlèvement d'embâcle 10/10)

Bien que le taux d'aménagement soit le plus faible 18,9 %, le tronçon montre une bonne résistance de la dynamique érosive qui se traduit par une faible réaction du cours d'eau. Cette réponse est perçue à travers quelques dégradations locales des berges, influencées par le bétail. Cette situation favorise quelques débordements dans des endroits locaux du site.

Fiche d'identité du tronçon n° : 12

Localisation	Médian de la Seille (zone Plateau Liasique)
Longueur (rive droite + rive gauche)	7,25
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	2,1
Commune principale	Mailly Sur Seille
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	29,0
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Moyen

Figure n°140:

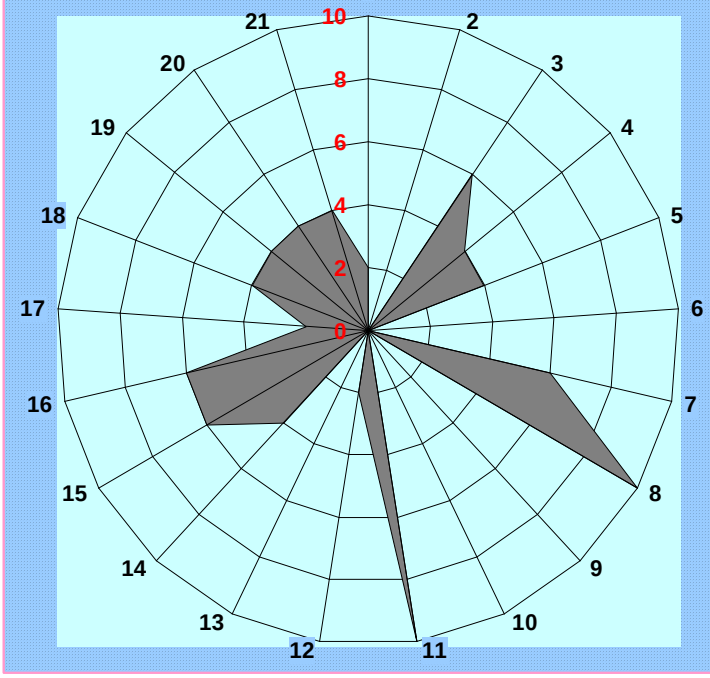


Selon le modèle polaire, ce tronçon connaît de nombreux contrastes au niveau de la répartition du système d'aménagement. A part l'enlèvement d'embâcle qui enregistre la note la plus élevée sur l'échelle du modèle 10/10, on remarque une faiblesse des autres aménagements. Le taux d'aménagement est faible (29,0 %). L'érosion exprimée dans ce tronçon est aussi en grande partie associée aux conditions naturelles. Ce tronçon à des caractéristiques proches de celles des tronçons 9 et 11 situés en amont. On confirme ainsi, les caractéristiques déjà menées en évidence, de la zone médiane de la Seille.

Fiche d'identité du tronçon n° : 13

Localisation	Médian de la Seille (zone Plateau Liasique)
Longueur (rive droite + rive gauche)	14,36
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	5,4
Commune principale	Nomeny
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	37,6
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Moyen

Figure n°141: ***Tronçon 13***



Légende du graphique polaire

Faciliter la navigation
1- Curage
2- Canalisation
3- Elargissement du lit mineur
4- Redressement
5- Réctification du tracé

Lutter contre les inondations
6- Terrassement des berges
7- Digues
8- Drains construits

Protégér des berges
9- Géotextille
10- Enrochement
11- Poteaux de stabilisation
12- Protection bétonnée
13- Végétalation arborée
14- Fil électrique

Améliorer l'écoulement
15- Seuil construit
16- Barrage
17- Calibrage du lit mineur

Entretenir le cours d'eau
18- Fascinage
19- Bouturage
20- Déboisement
21- Enlèvement d'obstacle

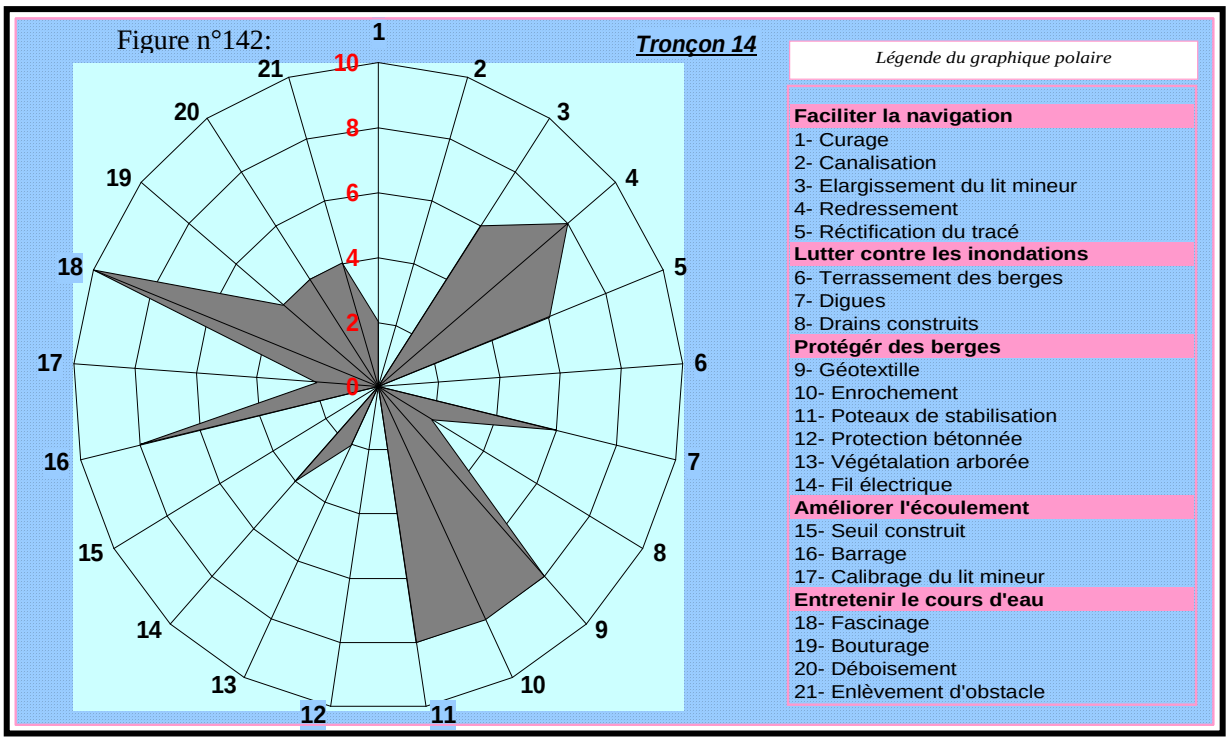
La silhouette peu dense avec deux parties pointues vers la circonférence, montre que le système d'aménagement dans ce tronçon est tout en contraste. On remarque que les cinq grands aménagements sont représentés dans le tronçon avec une large domination des drains construits et des enrochements qui atteignent la note la plus élevée dans l'échelle du modèle 10/10. Cette situation peut être expliquée par l'existence d'une importante agglomération à Nomeny dont le risque d'inondation est élevé.

Le taux d'aménagement et 37,6 %. La majorité de ces aménagements sont récents. Leur impact reste moyen est se traduit par des dégradations modérées des berges, des débordements très localisés dans un lit majeur occupé par des prairies.

Fiche d'identité du tronçon n° : 14

Localisation	Médian de la Seille (Dépression subséquente)
Longueur (rive droite + rive gauche)	18,89
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	10,3
Commune principale	Morville Sur Seille
Syndicat d'aménagement	S. Interdépartemental d'assainissement et de curage de la Seille
Taux d'aménagement %	54,5
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Moyen

Figure n°142:



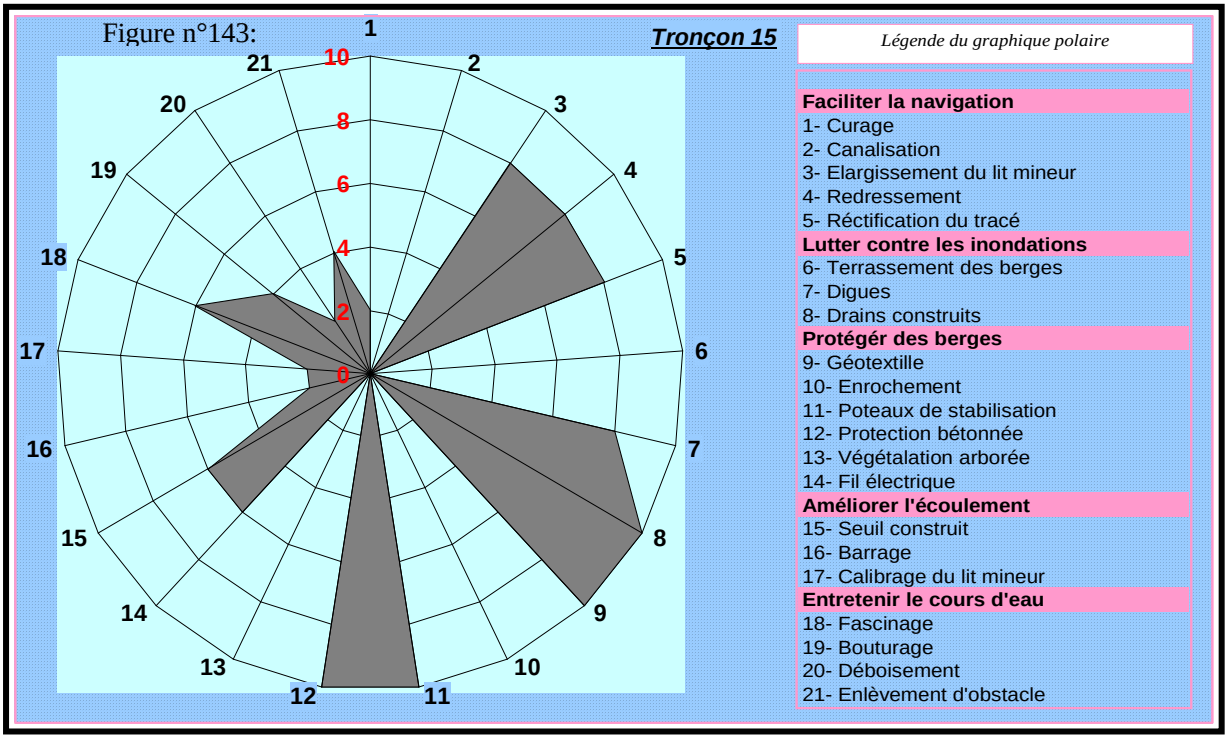
Le modèle, en forme d'hélice à bras pointus, montre une discontinuité entre les différentes parties ainsi qu'entre les composantes de chaque partie d'aménagement. Si les aménagements d'entretien du cours d'eau sont presque permanents, la protection des berges et la lutte contre les inondations sont peu représentées. En effet, on est devant un tronçon où les effets de sa localisation (traverse de champs inondables occupés par des prairies) ne nécessitent pas le développement des moyens de lutte contre les inondations.

Le taux d'aménagement dans ce tronçon est de 54,5 % la réponse du cours d'eau à ces aménagements reste moyenne.

Fiche d'identité du tronçon n° : 15

Localisation	Aval de la Seille (Dépression subséquente)
Longueur (rive droite + rive gauche)	16,89
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	10,7
Commune principale	Sillegny
Syndicat d'aménagement	S. Intercommunal pour l'aménagement hydraulique de la Seille
Taux d'aménagement %	63,4
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Fort

Figure n°143:



Selon le modèle d'évaluation, le système interne de ce tronçon montre une puissance et une diversité d'aménagement. En effet, les cinq grands axes d'aménagement sont représentés dans le graphique polaire, avec un degré qui varie ente 6/10 et 10/10.

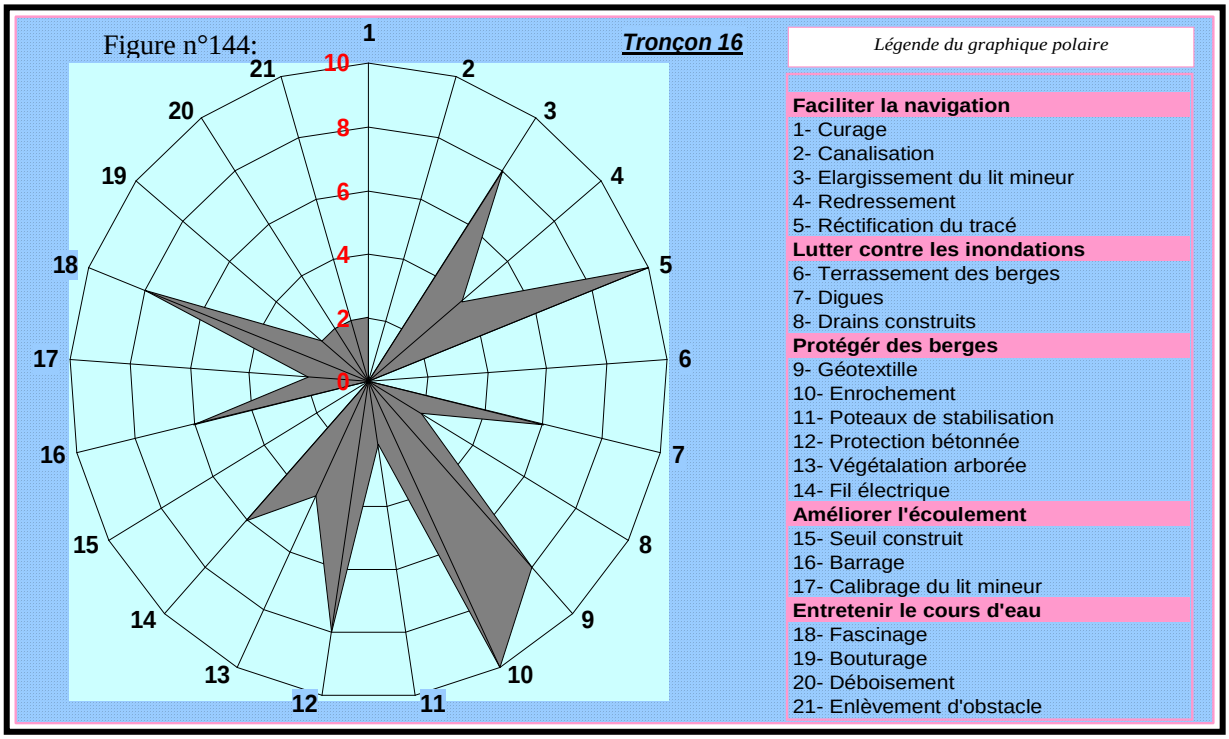
Plus en détail, les composantes qui facilitent la navigation et qui luttent contre les inondations et la protection des berges sont les mieux représentées.

Le taux d'aménagement est élevé (63,4%). Au niveau de la réponse du cours à ces aménagements on remarque une forte réaction qui se traduit par une dégradation des berges et des débordements occasionnels.

Fiche d'identité du tronçon n° : 16

Localisation	Aval de la Seille (Dépression subséquente)
Longueur (rive droite + rive gauche)	17,79
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	12,12
Commune principale	Coin Sur Seille
Syndicat d'aménagement	S. Intercommunal pour l'aménagement hydraulique de la Seille
Taux d'aménagement %	68,1
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Fort

Figure n°144:



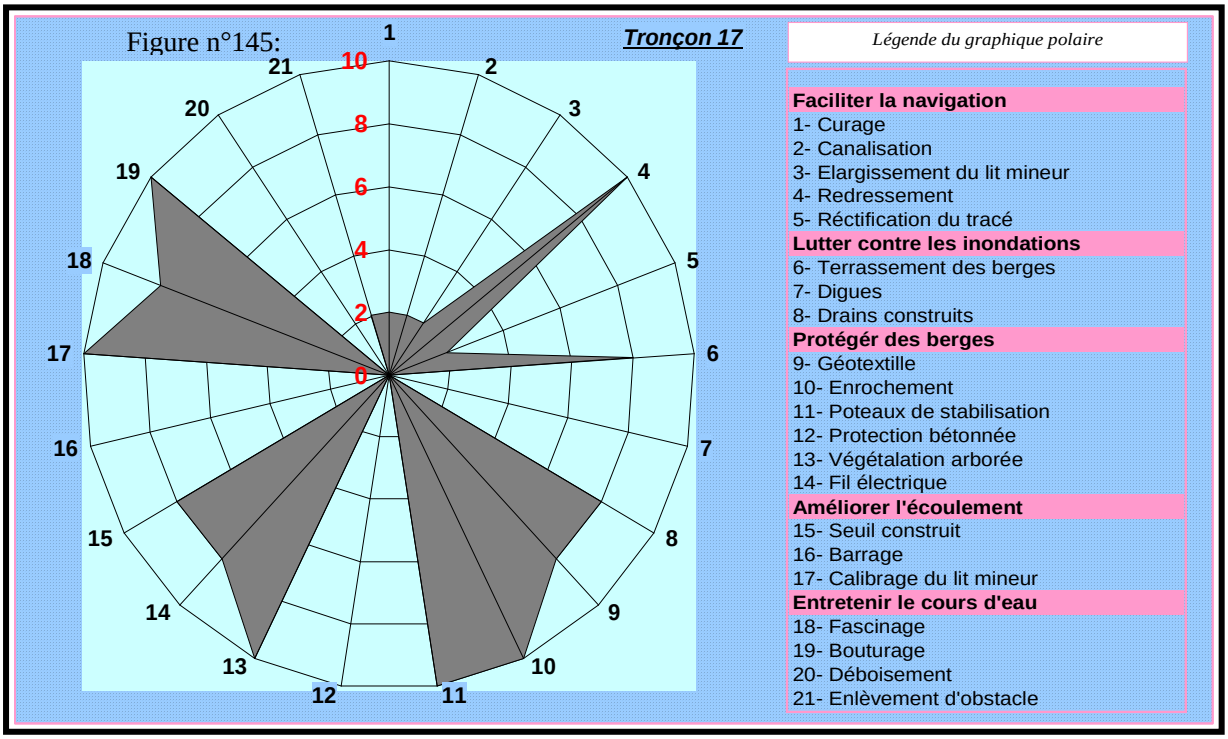
Selon le modèle polaire, ce tronçon se caractérise par un fonctionnement plus ou moins satisfaisant. L'ensemble des axes d'aménagement est représenté dans le graphique polaire avec une grande variabilité entre les composantes. Seule la protection végétale (géotextile) marque une bonne satisfaction en enregistrant une note de 10/10 dans l'échelle du modèle. Pour la plupart des autres composantes leurs évaluations donnent une fourchette comprise entre 6/10 et 8/10.

Le taux d'aménagement atteint 68,1 %. Devant, l'anthropisation assez importante on se dit que l'impact aurait dû être important, la réponse du cours est assez forte. Elle correspond à des multiples débordements très localisés qui sont favorisés par des dégradations des berges. Il est clair que le site à des bonnes conditions d'écoulement surtout lors des hautes eaux.

Fiche d'identité du tronçon n° : 17

Localisation	Aval de la Seille (Dépression subséquente)
Longueur (rive droite + rive gauche)	21,07
Distance aménagée (rive droite + rive gauche)	19,8
Commune principale	Marly
Syndicat d'aménagement	S. Intercommunal pour l'aménagement hydraulique de la Seille
Taux d'aménagement %	94,0
Le degré de la réponse du cours d'eau aux aménagements	Fort

Figure n°145:



Le type de silhouette refléte une anthropisation quasi-totale dont le taux d'aménagement atteint les 94 %. Les moyens utilisés, comme la lutte contre les inondations, la protection des berges et l'entretien du tronçon se caractérise par leur diversité ainsi que leur niveau élever sur l'échelle du modèle. Cette situation est expliquée par la localisation particulière du site à l'amont de Metz (agglomération très importante) qui pousse les gestionnaires vers une anthropisation totale dans le cadre de la lutte contre les inondations.

Le paysage est entièrement artificialisé. On note aussi que les bonnes conditions d'écoulement, et l'importance des lames d'eau écoulées entraînent une forte réponse du cours d'eau à ces aménagements qui se traduisent régulièrement par des inondations spectaculaires (1994, 1999, 2001, 2005).

Malgré l'anthropisation, ce tronçon reste très sensible aux risques d'inondations.

IV- Discussion des résultats

D'après l'étude des différents tronçons, on peut conclure que les actions d'aménagement ont entraîné un changement assez important au niveau de l'allure du paysage fluvial de la Seille et du fonctionnement hydrologique (action sur les vitesses de l'eau et les débordements). En terme de résultats, on a pu constater que la présence d'un potentiel d'actions d'aménagement dans le tronçon ne signifie pas la stabilité du site.

1-Faciliter la navigation

Il s'agit des aménagements anciens qui ont été réalisés pour répondre à des exigences économiques (exploitation du sel dans la région du Saulnois). Aujourd'hui, la Seille n'est plus navigable, mais l'impact de ces travaux d'aménagements ont marqué quelques tronçons. D'autres comme le curage y ont été ajoutés. Les dix sept tronçons sont touchés partiellement ou entièrement par ces travaux. En effet, six tronçons enregistrent une valeur de 10/10 sur l'échelle du modèle (tronçons 2, 5, 9, 11, 16 et 17). Neuf tronçons enregistrent des actions de niveau moyen, c'est le cas des tronçons 3, 4, 6, 8, 10, 12,13, 14, 15. Enfin, seulement, deux tronçons (1 et 7) se caractérisent par une faible présence de ce type d'aménagement.

2-Lutter contre les inondations

La lutte contre les inondations dans l'ensemble des tronçons de la Seille ne date pas d'aujourd'hui. Cela a été le grand souci des riverains depuis le temps historique. A ce niveau, l'étude des aménagements qui luttent contre les inondations dans l'ensemble des tronçons confirme l'échec de ces actions mais elles ont contribuée à réduire la durée et la fréquence des débordements. Au niveau des moyens de protection, l'étude a démontré que l'ensemble des composantes ont contribué à contenir ce phénomène, mais certains tronçons restent très vulnérables (tronçons 15, 16 et 17). Il existe des tronçons, (3, 5, 8, 9 et 10) qui enregistrent une note qui ne dépassent pas les 4/10 sur l'échelle du modèle et qui se composent d'un seul composant qui lutte contre les inondations. Ce sont des tronçons avec des enjeux faibles (prédominance de prairies). Les douze tronçons restant enregistrent un degré de « suffisance » qui varie entre les trois parties qui composent la Seille. Sur l'échelle du modèle, on remarque que la note est comprises entre 6/10 et 10/10, pour au moins deux composantes de la thématique.

3- Entretenir le cours d'eau

L'entretien du cours d'eau montre des contrastes, les composantes qui constituent l'ensemble de cet axe d'aménagement ont connu une évolution dans les moyens utilisés. Logiquement, ceci doit entraîner une amélioration de l'entretien, ce qui n'est pas toujours le cas. Sur les cinq composantes, seulement six tronçons enregistrent une note de 10/10 sur l'échelle du modèle (exemple des tronçons n° 2, 9, 11, 12, 14 et 17). Les onze tronçons restant sont marqués par un degré d'entretien très faible qui nécessite une bonne attention des gestionnaires afin d'améliorer les actions d'entretien. Par ailleurs, dans l'axe d'entretien des tronçons deux variables présentent un critère primordial pour juger les actions d'entretien. Elles concernent l'enlèvement d'embâcles et le fil électrique. L'enlèvement des embâcles, reste un énorme problème qui défavorise l'écoulement. Le fil électrique empêche le bétail de piétiner les berges et de dégrader la qualité de l'eau de la rivière. Les tronçons n° 4, 5, 6 ,10 et 13 sont des sites qui souffrent du manque d'entretien, la note sur l'échelle du modèle est inférieure à 4/10. En termes de degré de satisfaction, on note que les tronçons 9, 11, 12, 14 et 17 atteignent un degré élevé en enregistrant une note de 10/10 dans l'échelle du modèle. Les sept tronçons restant ont une note acceptable de satisfaction qui varie entre 6/10 et 8/10.

4- Protéger les berges

La protection des berges contre l'érosion, présente un des bons critères pour déterminer l'aménagement du cours d'eau. En comparant la situation des berges dans les différents tronçons, on peut faire la distinction entre les tronçons « bien aménagés » et des tronçons qui souffrent du déficit de protection. Sur les dix sept tronçons, on remarque que dans trois tronçons les protections des berges sont absentes (tronçons n° 3, 4 et 5), malgré l'influence du bétail qui favorise la dégradation. Sur les quatorze tronçons qui restent, on note dans seulement cinq (6, 9, 13, 15 et 17) l'existence d'au moins un composant qui enregistre une valeur de 10/10 dans l'échelle de modèle. Cette situation est le résultat de l'orientation des actions de protection visant à stabiliser les berges. Elle traduit en tout cas une volonté d'aménagement du cours d'eau. Cependant, certains tronçons ont des berges qui se caractérisent par une dégradation importante, (tronçons 14 et 16). Il sont localisés à l'aval du cours d'eau ce qui ne leur permet pas de garder une bonne protection en raison des conditions hydrologiques et hydrauliques favorables à la dynamique fluviale.

5- Améliorer l'écoulement

La baisse du niveau entraîne le cours d'eau dans une phase délicate en termes d'écoulement surtout pendant la période d'étiage. Les gestionnaires ont mené un ensemble d'actions dans le but d'améliorer ces conditions d'écoulement.

Le modèle a démontré que trois tronçons atteignent un degré de satisfaction en enregistrant une note de 10/10 sur l'échelle du modèle (tronçons 2, 6 et 14). Ils appartiennent aux parties amont (2 et 6) et à la partie médiane (tronçon 14). Cette situation explique le degré de « réussite » grâce à l'orientation des actions d'aménagement. D'autres tronçons 7, 8, 10 et 12 ont une valeur comprise entre 2/10 et 4/10 dans l'échelle du modèle ce qui montre une insuffisance de ce type d'actions. Les huit tronçons restant bénéficient d'une note acceptable dans l'échelle du modèle compris entre 6/10 et 8/10.

Conclusion

Finalement, le modèle présente plusieurs intérêts dont deux principaux que nous avons exploité dans notre approche.

* Il permet la représentation et la réparation des composantes qui est l'élément le plus intéressant. Le modèle agit en premier lieu sur les échelles de mesure des différentes composantes en les harmonisant, d'où la possibilité de les étudier ensemble, ce qui évite la vision segmentée des choses et permet la gestion du qualitatif et du quantitatif en même temps. Après l'harmonisation des échelles et en passant à l'étape opérationnelle, grâce à l'outil informatique, on arrive à réaliser des graphiques qui matérialisent la relation entre les différentes composantes en les mettant dans le même dessin sous forme de silhouette. Cela permet une analyse en deux échelles. La première permet de comprendre le fonctionnement en se basant sur la forme de la silhouette, la deuxième permet de repérer les parties qui souffrent d'incohérence et leurs impacts sur les autres parties, mais également sur le fonctionnement général de tout le système.

* Le modèle permet d'étudier l'évolution et la dynamique des aménagements dans le temps. Il peut être considéré comme un outil d'observation de l'évolution des phénomènes à long terme. Une mise à jour peut être envisagée pour une meilleure gestion ultérieure du milieu fluvial. Ce modèle constitue ainsi un outil de diagnostic de l'état du lit fluvial et de son suivi (Rolland-May, 2000). Mais il ne permet pas de hiérarchiser les composantes les unes par rapport aux autres. Les figures permettent surtout d'une comparaison des états du lit de la Seille à différents moments. Elles sont plus délicates à utiliser pour représenter les états de « stabilité » ou « d'instabilité » des formes fluviales.

Le modèle développé et utilisé tout au long de ce chapitre a permis d'atteindre les objectifs annoncés dans l'introduction. En effet, grâce à cette orientation méthodologique, l'étude des tronçons de la Seille réalisée est sortie de l'approche analytique et monographique, pour aller vers une approche dynamique et opérationnelle qui a montré son efficacité et son utilité à travers le développement et l'utilisation du modèle. D'après l'étude des dix-sept tronçons composant le cours d'eau de la Seille, il s'est avéré que les tronçons se différencient les uns des autres dans leur fonctionnement interne ainsi que dans leur façon de réagir face à l'aménagement. Evidemment, on a constaté des différences entre les tronçons selon leur situation, à l'amont, dans la partie médiane, et la partie aval. Mais le plus important ici était plutôt de dégager les types de tronçon qui connaissent une forte ou une faible anthropisation, ainsi que les tronçons dont les aménagements sont plus ou moins stables.

Malgré l'impact limité de quelques actions d'aménagements sur le fonctionnement de quelques tronçons, on peut conclure que l'aménagement de la Seille a généralement contribué à l'amélioration des conditions d'écoulement dans la rivière, à la diminution de la dégradation des berges, à la lutte contre les inondations et enfin à l'entretien permanent du cours d'eau. C'est bien ici les objectifs que fixent les gestionnaires pour une rivière « rurale » mais qui traverse des espaces urbains. Cependant, les objectifs d'aménagements et de gestion évoluent vers une prise en considération plus forte de la qualité du milieu aquatique avec intégration des attentions pour l'écosystème fluvial et le « système anthropique ».

Conclusion générale de la quatrième partie

Suite à cette analyse qui porte sur la dynamique paysagère de la Seille et sur le rôle des impacts des aménagements, nous avons pu voir l'évolution différentielle du lit fluvial de la Seille durant les 36 dernières années (profils en travers 1976/1985 et 2004). Il est clair que l'apparition de quelques événements extrêmes (crue) furent nécessaires pour « bouleverser » le système fluvial habituel et conduit à quelques changements du paysage fluvial de la Seille.

Les différents exemples montrent la sensibilité du lit de la Seille à des montées d'eaux et confirment le rôle exercé par les aménagements. Les résultats de ce chapitre ont permis d'identifier les grandes lignes du fonctionnement dynamique de la Seille. Au cours de son évolution, le système fluvial de la Seille s'est ajusté aux différentes composantes naturelles et anthropiques du milieu. Globalement, on retiendra que la réponse de la Seille envers ces aménagements varie selon les zones et les tronçons.

Une partie amont, anciennement rectifiée et aménagée, est caractérisée par une dynamique faible qui révèle une tendance naturelle du cours d'eau à cause du faible débit, de la faible pente, et de la faible hauteur des berges. Les aménagements jouent un rôle important dans la stabilité de cette zone.

La partie médiane est caractérisée par une dynamique modérée avec des tendances à l'érosion latérale (développement de sinuosité). Cette dynamique fluviale est commandée par l'influence des conditions naturelles et les actions anthropiques en rapport avec les débits soutenus par les affluents.

La partie aval nous donne une nouvelle image de l'évolution actuelle du cours sous l'influence d'aménagements. L'état du lit montre que les interventions anthropiques, très diverses ici, peuvent localement déstabiliser complètement le milieu et imposent une évolution différente (tendance au creusement du fait des perturbations anthropiques, profils 1976/1985 et 2004). Le deuxième facteur à prendre en compte est la pente longitudinale. La rapidité de la vitesse d'écoulement, combinée avec le débit, définissent le potentiel de l'énergie du système fluvial.

En définitive, la Seille fournit un bon exemple du fonctionnement des cours d'eau du plateau Lorrain, elle est caractérisée par un système fluvial moins évolutif qui s'active lors des crises hydrologiques. Ce système fluvial est influencé par les conditions naturelles et les actions anthropiques.

Conclusion générale et perspective

Nous avons abordé dans ce travail de thèse l'influence des aménagements sur le fonctionnement hydrodynamique d'un cours d'eau du plateau Lorrain soumis à un climat océanique. Ces aménagements sont destinés à la préservation d'enjeux humains et économiques locaux et régionaux. En réponse à ceux-ci, la Seille réagit discrètement ce qui se manifeste par la recherche d'un « nouveau système fluvial ».

Tout au long de notre analyse, les modalités de la circulation de l'eau dans le bassin de la Seille ont été étudiées d'une part d'une façon analytique et qualitative (description et interprétation) et d'une façon quantitative à l'aide des données recueillies (données de températures, pluies, débits) et d'autre part, selon une approche historique (le recueil dans les archives, des données historiques).

Différents champs disciplinaires ont été abordés afin d'identifier les facteurs qui agissent sur la dynamique fluviale. Celle-ci est déterminée essentiellement par le fonctionnement hydrologique (moyens et extrêmes) du cours d'eau et par les actions anthropiques menées au sein du bassin et dans le fond de la vallée. Leurs impacts déterminent l'évolution du lit fluvial qui a pu être mise en évidence par le biais de la comparaison des profils en travers anciens et récents. Finalement nous arrivons ainsi à montrer les transformations du système fluvial liées aux rapports complexes qu'entretient la société humaine avec la rivière.

Les méthodes mises en œuvre dans le cadre du travail de thèse sont multidisciplinaires en particulier, « géo–historiques » puisqu'elles associent l'histoire, l'hydrologie et la géomorphologie. Elles se composent de plusieurs approches nécessaires à la collecte et l'analyse de l'information en vue de résoudre la problématique de la recherche qui s'articule autour de l'analyse d'un système fluvial anthropisé. L'objectif principal était d'identifier, de caractériser, d'analyser, et enfin d'évaluer l'impact des aménagements sur les modifications du fonctionnement du cours d'eau.

** La première approche, entièrement historique, était essentielle pour notre travail afin de comprendre l'histoire du cours d'eau à travers les usages successifs. Les sources historiques ont permis de renforcer nos connaissances dans le domaine des actions anthropiques, de la dynamique fluviale et de l'hydrologie extrême. On peut cependant souligner le côté « mouvementé » de la recherche de l'information à partir de la littérature ancienne.

** La deuxième approche est celle réalisée sur le terrain, d'abord pour la collecte des données et ensuite pour affiner notre connaissance sur le domaine d'étude. Cette expérience pratique de terrain est le grand acquis de ce travail de thèse. Cela a mené à une certaine autonomie dans le traitement des phénomènes liés à l'eau.

** La troisième approche est essentiellement statistique et technique. Pour l'approche statistique, elle comprend un traitement des données quantitatives, pluies, débits, températures, profils en travers par différents logiciels (Excel, Access, Surfer). Cette approche nous a apporté un plus dans l'expérience mathématique.

** En ce qui concerne l'approche technique, le travail de thèse a bénéficié des nouvelles technologies avec l'utilisation des logiciels de cartographie (Mapainfo vertical, ArcGis et Surfer), des logiciels de traitement des photos aériennes (Erdas), des logiciels de traitement statistique des données cartographiques (Spad).

En termes de résultats, cette étude a montré que le bassin de la Seille a ses particularités. La rivière s'écoule sur un substratum sédimentaire, peu résistant à l'érosion et majoritairement imperméable (73,4 %). Ceci favorise l'élaboration de morphologies faiblement accusées en particulier d'une vallée relativement large et une circulation préférentielle de l'eau en surface, par le ruissellement. Les conditions naturelles sont favorables à la formation de crues, par ailleurs accentuées certaines années humides par les surplus d'eau provenant de la vidanges de l'étang du Lindre (fin août jusqu'au fin novembre) qui perturbe le fonctionnement hydrologique de la rivière.
La Seille draine un espace rural. Le fond de la vallée est voué à l'élevage ce qui détermine en matière de gestion du milieu, des préoccupations concernant la réduction par les aménagements de la durée et de la fréquence des submersions des secteurs toujours en herbe, et la prise en considération du piétinement des berges par le bétail qu'il faut ainsi protéger. De plus la ville de Metz se situe à l'exutoire du bassin ce qui renforce les enjeux relatifs à la protection contre les inondations d'une grande partie de l'agglomération.
Ainsi au terme de cette recherche semble-t-il intéressant de reprendre plus en détail, les principaux résultats obtenus en les replaçant par rapport à l'objectif principal qui consiste à déterminer le fonctionnement hydrodynamique de la Seille sous l'influence des actions anthropiques.

Le bassin versant de la Seille reçoit des précipitations durant toute l'année avec une certaine variabilité spatiale et une irrégularité temporelle. La partie amont est plus arrosée (sous bassin de Moyen Vic, 812 mm), que les parties aval (Bassin intermédiaire de Metz, 738 mm) et médiane (bassin intermédiaire de Nomeny 751 mm). A l'échelle mensuelle, les trois sous bassins ainsi que l'ensemble du bassin ont un comportement identique avec plusieurs points communs : d'abord l'été est pluvieux, le maximum est enregistré au mois de décembre et le minimum est observé au mois d'avril.

Au plan de l'hydrologie, si le module de la Seille varie avec la superficie des espaces drainés, les lames écoulées et les rendements sont relativement stables à l'intérieur du bassin. Des contrastes apparaissent surtout en période de crues et d'étiage. L'étude des crues et des étiages a montré que ces deux phénomènes extrêmes qui touchent la vallée de la Seille sont récurrents comme en témoigne la littérature ancienne. Les crues sont favorisées par la morphologie du bassin et l'enchaînement des types de temps humide (flux du Nord Ouest) qui donnent une pluviométrie abondante. Les ¾ de ces crues se produisent en hiver, elles sont de types complexes et longues (durée supérieure à 15 jours). L'étude des étiages a montré que la Seille ressemble alors à une petite rivière dont le débit peut s'abaisser jusqu'à un demi m3/s (0,53 m3/s enregistré en 1976). La durée effective de l'étiage peut, dans certains cas, devenir un facteur très pénalisant surtout lorsque le débit est inférieur à environ 2 m3/s pendant plusieurs mois consécutifs (VCN_{90} = 2.18 m3/s). Cette situation a des impacts sur l'apparition des embâcles qui perturbent l'écoulement, la qualité de l'eau qui se dégrade et la vie aquatique. Finalement l'hydrologie de la Seille présente trois tendances qui s'expriment à des pas de temps différents et qu'il faut mettre en relation avec la dynamique du cours d'eau :

** le fonctionnement moyen est révélé par les débits enregistrés au printemps et en automne supérieur à 10 m3/s (mars, avril, mai, octobre et novembre). Les lames d'eau écoulées sont alors satisfaisantes pour entretenir en général les processus de la morphogenèse dynamique avec cependant comme cela a été vu, des conséquences variables selon les zones drainées.

** Un fonctionnement extrême avec des débits élevés, écoulés lors des trois mois d'hiver (décembre, janvier et février) qui constituent le cœur de la période de hautes eaux. Les valeurs atteintes sont supérieures à 36 m3/s. Lors de cette période la Seille dégage une énergie qui suffit à réaliser une érosion notoire du lit fluvial sur l'ensemble du cours d'eau

** Un fonctionnement estival qui dure quatre mois (juin, juillet, août et septembre) et apparaît pendant la période des basses eaux lorsque le débit est inférieur à 3 m3/s. Les

processus de la dynamique fluviale sont alors au repos et l'érosion physique du lit est quasi arrêtée.

Au niveau du paysage fluvial, le suivi de la Seille depuis le 12ème siècle permet de comprendre que le cours d'eau a subi dans le passé de multiples actions anthropiques liées aux usages du lit et de l'eau. La confrontation de nos différents résultats de recherche a permis de dégager des raisons spécifiques à ces actions d'aménagements. Les premières modifications étaient surtout économiques, liées à la navigation afin d'exploiter le sel dans la zone de Marsal. Aujourd'hui les actions se suivent mais avec un but de lutter contre les inondations. A présent il est difficile de détecter précisément les endroits qui sont restés naturels loin de toute sorte d'actions anthropiques. Ce qui est sûr, c'est qu'au fil du temps, la Seille s'est adaptée à ces nouveaux aménagements, selon les zones drainées. Elle a créé un mode de réponse correspondant à une érosion peu spectaculaire du lit, mais « obstinée ». Seuls les événements extrêmes peuvent bouleverser le système fluvial et conduire à quelques changements du paysage fluvial, malgré l'influence des actions anthropiques. Au cours de ces événements, la rivière développe une forte puissance permettant de modeler ou de remodeler le lit fluvial. Mais ces actions se réalisent différemment selon les zones :

*** dans la partie amont anciennement aménagée, le tracé est rectiligne, les berges sont basses, la pente du lit est de l'ordre de 0.24‰. Elle est caractérisée par une dynamique faible avec des formes peu évolutives, en accord avec une tendance naturelle du cours d'eau. Aujourd'hui le paysage fluvial ressemble à un vaste champ d'inondation, occupée par des prairies.

*** dans la partie médiane, peu aménagée, le tracé est sinueux, la pente du lit mineur plus élevée (0.4 ‰) favorise une érosion plus importante et plus contrastée. Depuis 1967, le développement des cultures au détriment des prairies est peut être un indice de la réduction des débordements associée aux aménagements (curage).

*** dans la partie aval, l'évolution du cours d'eau est sous l'influence des actions anthropiques. Ici l'emprise humaine est très importante. Et au cours de l'histoire récente, les modifications ont été permanentes. Mais cela ne suffit pas à contenir la dynamique fluviale probablement aidée par une pente longitudinale du lit un peu plus élevée qu'ailleurs. Dans cette zone aval, l'occupation du sol a connu durant ces 36 dernières années une extension des espaces construits et une transformation des prairies en cultures (Marly et Cuvry).

En définitive, l'ensemble de ces résultats peut servir à l'aménagement du cours d'eau bien qu'il soit difficile de concilier l'ensemble des facteurs. Leur prise en compte optimale serait gage de réussite, car il est nécessaire de s'adapter aux conditions, qu'elles soient d'ordre climatique, hydrologique, hydrogéologique…Or, la compréhension du milieu est primordiale si l'on veut en assurer une gestion appropriée.

Au terme de cette étude, nous avons la certitude que la recherche sur le thème de la géomorphologie fluviale devra être poursuivie dans le bassin de la Seille, soit dans le cadre des recherches universitaires soit dans le cadre des projets des services qui gèrent le cours d'eau (Agence de l'eau, Diren, Syndicat d'aménagement…).

Les résultats que nous avons obtenus ont permis d'améliorer la connaissance du cours d'eau, et indirectement de prendre en considération les ambitions des populations riveraines. La formulation de ces résultats et leur comparaison à d'autres études ont permis de comprendre la relation qui existe entre les riverains et le cours d'eau quant à l'intérêt des actions d'aménagements dans la gestion d'une rivière comme la Seille. A partir de là, l'analyse des états actuels du paysage fluvial et sa comparaison avec les anciens, a permis d'établir les priorités d'aménagements par tronçons suivant la dynamique du cours d'eau ; protéger, restaurer et valoriser la rivière. A partir du modèle qui a été réalisé, nous proposons un ensemble de perspectives liées aux actions d'aménagements. Mais il faut fixer d'autres

objectifs d'aménagement car il n'y a pas que la lutte contre les inondations. Il faut préserver le paysage fluvial. Il sera toujours nécessaire de surveiller et d'entretenir le cours d'eau, même lorsque les objectifs les plus ambitieux seront atteints. Les aménagements proposés ont pour vocation première la restauration de la fonctionnalité écologique et morpho dynamique du cours d'eau et l'amélioration de la qualité de l'eau. Plus en détail, ces perspectives concernent essentiellement :

* L'amélioration de la qualité d'eau : cet objectif est seulement cité pour un rappel car notre étude n'a pas abordé ce problème.

* La protection des berges : la technique de géotextile pourrait être accompagnée d'autres types d'aménagements, comme les enrochements ou la végétalisation arborée, favorisant la reconstitution de la ripisylve

* L'écoulement et l'entretien du cours d'eau : ils ont pour but de garantir une meilleure circulation dans le cours d'eau surtout pendant la période d'étiage (problèmes d'embâcles). L'encombrement du lit mineur témoigne d'une absence d'entretien du cours d'eau. Il est important de mener régulièrement quelques opérations comme la réfection des ouvrages en lit mineur, l'entretien des ponts (nettoyage des piles). En raison des rôles écologiques que peuvent jouer les embâcles en tant que refuge ou habitat pour la faune aquatique, le nettoyage du lit mineur ne doit néanmoins pas conduire à un lit « propre ». L'enlèvement des embâcles doit ainsi se limiter aux situations de divagation du lit ou d'érosion des berges.

Si la majorité considère encore la Seille comme une rivière très calme, du fait de ces étiages très marqués et de ces crues lentes dans leur évolution et leur propagation, il faut rappeler que cette rivière pose encore des problèmes en terme de gestion malgré toutes les actions anthropiques. Quoiqu'il en soit, la lutte contre les inondations reste un grand défi pour les riverains de la vallée de la Seille.

Références bibliographiques

- Abernethy. B., Rutherfurd. I.D. (1988) : Where along a river's length will vegetation most effectively stabilise stream banks. *Geomorphology*, 23, pp. 55 - 75.
- Abi-Zeid. I., Bobée. B. (1999) : La modélisation stochastique des étiages. *Revue des sciences de l'eau*, Québec, 12/3, pp. 459 - 484.
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse. (1985) : *L'entretien des cours d'eau. Cahier technique de la direction de la prévention des pollutions*, 100 p.
- Agence de l'eau Rhin-Meuse. (1989) : *Atlas de la lithologie et de la perméabilité du bassin Rhin-Meuse*.
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse. (1999) : *La gestion des rivières, transport solide et atterrissements, guide méthodologique*, n° 65.
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse. (2000) : *Qualité du milieu physique de la Seille*. Direction régionale de l'environnement Lorraine, 33 p.
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse., Diren. Lorraine. (1994) : *Schémas piscicoles du bassin Rhin-Meuse, synthèses*.
- Ardillier-Cerras. F. (1997) : *L'eau ressource pour le développement d'un espace rural : l'exemple du bassin de la Gartempe*. Presses Universitaires de Limoges.
- Astrade. L., Bravard. J.P. (1999) : Energy gradient and geomorphological processes along a river influenced by neotectonics. *Geodinamica Acta*, Paris, vol. 12, I, pp. 1 - 10.
- Bagnold. R.A. (1977) : Bed load transport by natural rivers. *Water Resources Research*, 13, 2, pp. 303 - 312.
- Bariou. R. (1978) : *Manuel de télédétection : photographies aériennes, images radar, thermographies et satellites*. (Ed) Sodipe S.A, Paris, 339 p.
- Beringuier. C., Beringuier P. (1991) : Manières paysagères, une méthode d'étude, des pratiques. *Géodoc*, Université de Toulouse-le-Mirail, Toulouse, N·35, 85.
- Bravard. J.P. (1994) : L'incision des lits fluviaux : du phénomène morphodynamique naturel et réversible aux impacts irréversibles. *Revue de Géographie de Lyon*, 69, 1, pp. 5 - 10.
- Bravard. J.P. (2000) : Les extrêmes hydrologiques : handicaps réductibles ou composantes patrimoniales à sauvegarder ? In : Bravard. J.P. (Ed). *Les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques. Gestion des excès et de la pénurie*. Sedes, pp. 5 - 14.
- Bravard. J.P., Petit. F. (1997) : *Les cours d'eau : dynamique du système fluvial*. Paris, Armand Colin, 222 p.
- Brunet-Moret. Y. (1978) : Recherche d'un test d'ajustement. *Cahier ORSTOM*, série hydrologie, 15 (3), pp. 261-280.
- CEGUM. (2000) : *Cartographie de la dynamique fluviale de la Moselle, du confluent de la Meurthe à Apach*. Rapport d'étude Diren Lorraine, 113 p.
- CEGUM. (2001) : *Cartographie de la dynamique fluviale de la Meurthe, de sa source jusqu'au confluent de la Moselle*. Rapport d'étude Diren Lorraine, 62 p.
- CEGUM. (2002) : *Cartographie de la dynamique fluviale de la Moselle amont de St Maurice/Moselle jusqu'au confluent de la Meurthe*. Rapport d'étude Diren. Lorraine, 77 p.
- CEGUM. (2003) : *Cartographie de la dynamique fluviale de la Vezouze et de la Mortagne, de leur source à la confluence avec la Meurthe*. Rapport d'étude Diren. Lorraine, 67 p.
- CEGUM. (2006) : *L'érosion fluviale des cours d'eau lorrains, d'origine vosgienne : Moselle, Meurthe, Vezouze, Mortagne, Sarre.* Rapport d'étude Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 139 p.
- CEGUM., AERM. (2006) : *Prévision et simulation pour l'annonce et la gestion des étiages sévères*. Rapport final.
- CEGUM., CREUM. (2000) : *Etude du système "Etang de Lindre"*. Rapport provisoire campagne, 13 p.
- Cohn. T.A. (1986) : *Flood frequency analysis with historical flood information*. PhD thesis, Faculty of the Graduate School of Cornell University, Cornell, June.

- Corbonnois. J. (1981) : *L'avant-côte de Moselle au sud de Metz. Etude de géographie physique*. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Nancy II, 322 p.
- Corbonnois. J. (1991) : Dynamique fluviale de la Mortagne. Exemples de quelques secteurs actifs. *Mosella*, t XVIII, pp. 85 - 105.
- Corbonnois. J. (1996) : *Les conditions de la circulation de l'eau en Lorraine*. Mémoire d'habilitation à diriger les recherches, Université de Toulouse le Mirail, 188 p.
- 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 Moselle). *Revue de Géographie Alpine n°2*, pp. 15 - 24.
- Cosandey. C., Robinson. M. (2000) : *Hydrologie continentale*. Armand Colin, Paris, 359 p.
- Coutagne. A. (1948) : Météorologie et hydrologie. Etude générale des débits et des facteurs qui les conditionnent. 2ème partie : les variations de débit en période non influencée par les précipitations. Le débit d'infiltration (corrélations fluviales internes). *La Houille Blanche*, pp. 416 - 436.
- Cubizolle. H. (1997) : *La Dore et sa vallée; approche géo-historique des relations homme/milieu fluvial*. Publication de l'Université de Saint-Etienne, 389 p.
- D.D.E., D.D.A.F. (1995) : *Recueil des zones inondables de la Seille amont*. 13 p.
- Dacharry. M. (1996) : Les grandes crues historiques de la Loire. *La Houille Blanche*, 6/7, pp. 47 - 53.
- Dacharry. M. (1997) : *Dictionnaire Français d'Hydrologie*.
- Decloux. J.P., Sary. M. (1991) : Campagnes d'étiage : objectifs, traitement et valorisation des données. *Mosella*, Presses Universitaires de Metz, pp. 121 - 133.
- Délégation du bassin Rhin-Meuse. (1999) : *Catalogues des débits mensuels d'étiage et des modules : bassin de la Moselle amont, bassin de la Moselle aval, bassin du Rhin en Alsace*.
- Département de la Moselle. (1994) : *Etude d'environnement du bassin versant de l'étang de Lindre*. L'atelier des territoires, Metz, 170 p.
- Diren. Lorraine. (1994) : *Etude hydrologique des crues du bassin français de la Moselle sur la période 1970-1991*. AREA et CEGUM, 35 p.
- Diren. Lorraine. (1996) : *Hydrologie des crues de la Moselle et de la Sarre. Synthèse des études hydrologiques et propositions en matière de politiques et prévention*, 83 p.
- Diren. Lorraine. (2004) : *Atlas des zones inondables du bassin de la Seille*. Carex environnement, Département eau et planification, 66 p.
- Dubreuil. P. (1974) : *Initiation à l'analyse hydrologique*. Masson, Orstom, Paris, 216 p.
- El Ghachi M., Corbonnois J. (2005) : Caractérisation d'un système fluvial par la cartographie des morphologies fluviales : le cas de la Seille (Lorraine, France). *Actes du colloque de Fès, Maroc*, pp. 449 - 572.
- Ferguson. R. (1987) : Hydraulic and sedimentary controls of channel pattern. In: Richards. K. (Ed). *River channels. Environment and process*. Bassil Blackwell, pp. 129 - 158.
- François. D. (1991) : Etude statistique des pluies et des débits annuels. Application de la loi de Gauss à quelques stations du bassin de la Moselle. *Mosella*, Tome XVIII, pp. 135 - 157.
- François. D., Gille. E., Zumstein. JF. (1993) : Analyse des séries chronologiques et applications aux données hydroclimatiques. In : Griselin M. (Ed). *L'eau, la terre et les hommes*. P.U. Nancy, pp. 137 - 146.
- Frécaut. R. (1982) : *Eléments d'hydrologie et de dynamique fluviale*. Tome 1, publication de l'Université de Nancy II, 106 p.
- Frécaut. R. (1983) : *Géographie de la Lorraine*. Presses Universitaires de Nancy, Serpenoise, 633 p.
- Galéa. G., Javelle. P., Chaput. N. (2000) : Un modèle débit - durée - fréquence pour caractériser le régime d'étiage d'un bassin versant. *Revue des Sciences de l'Eau*, vol.13, n°4, pp. 421 - 440.
- Gardiner. V. (1995) : Channel networks: progress in the study of spatial and temporal variations of drainage density. In : A. Gurnell and G. Petts (Ed). *Changing river channels*, Wiley, Chichester, pp. 65 - 85.
- Gautier. E., Touchart. L. (1999) : *Synthèse fleuves et lacs*. Armand Colin, Paris, 96 p.

- Gholami.V., Gazelle. F. (2003) : *La crue de février 2003 dans le bassin-versant du Touch*. Rapport monographique, DIREN Midi-Pyrénées, 25 p.
- Gille. E. (1983) : *Le fichier physiographique des bassins français de la Meuse et de la Moselle et son programme d'appel*. Rapport Agence de l'Eau Rhin-Meuse.
- Gille. E. (1985) : *Contribution à l'étude hydrologique des bassins de la Meuse et de la Moselle : problématique de l'utilisation d'un modèle couplé à discrétisation spatiale*. Thèse de 3ème cycle, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris et Université Pierre et Marie Curie, 213 p.
- Gille. E., Lang. C. (2004) : Problématique d'optimisation des paramètres de calage d'un bilan hydrologique : Application aux bassins versants de la Sauer. *Mosella*, Tomme XXVIII-n° 1-2, pp. 157-172.
- Gille. E., Nejjari. A., Devos. A., (2001) : L'Aguelmam Sidi Ali (Moyen-Atlas, Maroc) : un évaporomètre naturel ? Actes du colloque de Fès, Maroc, *Mosella*, Tome XXV-n°3-4, pp. 55 - 70.
- Goubet. A. (1997) : Les crues historiques de la Seine à Paris. *La Houille Blanche*, 52 (8), pp. 23 - 27.
- Gregory. K. J., Walling. D.E. (1973) : *Drainage basin form and process*. Edward Arnold, London, 458 p.
- Grisan. M. (1999) : *Influence des vidanges de l'étang du Lindre sur les débits de la Seille*. Mémoire de Maîtrise, Université de Metz, 122 p.
- Griselin. M. (1993) : *L'eau, la terre et les hommes*. Hommage à René Frecaut. Presses Universitaires de Nancy, 483 p.
- Gros. F. (1993) : *Regard sur la biologie contemporaine*. Gallimard.
- Hargreaves. G.H., Samani. Z.A. (1985) : Reference crop evapotranspiration from temperature. *Transaction of ASAE* 1(2), pp. 96 - 99.
- Heintz. S. (1998) : *L'étang de Lindre : sa situation juridique, son exploitation et les menaces de son assèchement. Des origines à la révolution*. Mémoire de DEA; Université de Metz, 94 p.
- Hilly. J., Haguenauer. B. (1979) : *Guides géologiques régionaux "Lorraine - Champagne"*. Masson, Paris, 215 p.
- Humbert. J. (1990) : Les cours d'eau d'Alsace : régimes moyens et comportements extrêmes. *Bulletin de la société Industrielle de Mulhouse*, 817, 2, pp. 35 - 54.
- Knapp. R.T. (1938) : Energy balance in stream flows carrying suspended load. *Am. Soc. Mech. Engineers Trans*, pp. 501 - 505.
- Knighton. A. D. (1984): *Fluvial forms and processes*. Edward Arnold, 218 p.
- Knighton. A.D., Nanson. G.C. (1993) : Anastomosis and the continuum of channel pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18, pp. 613 - 625.
- Laborde. J.P. (1982) : *Eléments d'hydrologie de surface*, Tome 1.
- Lambert. R. (1995) : *Méthodologie pour une cartographie informative des zones inondables en Midi-Pyrénées*. Université de Toulouse-le-Mirail, Diren Midi-Pyrénées.
- Lambert. R. (1996) : *Géographie du cycle de l'eau*. P.U. du Mirail, Toulouse, 439 p.
- Lang. C., Gille. E. (2006) : Une méthode d'anlyse du tarissement des cours d'eau pour la prévision des débits d'étiage. *Norois*, n° 201, vol. 4, pp. 31 - 43.
- Larras. J. (1972) : *Hydraulique et granulats*. Eyrolles, Paris, 257 p.
- Lawler. D.M. (1992) : Process dominance in bank erosion systems. In : Carling, P. A. and Petts, G.E. (Ed). *Lowland floodplain rivers: geomorphological perspectives*, John Wiley and Sons, pp. 117 - 143.
- Le Roy Ladurie. E. (1983) : *Histoire du climat depuis l'an mil*. Flammarion, coll. Champs, tome 2, 376 p.
- Léopold. L.B., Wolman. M. G. (1957) : River channel patterns-braided, meandering and straight. *U.S. Geological Survey Professional paper*, 282B, pp. 39 - 85.
- Leopold. L.B., Wolman. M.C., Miller. J.P. (1964) : *Fluvial processes in geomorphology*. San Francisco, W.H. Freeman and Co., 522 p.

- Lewis. J.A. (1982) : British floodplains. In : Adlam. B.H, Fenn C.R., Morris. L. Ed , *papers in Earth Studies, Geobooks*, pp. 21 - 37.
- L'hôte. Y. (1967) : *La Seille, étude hydrologique*. Thèse de 3ème cycle, Université de Paris, 205 p.
- Linacre. (1977) : A simple formula for estimating evaporation rates in various climates using temperature data alone. *Agricultural Meteorology* 18, pp. 409 - 424
- Lizet. B., Ravignan. F. (1987) : Comprendre un paysage. Guide pratique de recherche. INRA, Paris, 143 p.
- Llamas (1993) : *Hydrologie générale. Principes et applications*. Ed Gaëtan Morin, 2ème édition, 527 p.
- Loup. J. (1974) : *Les eaux terrestres, hydrologie continentale*. Masson, Paris, 175 p.
- Masson. M. (1842) : *Mémoire sur les étangs de Lindre*. Communiqué à la Société Royale et Centrale d'Agriculture.
- Masson. M., Garry. G., Ballais. J.L. (1996) : *Cartographie des zones inondables, approches géomorphologiques*. Les éditions villes et territoires, Arche de la Défense, Paris, 100 p.
- Météo France. (2001) : Bulletins Hebdomadaire d'Etude et de Renseignements. *Météo France*, Paris, n° 9 à 19.
- Météo France. (2002) : Bulletins Hebdomadaire d'Etude et de Renseignements. *Météo France*, Paris, n° 1 à 5.
- Météo France. (2003) : Bulletins Hebdomadaire d'Etude et de Renseignements. *Météo France*, Paris, n° 31, 32 et 33.
- Mottet. G. (1999) : *Géographie physique de la France*. PUF, 768 p.
- Nanson. G.C., Knighton. A.D. (1996) : Anabranching rivers : their cause, character and classification. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21(3), pp. 217 - 239.
- 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 3ème cycle, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 227 p.
- Nearing. M.A., Norton L.D., Bulgakov D.A., Larionov. G.A., West. L.T., Dontsova. K.M. (1997) : Hydraulics and erosion in eroding rills. *Water resources research*, vol. 33, n°4, pp. 865 - 876.
- Nejjari. A. (2002) : *La sécheresse, l'eau et l'homme dans le bassin du Haut Sebou (Moyen Atlas Septentrional - Maroc)*. Thèse de 3ème cycle, Université de Metz. 283 p.
- Nixon. M. (1959) : A study of the bank-full discharges of rivers in England and Wales. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 12, pp.157 - 174.
- Ouarda. T., Ashkar. F., El-Jabi. N. (1993) : Peak over threshold model for seasonal flood variations. In: Kuo C.Y. (ed.). Engineering Hydrology, Publication, *A., Proc. of Symposium of San Francisco*, California.
- Ouarda. T., Lang M., Bobée B., Bernier J., Bois P. (1999) : Synthèse de modèles régionaux d'estimation de crue utilisée en France et au Québec. *Revue des Sciences de l'Eau*, 12 (1).
- Pagney. P. (1988) : *Climat et cours d'eau de France*. Masson, Paris, 245 p.
- Parde. M. (1968) : *Fleuves et rivières*. Armand Colin, Collection U2, 5ème édition, 241 p.
- Peiry. J.L (1989) : Channel degradation in the middle Arve River, France (Short Communication). Regulated Rivers. *Research et Management*, 1, pp. 183 - 188.
- Penman. H.L. (1948) : Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proc. Roy. Soc. London*, A193, pp.120 - 146.
- Petit. F. (1995) : Régime hydrologique et dynamique fluviale des rivières ardennaises. In : Demoulin. A. (Ed). *L'Ardenne - Essai de géographie physique, Livre en hommage au professeur A. Pissart*, Laboratoire d'hydrographie et de géomorphologie fluviatile, Université de Liège, pp. 194 - 223.
- Petit. F., Daxheletet. C. (1989) : Détermination du débit à pleins bords et de sa récurrence dans différentes rivières de moyenne et haute Belgique. *Bulletin de la société géographique de Liège*, 25, pp. 69 - 89.

- Petit. F., Perpinien. G., Deroanne. C. (2000) : Détermination des puissances spécifiques critiques dans des rivières à charge de fond caillouteuse. *Revue géographique de l'Est*, 40, 1 - 2, pp. 59 - 65.
- Petts. G.E. (1977) : Channel response to flow regulation: the case of the River Derwent, Derbyshire. In : Gregory KJ (Ed). *River Channel Changes*, pp. 145-164.
- Piegay. H., Barde. O., Landon. N. (1996) : Streamway concept to river mobility/ Human use conflict management. *Proceedings Rivertech* 96, 1st International Conference On New/ Emerging concepts For Rivers, vol. 2, Sept. 22 - Sept. 26, Chicago, Illinois, USA, pp. 681 - 688.
- Pointet. T. (2004) : Les relations nappes-rivières, observations à partir des étiages de petites rivières. *La Houille Blanche*, 4 , pp. 87 - 91.
- Potter. H.R. (1978) : The use of historic records for the augmentation of hydrological data. *Technical report number 46, Institute of hydrology*, Wallingtord.
- Réménieras. G. (1986) : *L'hydrologie de l'ingénieur*. Edition Eyrolles, Paris, 413 p.
- Richard. J.F. (1975) : *L'étang de Lindre*. Université de Metz, U.E.R d'écologie, 216 p.
- Richards. K.S. (1982) : *Rivers: form and process in alluvial channels*. London, Routledge.
- Riley. S.J. (1972) : A comparison of morphometric measures of bankfull. *Journal of Hydrology*, 17, pp. 23 - 31.
- Roche. M. (1963) : *Hydrologie de surface*. Gauthier-Villars, Paris, 429 p.
- Rolland -May. C. (2000) : *Evaluation des territoires : concepts, modèle, méthodes*. Hermes Science Publication, Paris, 382 p.
- Rouvellac. E. (2002) : De la cartographie des terroirs de l'aire AOC Cahors à la proposition d'un classement de terroirs en un "premier cru Cahors". *Norois*, pp. 15.
- Roy. A.G., De Serres. B. (1989) : Morphologie du lit et dynamique des confluents de cours d'eau. *Bulletin de la société géographique de Liège*, pp. 113 - 127.
- S.R.A.E.L. (1978) : *Etude des crues de la Seille*, 30 p.
- S.R.A.E.L. (1981) : *La crue du 16 octobre 1981 en Lorraine*.
- S.R.A.E.L. (1986) : *Etude de vidange de l'étang de Lindre*, 23 p.
- S.R.AE.L. (1990) : *Pollution de la Seille : note sur les observations et les causes (diffusion récente)*, 15 p.
- Saint-Laurent. D., Guimont. P. (1999) : Dynamique fluviale et évolution des berges du cours inférieur des rivières Nottaway, Broadback et de Répurt, en Jamésie (Québec). *Géographie Physique et Quaternaire*, vol 53, n° 3, pp. 389 - 399.
- Sary. M. (1993) : Signification du profil hydrologique de basses eaux, cas de la Plaine dans le massif Vosgien. In : Griselin M. (Ed). *L'eau, la terre et les hommes*, pp. 129 - 136.
- Schmitt. L. (2001) : *Typologie hydro-géomorphologique fonctionnelle de cours d'eau. Recherche méthodologique appliquée aux systèmes fluviaux d'Alsace*. Thèse de 3ème cycle, Université Louis Pasteur, 217 p.
- Schmitt. L., Maire. G., Humbert.J. (2001) : La puissance fluviale : définition, intérêt et limites pour une typologie hydrogéomorphologique de rivières. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 45, 2, pp. 201 - 224.
- Schontz. A. (2004) : *Les voies navigables en Lorraine*. Editions Serpenoise, 189 p.
- Schulé A. (1975) : Contribution à l'étude géographique des sécheresses. *Revue géographique de l'Est*, Nancy, t. XV, n° 1 - 2.
- Schumm. S.A. (1971) : *The fluvial system*. John Wiley et Sons, 338 p.
- Sghir. S. (2002) : *L'aménagement hydro-agricole en Doukkala : impacts sur l'organisation socio-économique et spatiale*. Thèse de 3ème cycle, Université de Metz, 276 p.
- Simons. D.B., Richardson. E.V., Nordin, C.F. (1965) : Sedimentary structures generated by flow in alluvial channels. *American Association of Petroleum Geologists, Special Publication*, n° 12, pp. 34 - 52.
- Suttor. M. (1995) : *L'intérêt des recherches en géographie historique appliquée, une étude d'hydrologie fluviale : la Meuse*. Strasbourg, 25 p.

- Syndicat mixte de l'aménagement de la Seille. (1996) : *Etude de renaturation de la Seille et de ses affluents : rapport définitif. Phases 1, 2, 3 et 4. Propositions d'actions pour la renaturation de la Seille*. Thera (bureau d'étude), Nancy.
- Tallaksen. L.M. (1995) : A review of baseflow recession analysis. *Journal of hydrology*, 165, pp. 349 - 370.
- Taous. A. (2005) : Géomorphologie fluviale : processus morphosédimentaires, ajustements spatio-temporels, paléoenvironnement et mutations récentes des espaces fluviaux. *Publication de la faculté des Lettres et des Sciences Humaines Sais* - Fès, série "Thèse et monographie", n 11, 415 p.
- Thomson. M.T., Gannon. W.B., Thomas. M.P., Hayes. G.S. (1964) : Historical floods in New England. *US Geological Water Supply Paper*, 1779 - M: M1 - M 99.
- Tricart. JLF. (1977) : *Précis de Géomorphologie. Tome 2, Géomorphologie, dynamique générale*. Sedes, 345 p.
- Turc. L. (1961) : Evaluation des besoins en eau d'irrigation. Evapotranspiration potentielle. *Annales agronomiques*, vol. 12, n° 1.
- Valette. P. (2002) : *Les paysages de la Garonne : les métamorphoses d'un fleuve*. Thèse de 3ème cycle, Université de Toulouse II (Toulouse le Mirail), 554 p.
- Van den Berg. J.H. (1995) : Prediction of alluvial channel pattern of perennial rivers. *Geomorphology*, 12, pp. 259 - 279.
- Ven Te Chow. (1959) : *Open- Channel hydraulics*. McGraw-Hill.
- Vigneau. J. P. (1996) : *L'eau atmosphérique et continentale*. SEDES, Paris, 192 p.
- Woolley. C.S., McEwen. B.S. (1994) : Estradiol regulates hippocampal dendritic spine density via and N-methyl-D-aspartate receptor-dependent mechanism. *J Neurosci*, 14, pp. 7680 - 7687.

Documents des archives

- *Série M* : 307 M78-90., 307 M 88., 307 M 89., 307 M 91., 307 M 97., 307M 98., 307 M 100., 307 M 101-103., 307 M 119., 307 M 119., 307 M 151-175., 307 M 236., 307 M 297., 307 M 298., 307 M 381.
- *Série AL* : 16 AL 165., 16AL166., 16AL166., 16AL168., 16AL169., 16AL 170., 16AL 1971., 16AL 189., 16AL 190., 16AL 191.
- *Série S* : 5 S 6., 5 S 10., 5 S 35., 5 S 36.

Références électroniques

- www.prim.net
- www.lorraine.ecologie.gouv.fr/
- www.eau.rhin-meuse.fr/
- www.brgm.fr
- Dictionnaire français d'hydrologie : http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/indexdic.htm
- www. pnr-lorraine.com/environnement/eau/seille
- www.archives57.com/
- www.cg54.fr/cg54/
- www.cawa.fr/site34.
- www.ineris.fr/
- www.ec-nantes.fr/ENSEE/
- Land Cover. C.(1990) : http://www.fomento.es/MFOM/LANG

UNIVERSITE PAUL VERLAINE DE METZ

ECOLE DOCTORALE PERSPECTIVES INTERCULTURELLES : ECRITS, MEDIAS, ESPACES ET SOCIETES

Centre d'Etude Géographique de l'Université de Metz

Thèse de Doctorat de l'Université Paul Verlaine de Metz
Discipline : Géographie

El Ghachi Mohamed



La Seille : Un système fluvial anthropisé (Lorraine, France)



Tome II

Thèse soutenue publiquement devant un jury composé de :

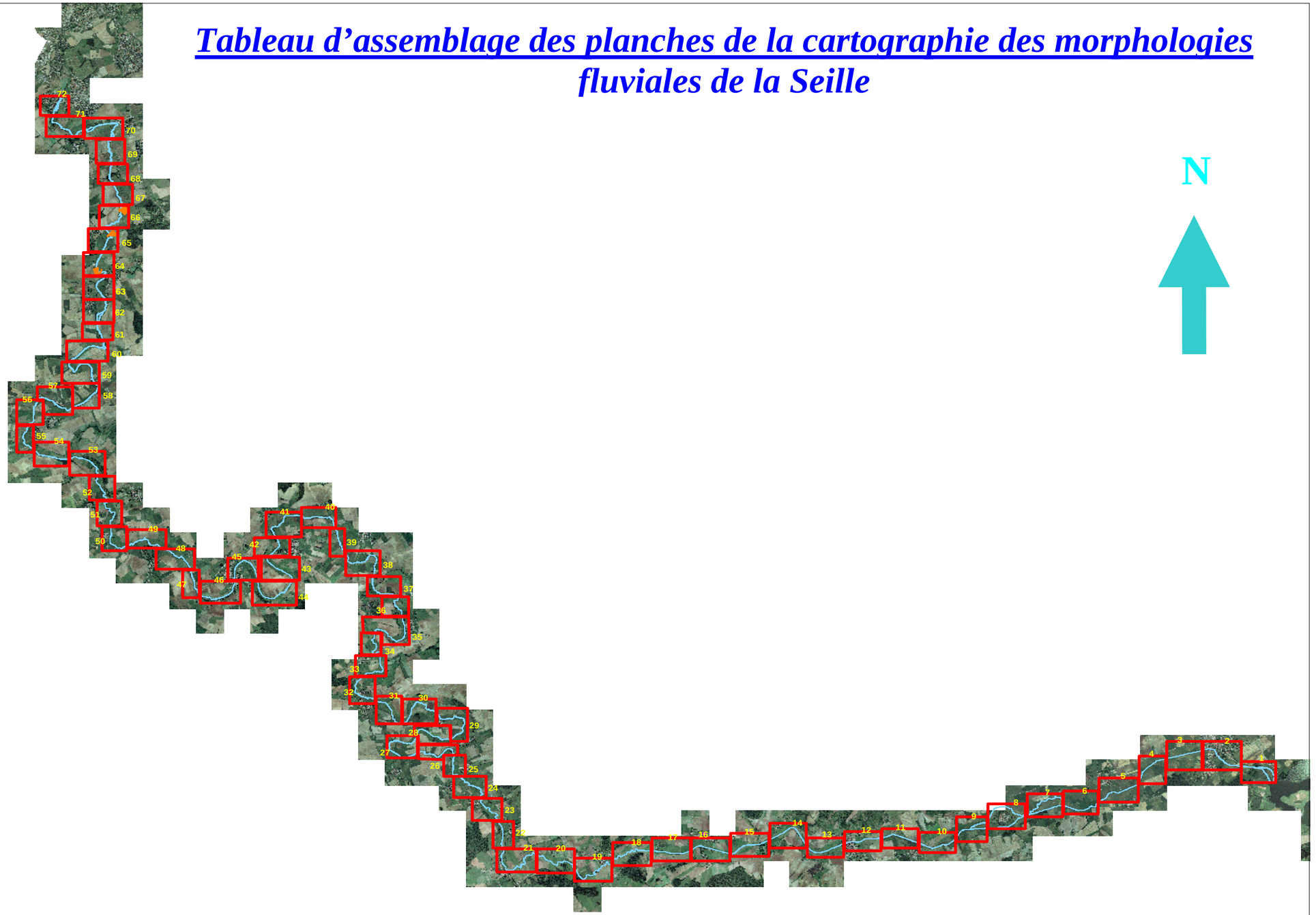
Jeannine CORBONNOIS : Professeur à l'Université du Maine. (Directrice de thèse)
Brahim AKDIM : Professeur à l'Université de Fès-Saïs, Maroc. (Rapporteur)
Marie JOSEE PENVEN : Professeur à l'Université de Rennes 2. (Rapporteur)
Michel DESHAIES : Professeur à l'Université de Nancy 2. (Examinateur)
Emmanuel GILLE : Maître de conférences à l'Université de Metz. (Examinateur)

Metz, le 22 novembre 2007

Cartographie des morphologies fluviales de la Seille

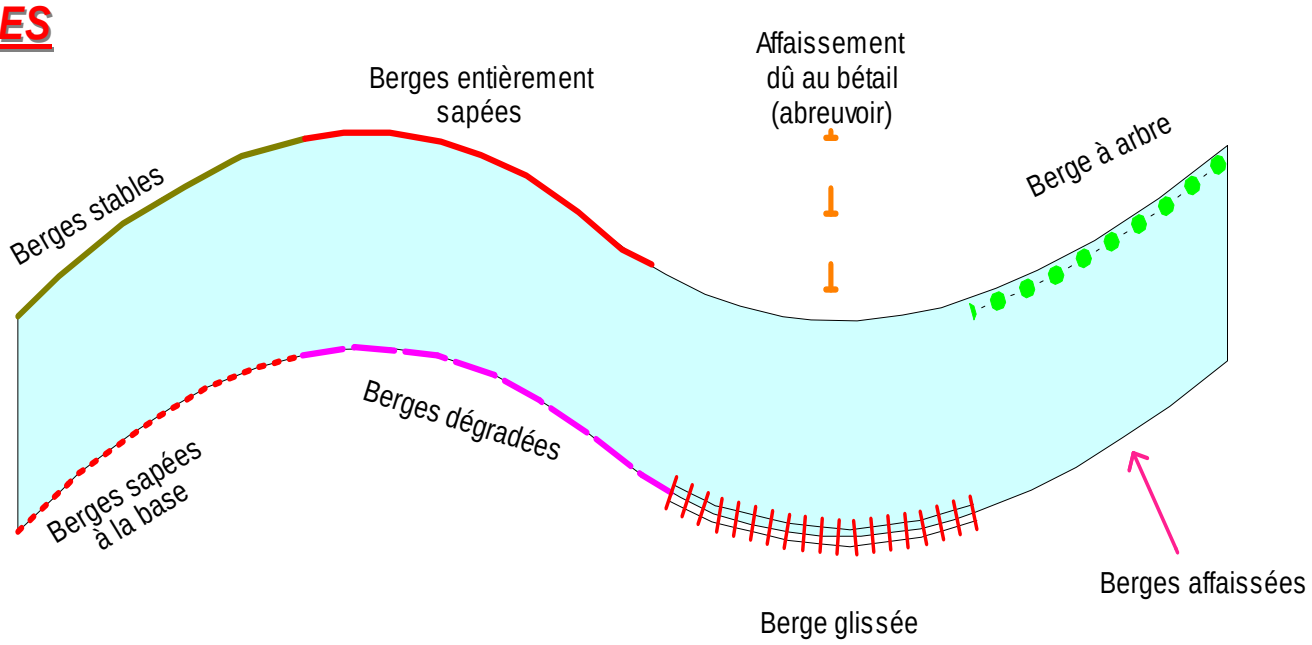
BD Orthophotoplan IGN 1999

Tableau d'assemblage des planches de la cartographie des morphologies fluviales de la Seille

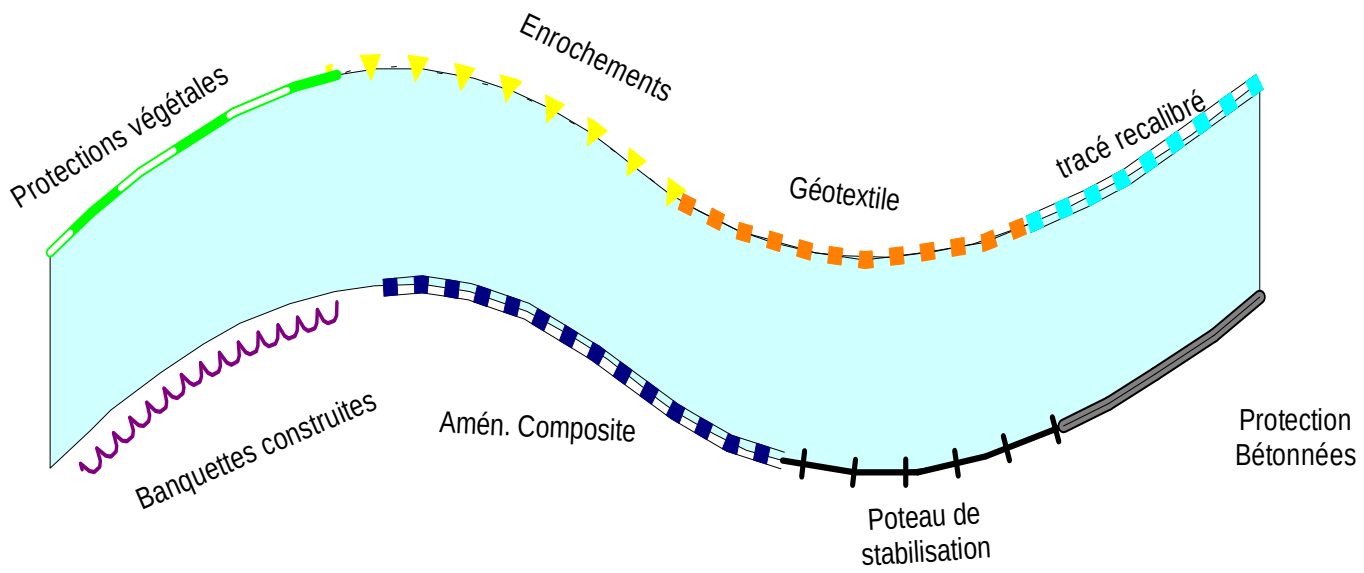


Légende de la cartographie des morphologies fluviales

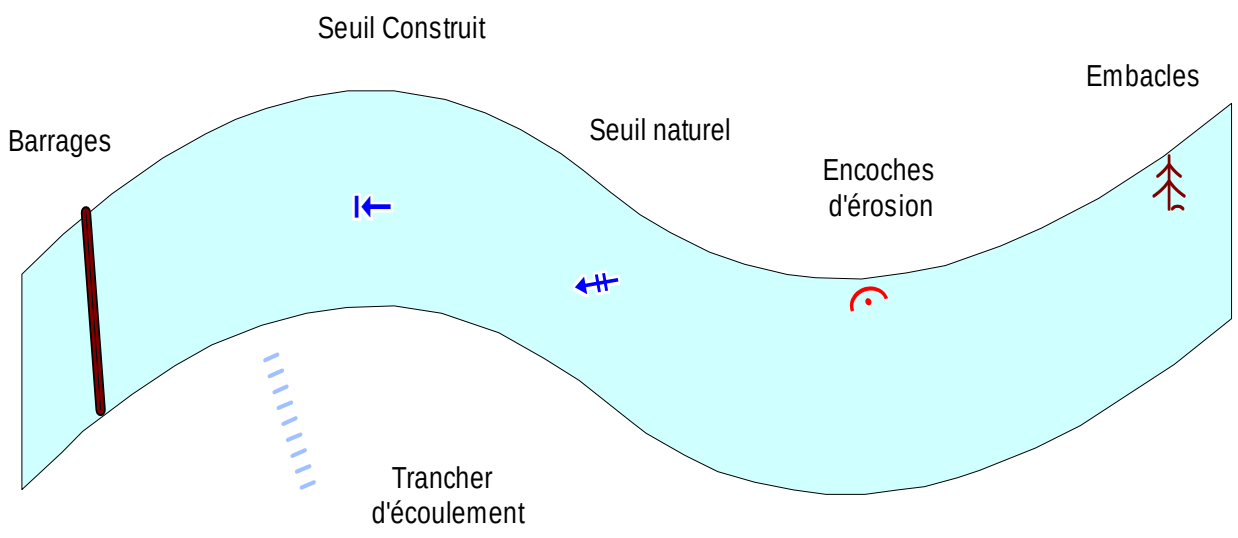
BERGES

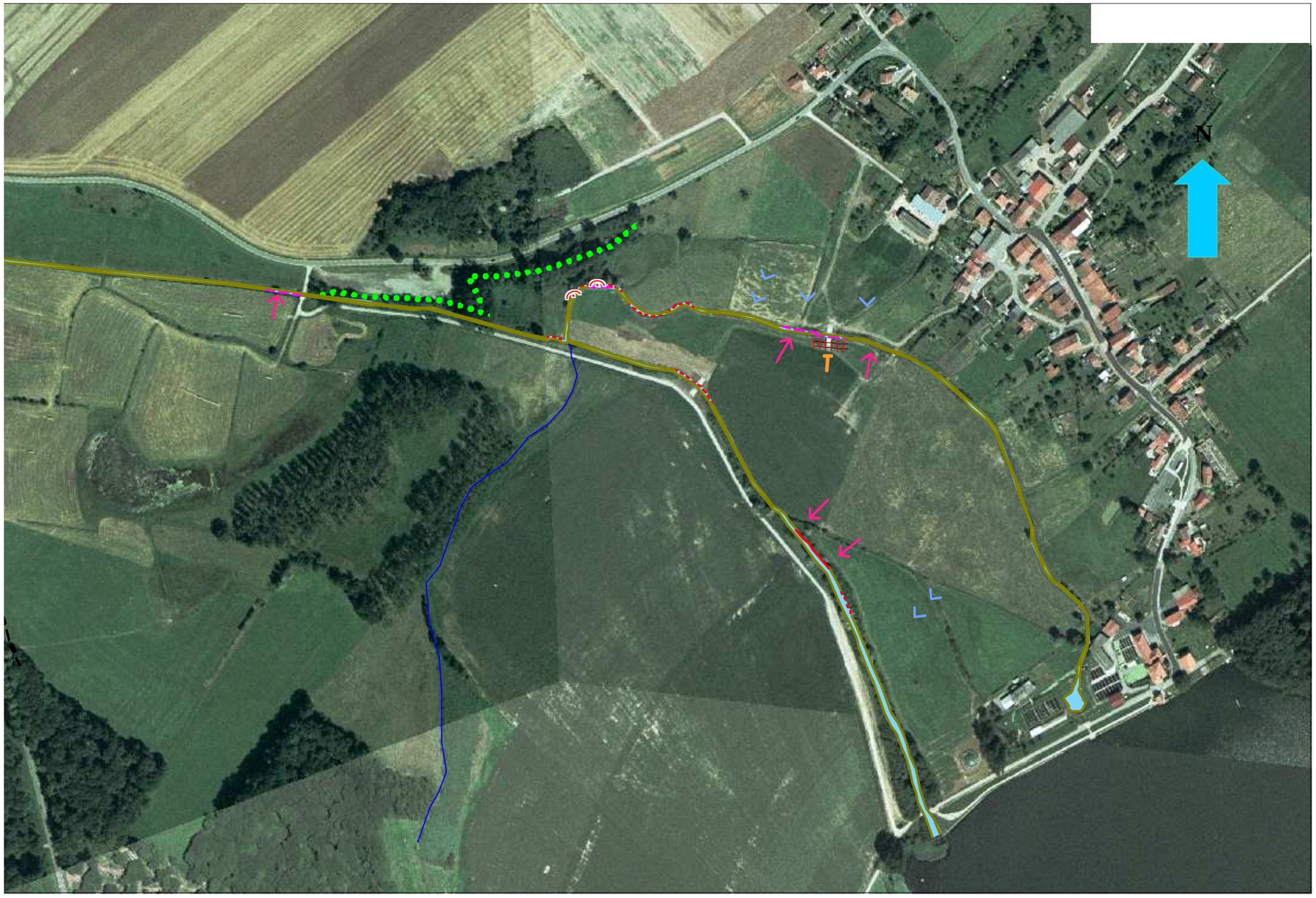


AMENAGEMENTS



LIT MINEUR





**** Planche : 1*** **** Zone : Pays des Etangs*** **** Tronçon : 1*** **** Echelle : 1/ 5000***

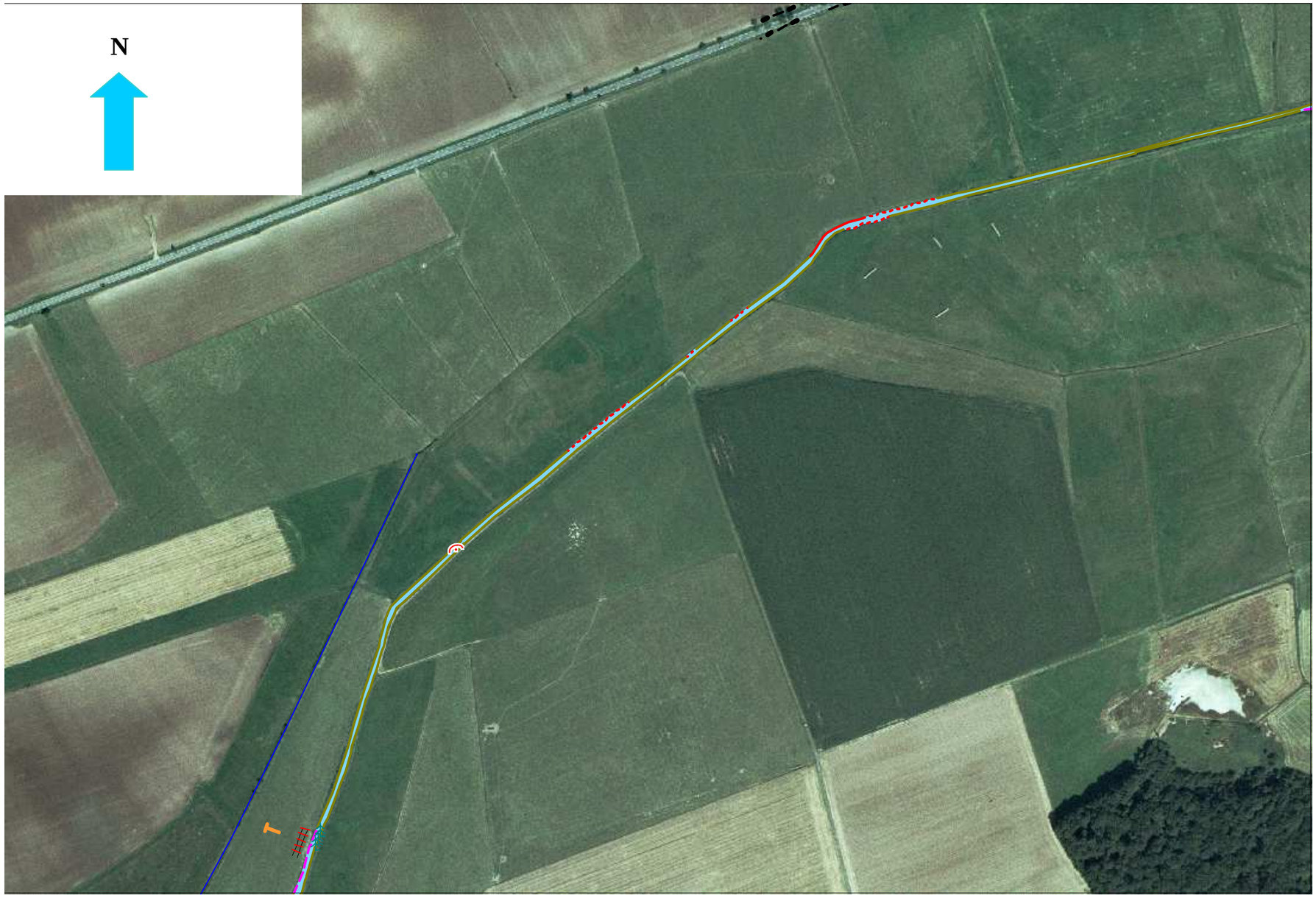


**** Planche : 2*** **** Zone : Pays des Etangs*** **** Tronçons : 1 et 2*** **** Echelle : 1/ 5000***

€€



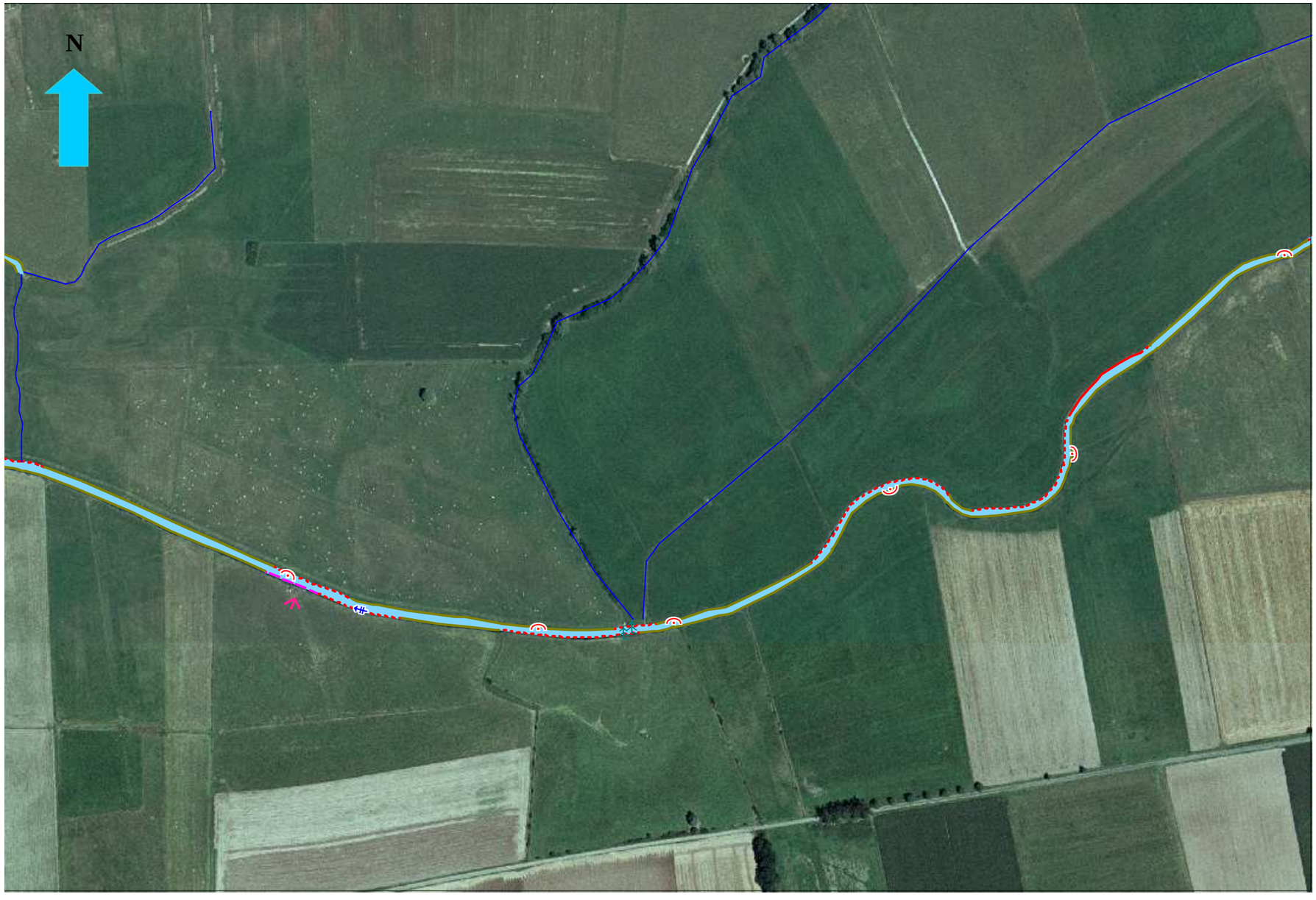
**** Planche : 3*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 3a*** **** Echelle : 1/ 5000***



**** Planche : 4*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 3b*** **** Echelle : 1/ 5000***



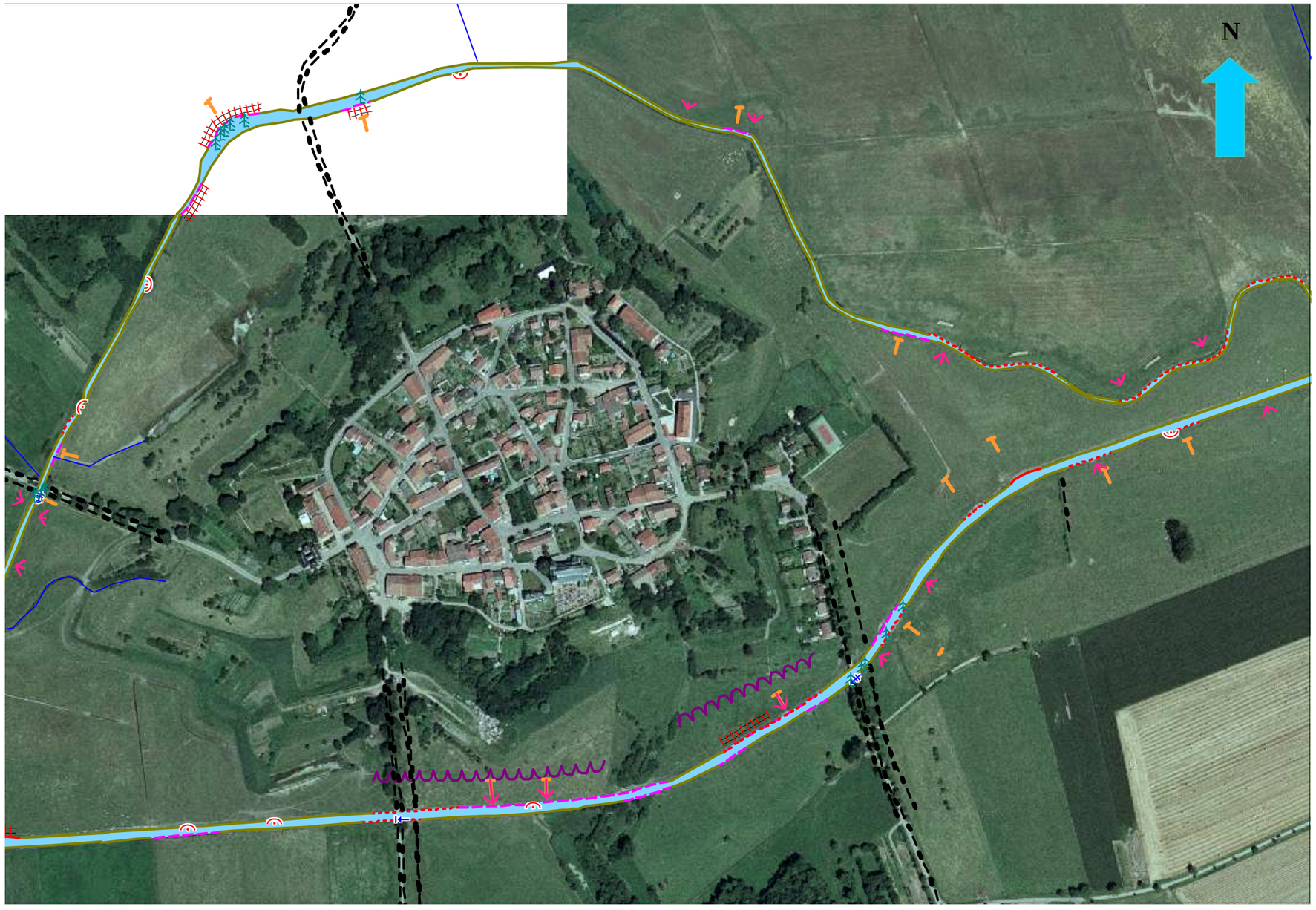
** Planche : 5*	** Zone : Du Saulnois*	** Tronçon : 3c*	** Echelle : 1/ 5000*



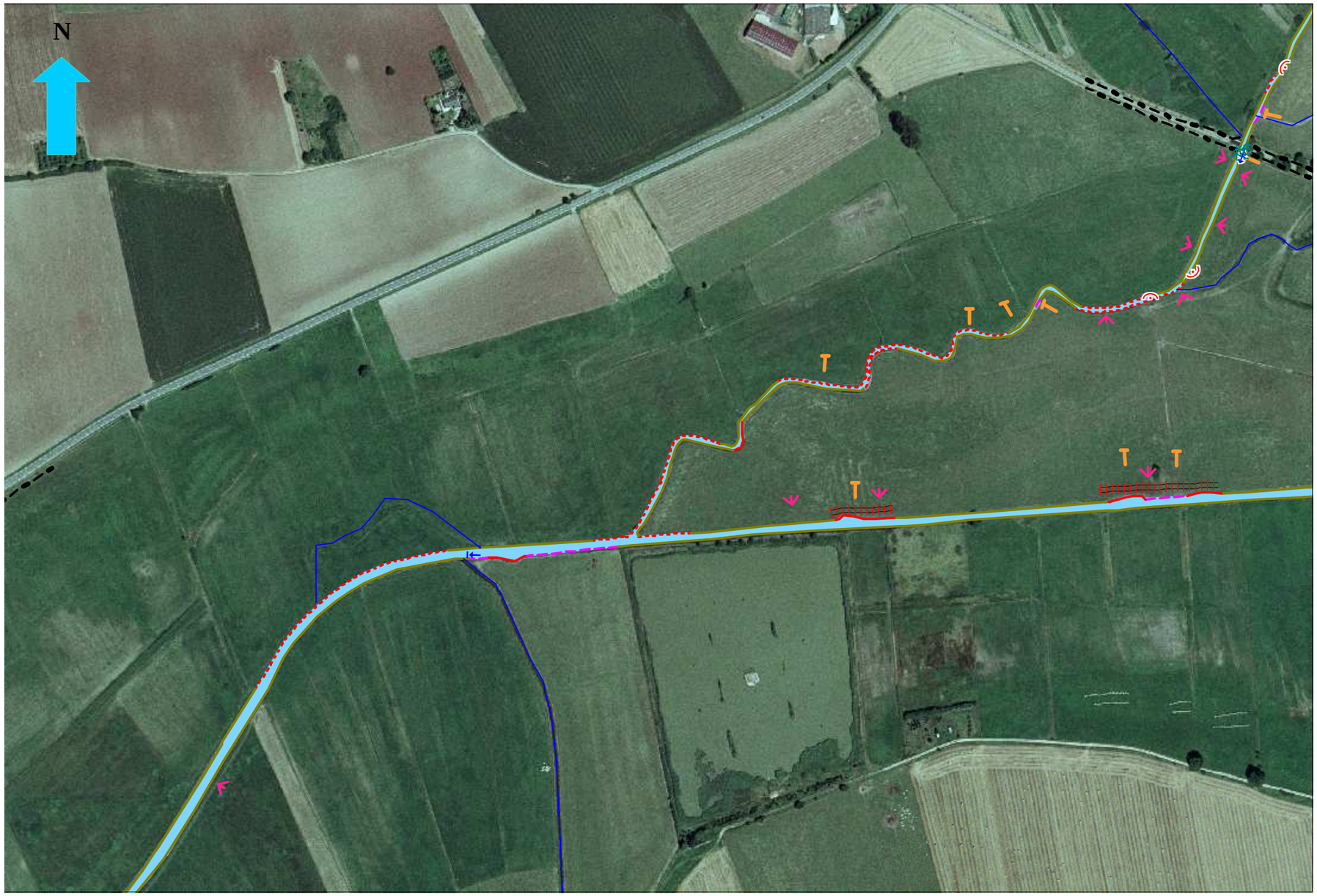
**** Planche : 6*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 3d*** **** Echelle : 1/ 5000***



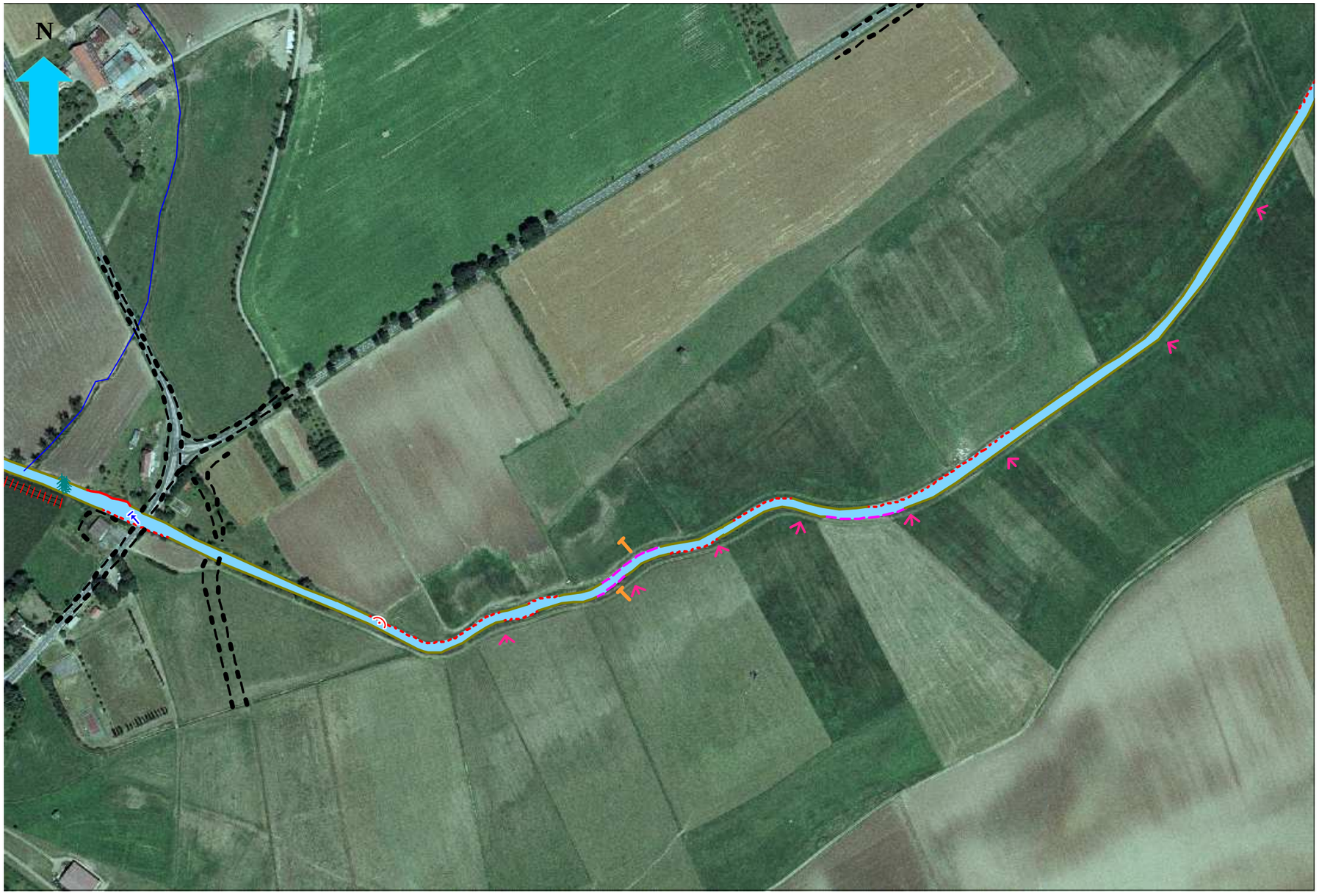
**** Planche : 7*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçons : 4a et 5b*** **** Echelle : 1/ 5000***



** Planche : 8* ** Zone : Du Saulnois* ** Tronçons : 4b et 5b* ** Echelle : 1/ 5000*



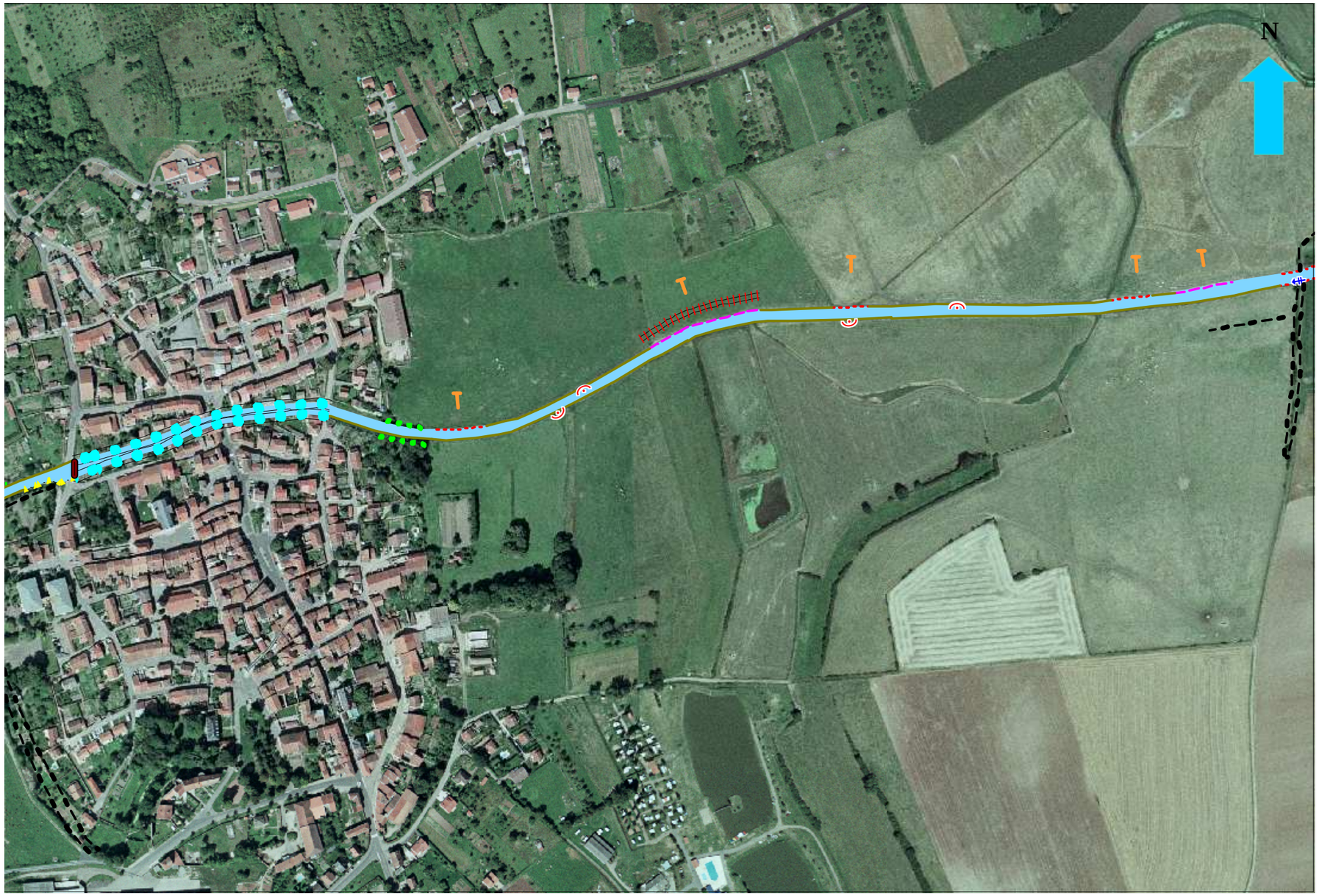
** Planche : 9* ** Zone : Du Saulnois* ** Tronçons : 4c et 5c* ** Echelle : 1/ 5000*



** Planche : 10* ** Zone : Du Saulnois* ** Tronçon : 5d* ** Echelle : 1/ 5000*



**** Planche : 11*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 5e*** **** Echelle : 1/ 5000***



** Planche : 12* ** Zone : Du Saulnois* ** Tronçons : 5f et 6* ** Echelle : 1/ 5000*



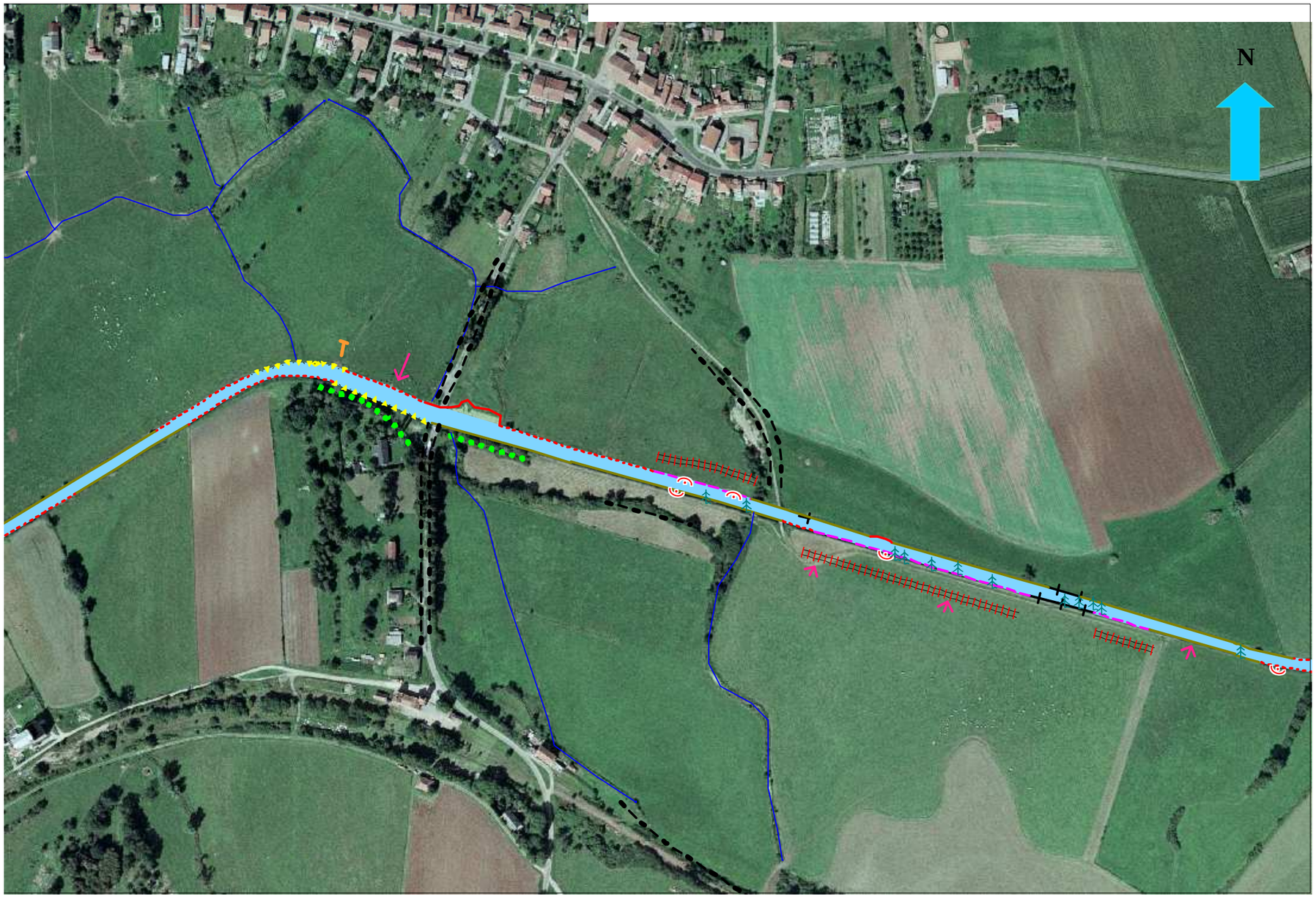
**** Planche : 13*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 7a*** **** Echelle : 1/ 5000***



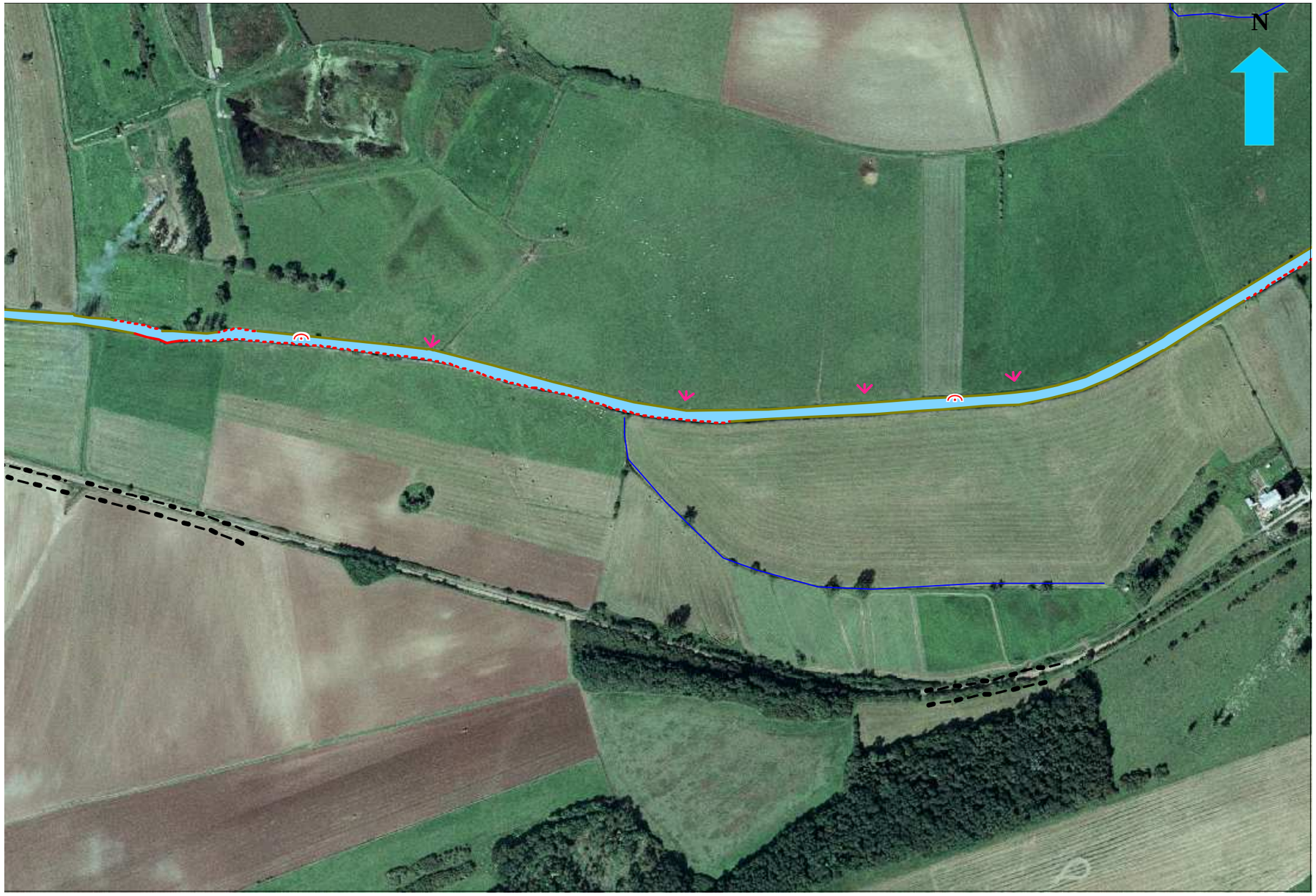
**** Planche : 14*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 7b*** **** Echelle : 1/ 5000***



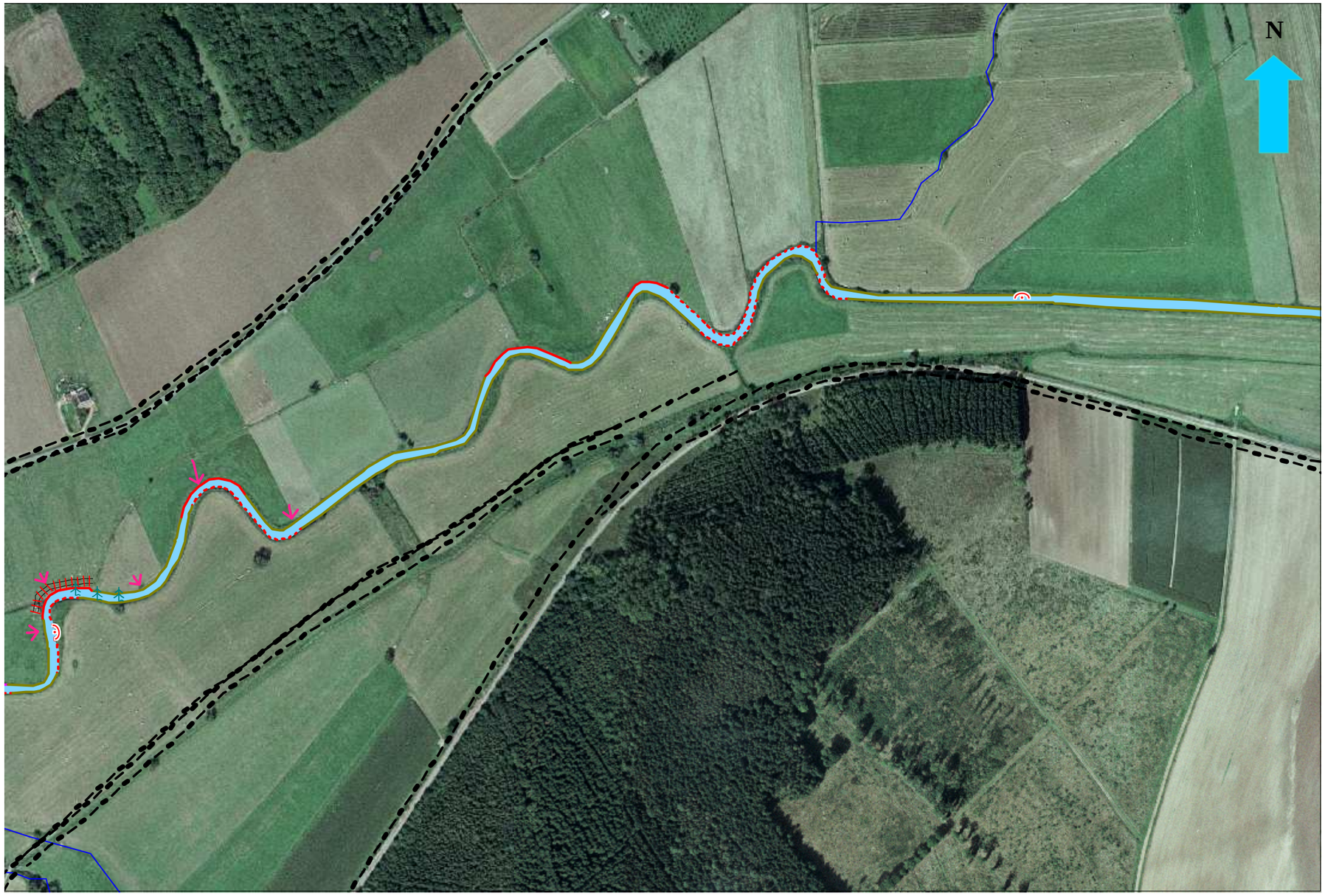
**** Planche : 15*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 7c*** **** Echelle : 1/ 5000***



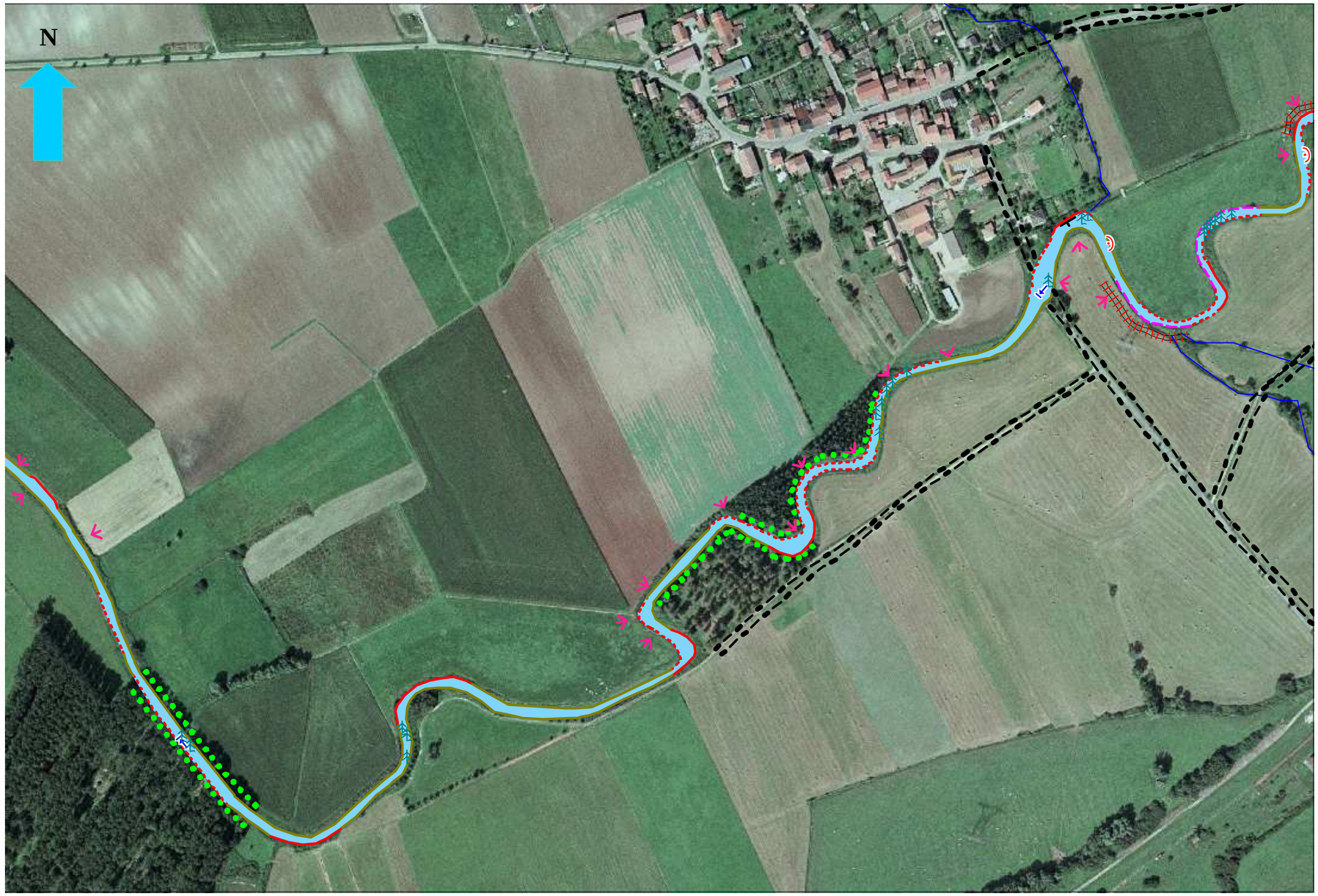
**** Planche : 16*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 7e*** **** Echelle : 1/ 5000***



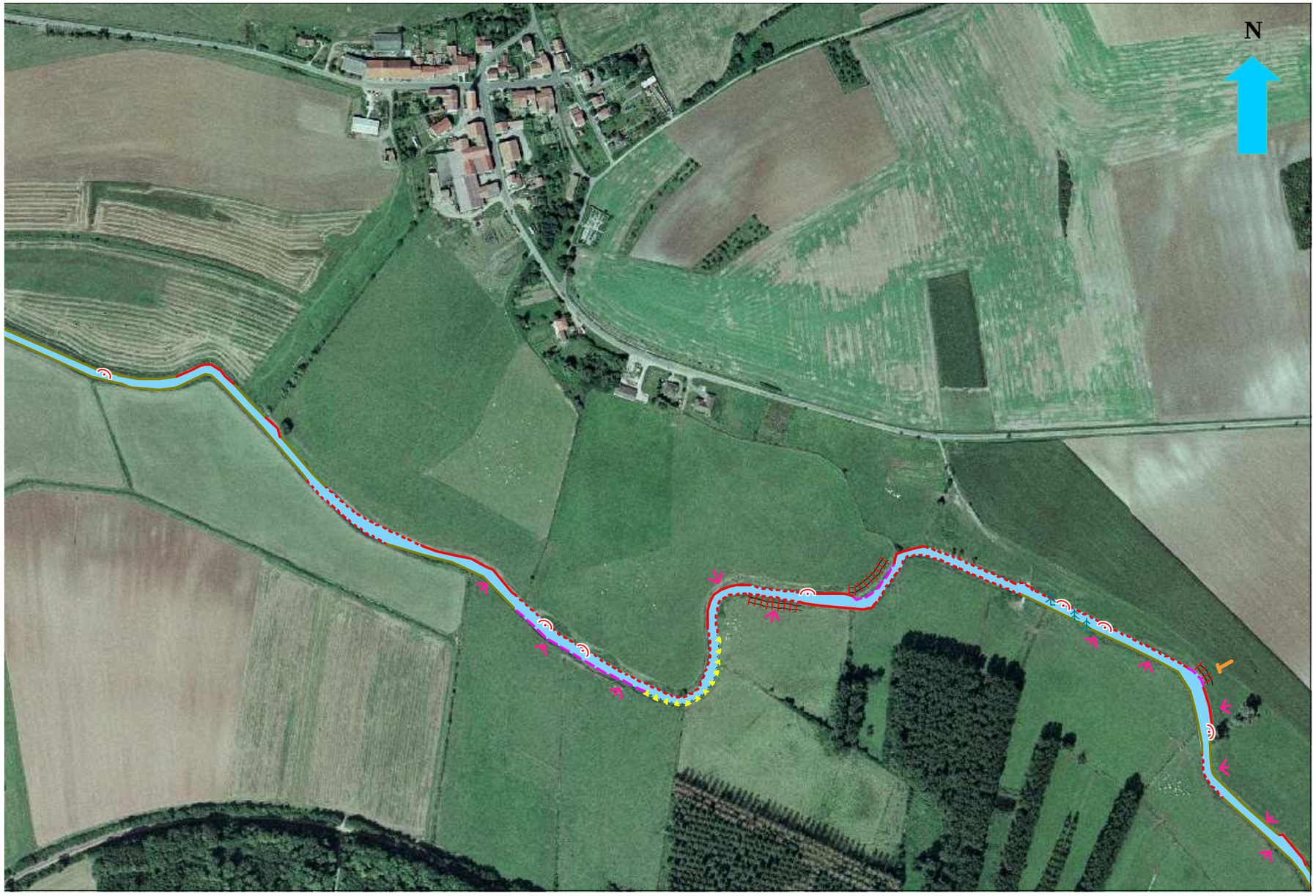
**** Planche : 17*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 7f*** **** Echelle : 1/ 5000***



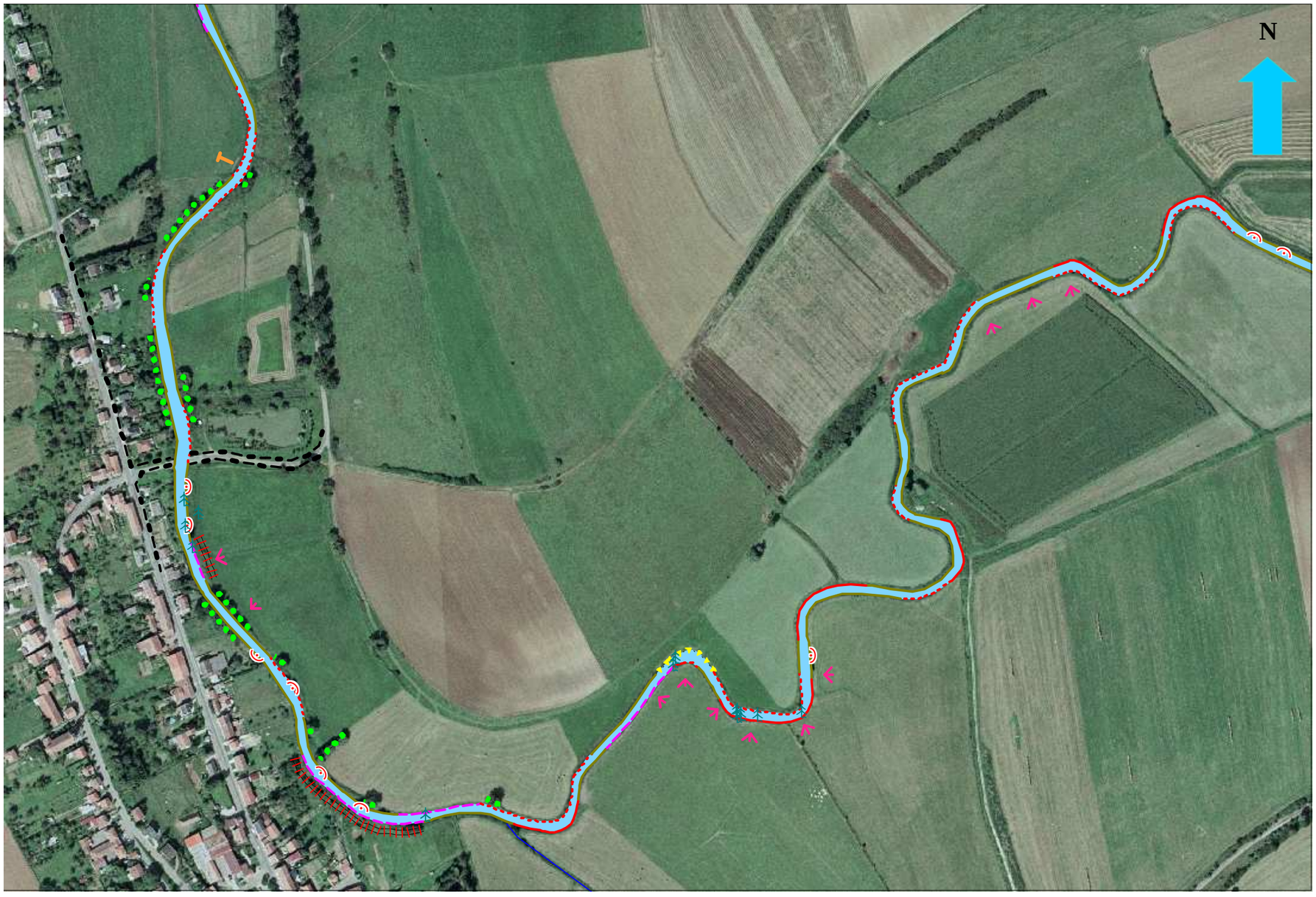
**** Planche : 18*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 8a*** **** Echelle : 1/ 5000***



** Planche : 19* ** Zone : Du Saulnois* ** Tronçon : 8b* ** Echelle : 1/ 5000*



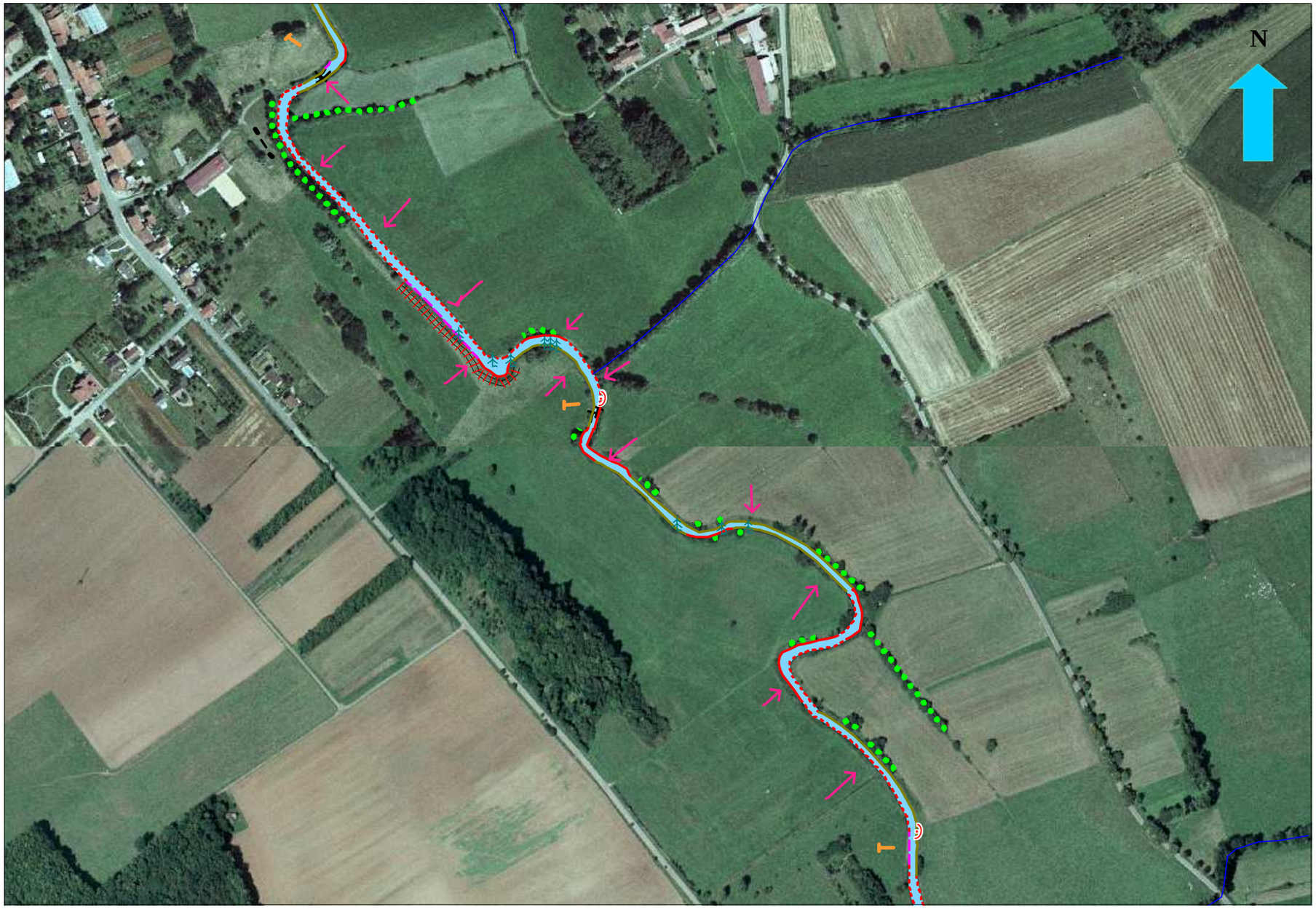
**** Planche : 20*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 8c*** **** Echelle : 1/ 5000***



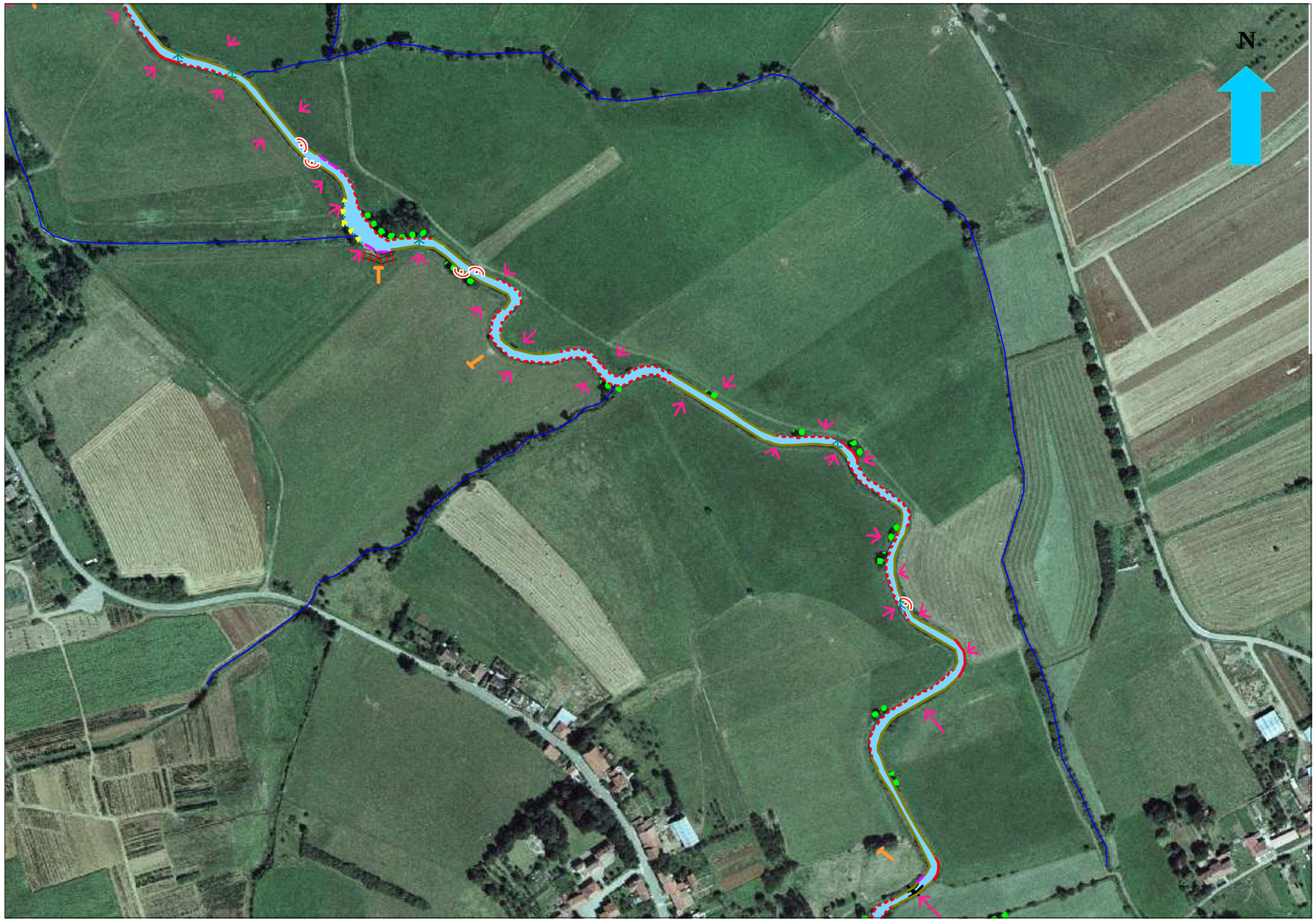
**** Planche : 21*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçon : 8d*** **** Echelle : 1/ 5000***



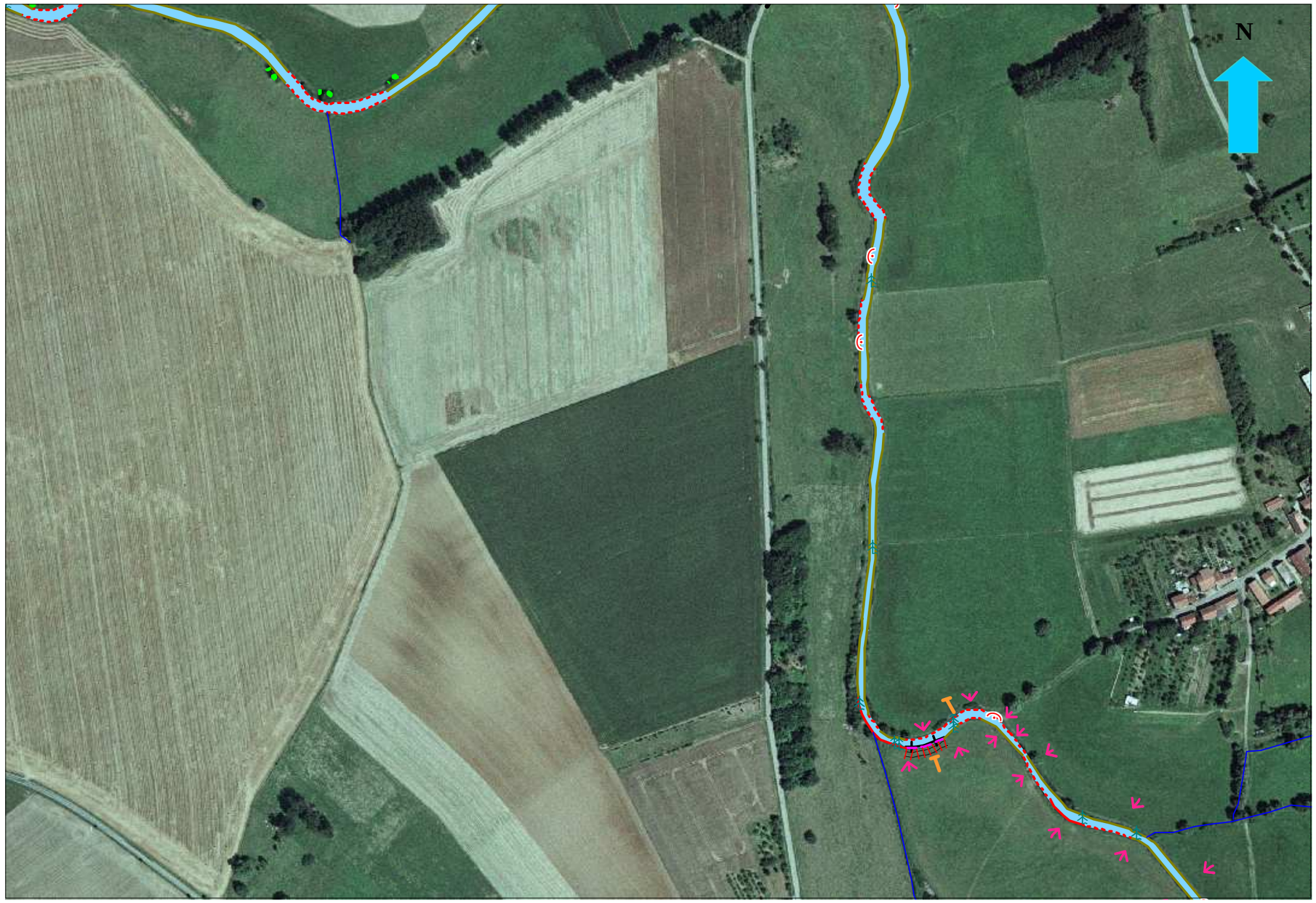
** Planche : 22 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 9a * Echelle : 1/ 5000*



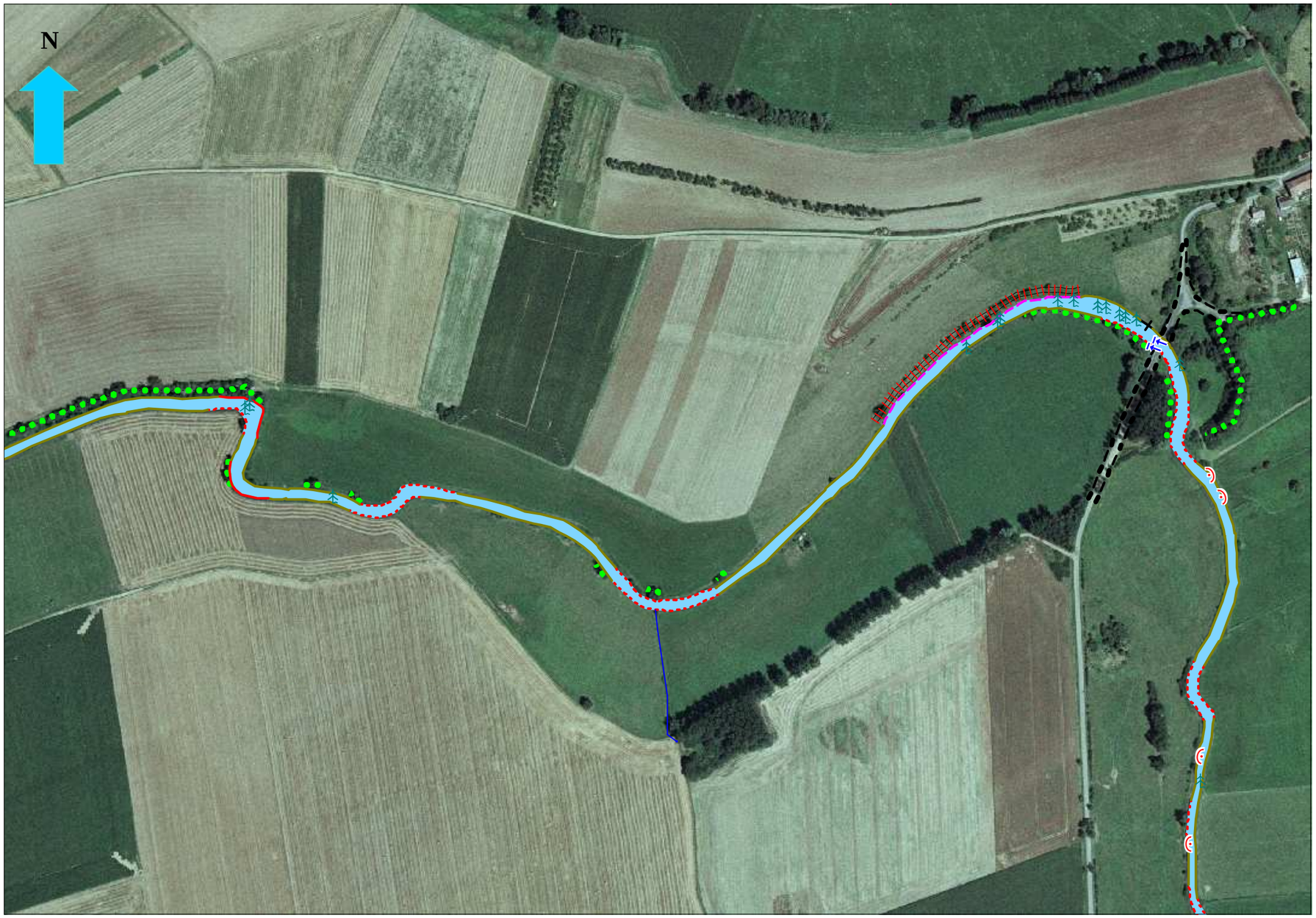
**** Planche : 23 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 9b * Echelle : 1/ 5000***



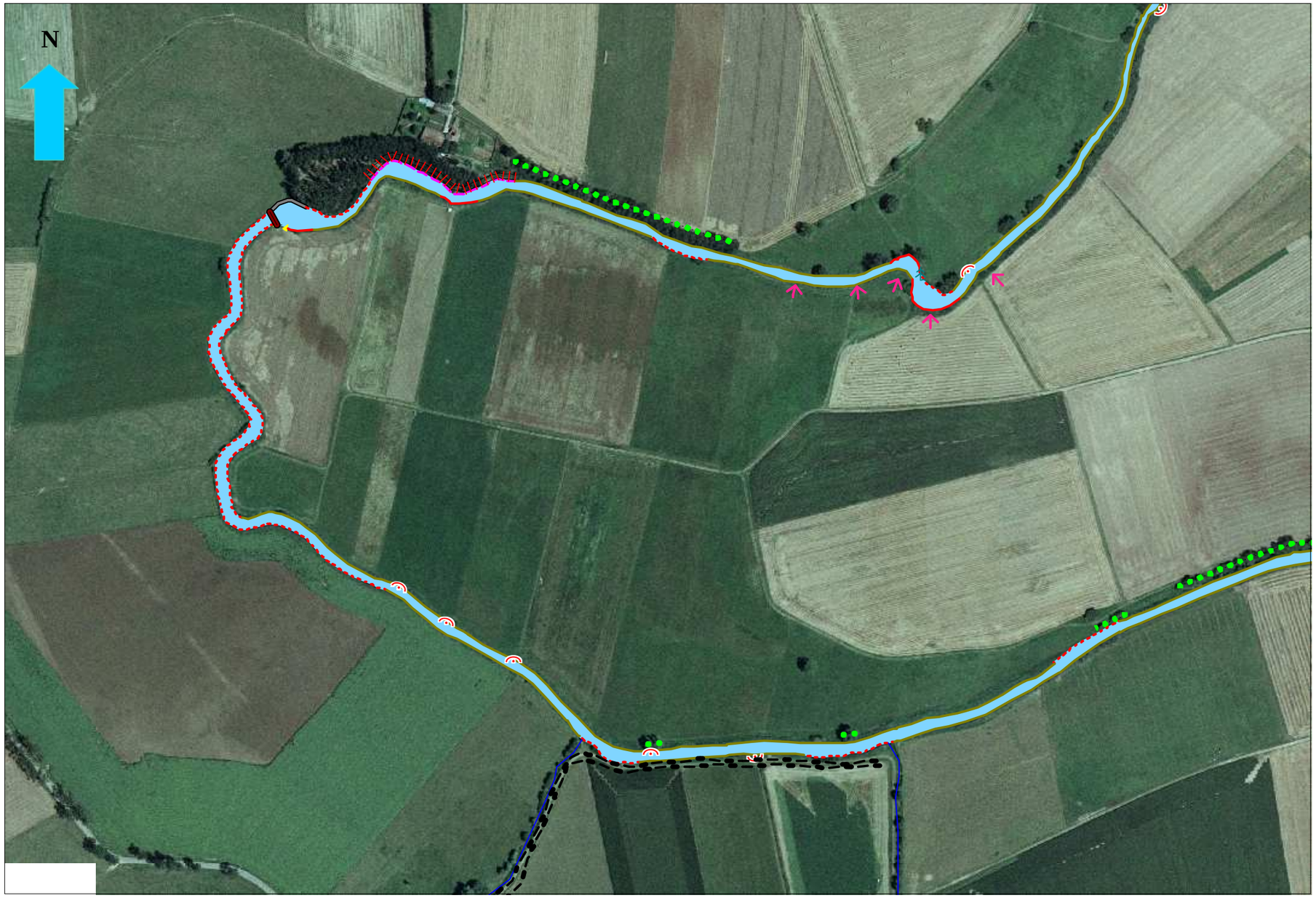
**** Planche : 24 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 9c * Echelle : 1/ 5000***



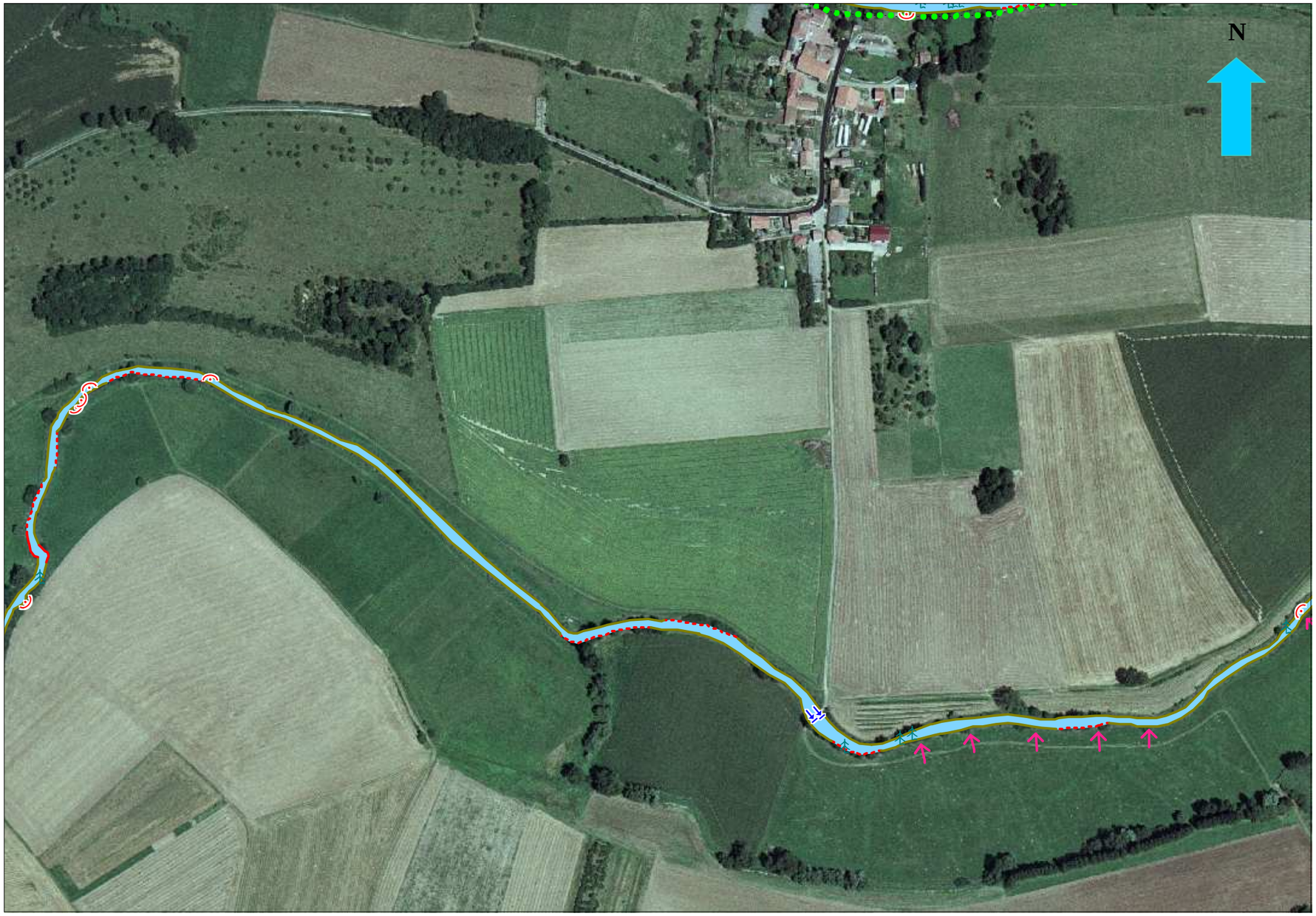
**** Planche : 25*** **** Zone : Médiane, plateau Liasique*** **** Tronçon : 9d*** **** Echelle : 1/ 5000***



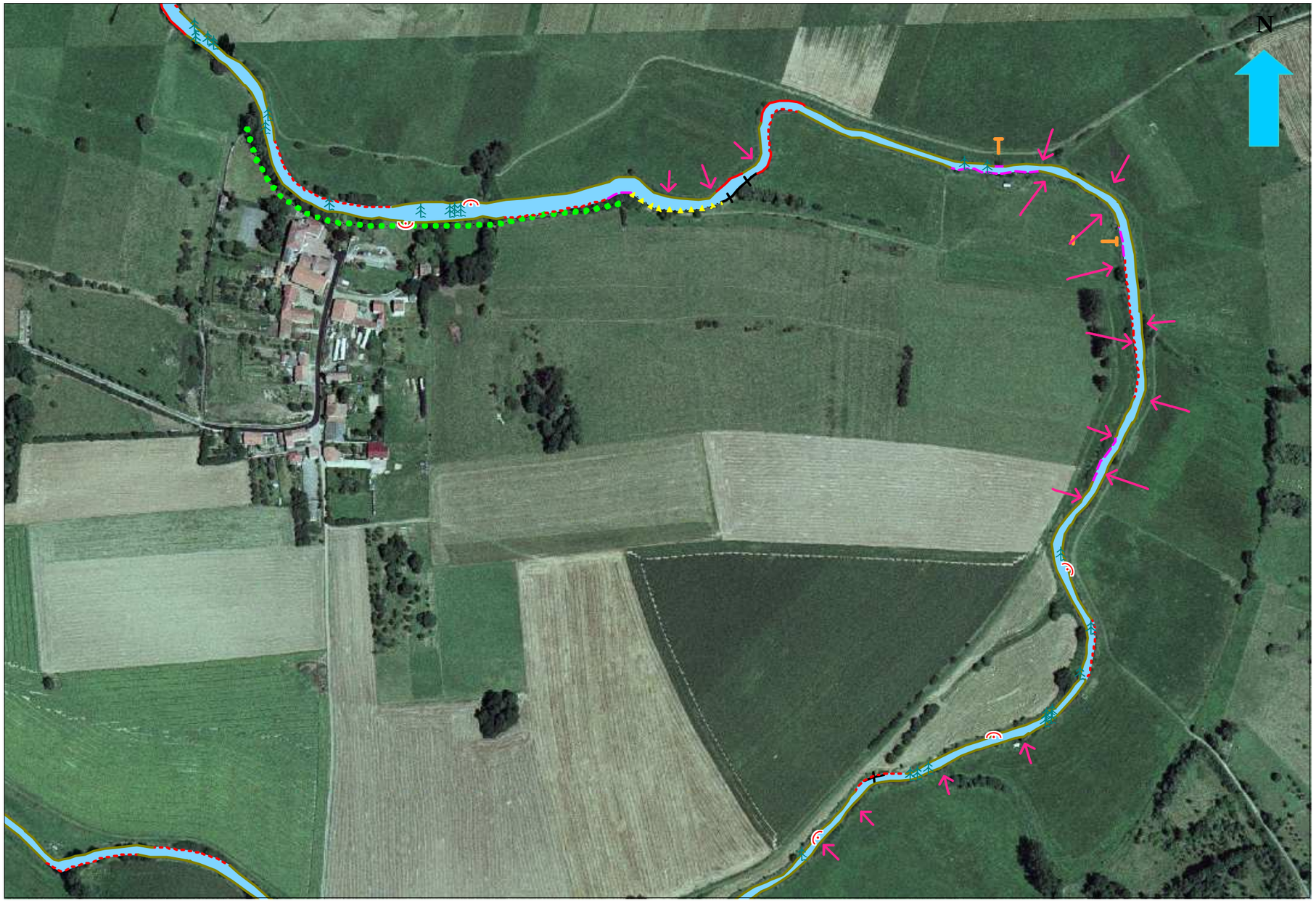
** Planche : 26 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 10a * Echelle : 1/ 5000*



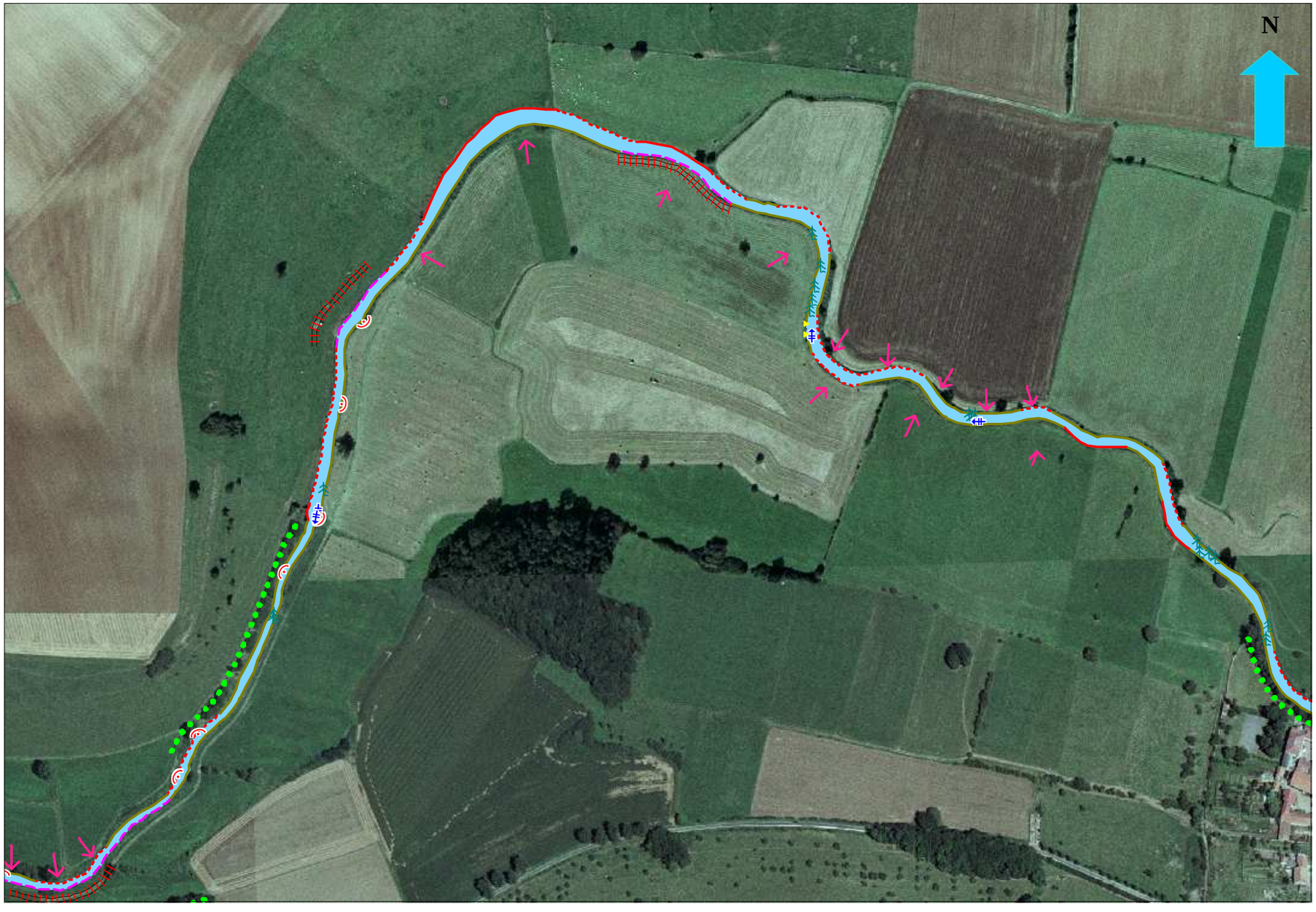
** Planche : 27 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 10b * Echelle : 1/ 5000*



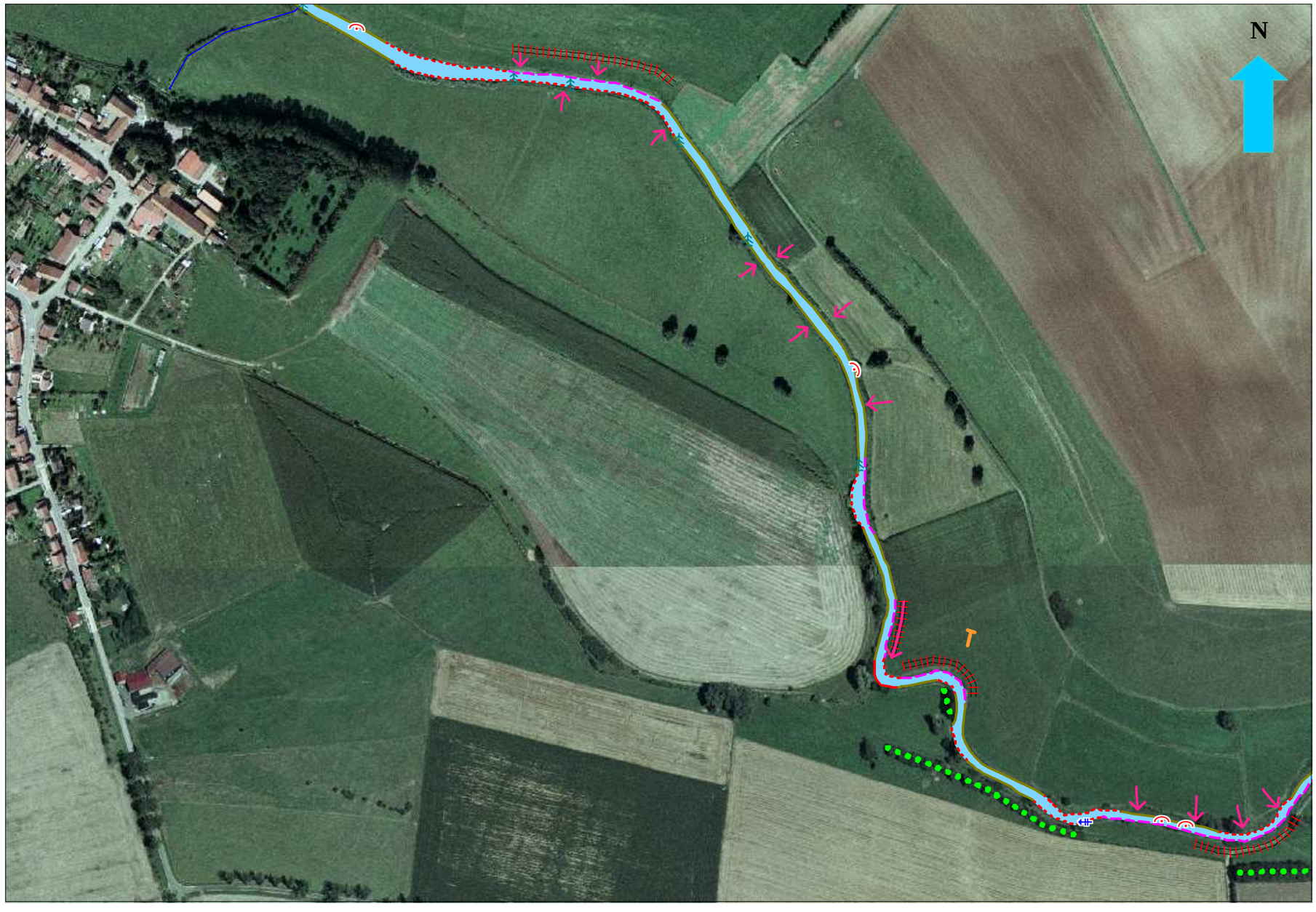
**** Planche : 28*** **** Zone : Médiane, plateau Liasique*** **** Tronçon : 10c*** **** Echelle : 1/ 5000***



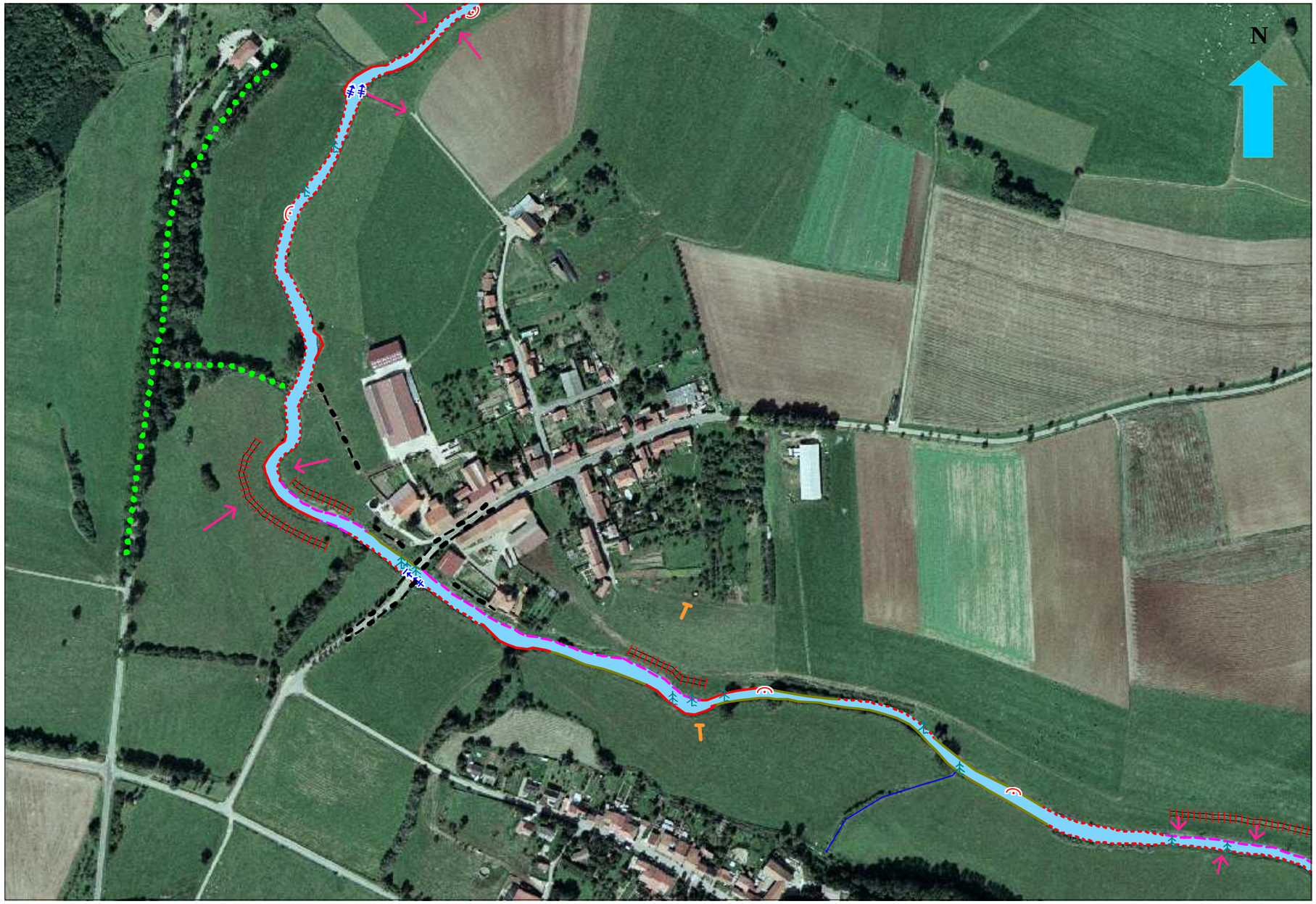
** Planche : 29 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 10d * Echelle : 1/ 5000*



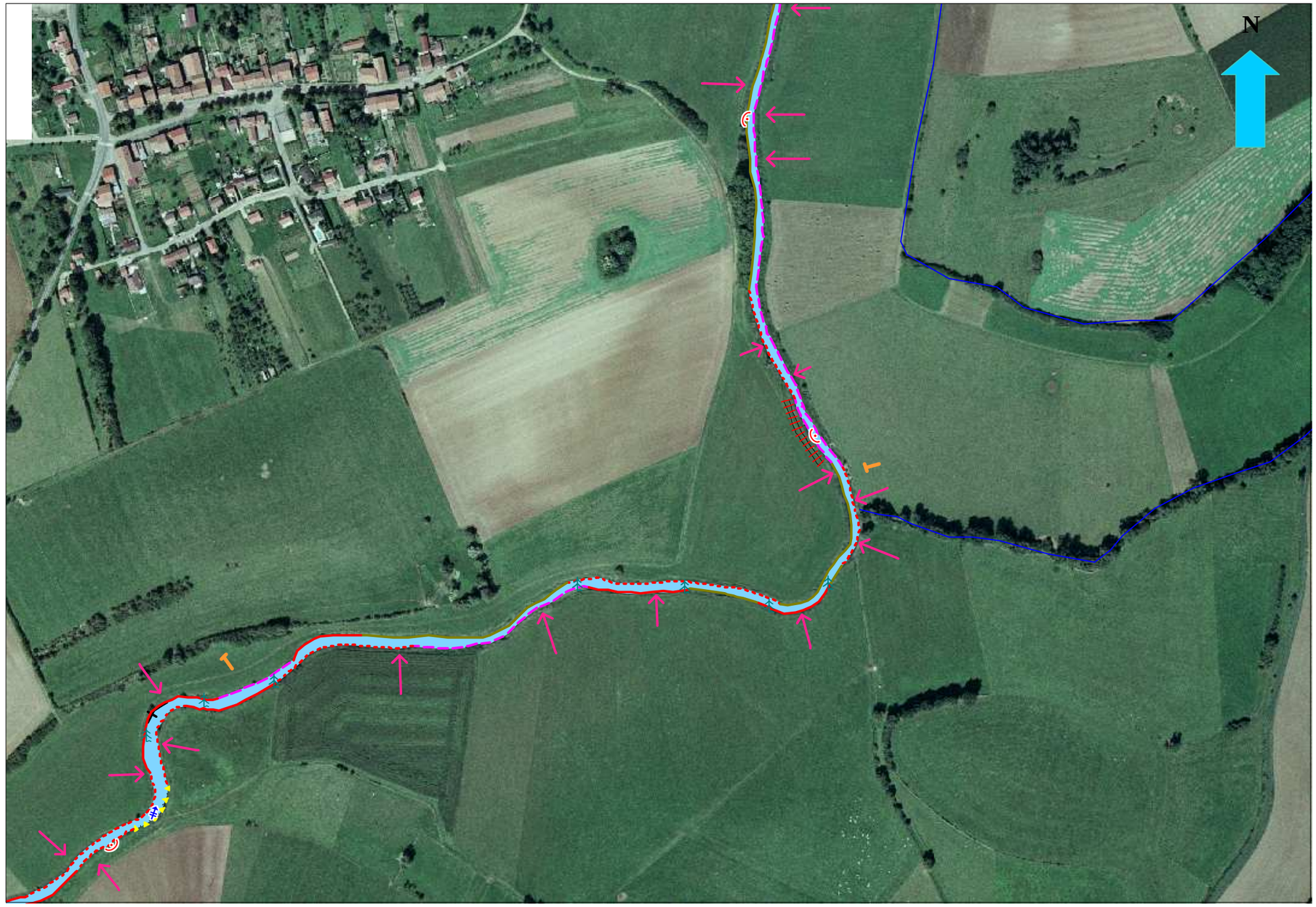
** Planche : 30 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 10e * Echelle : 1/ 5000*



**** Planche : 31*** **** Zone : Médiane, plateau Liasique*** **** Tronçon : 10f*** **** Echelle : 1/ 5000***



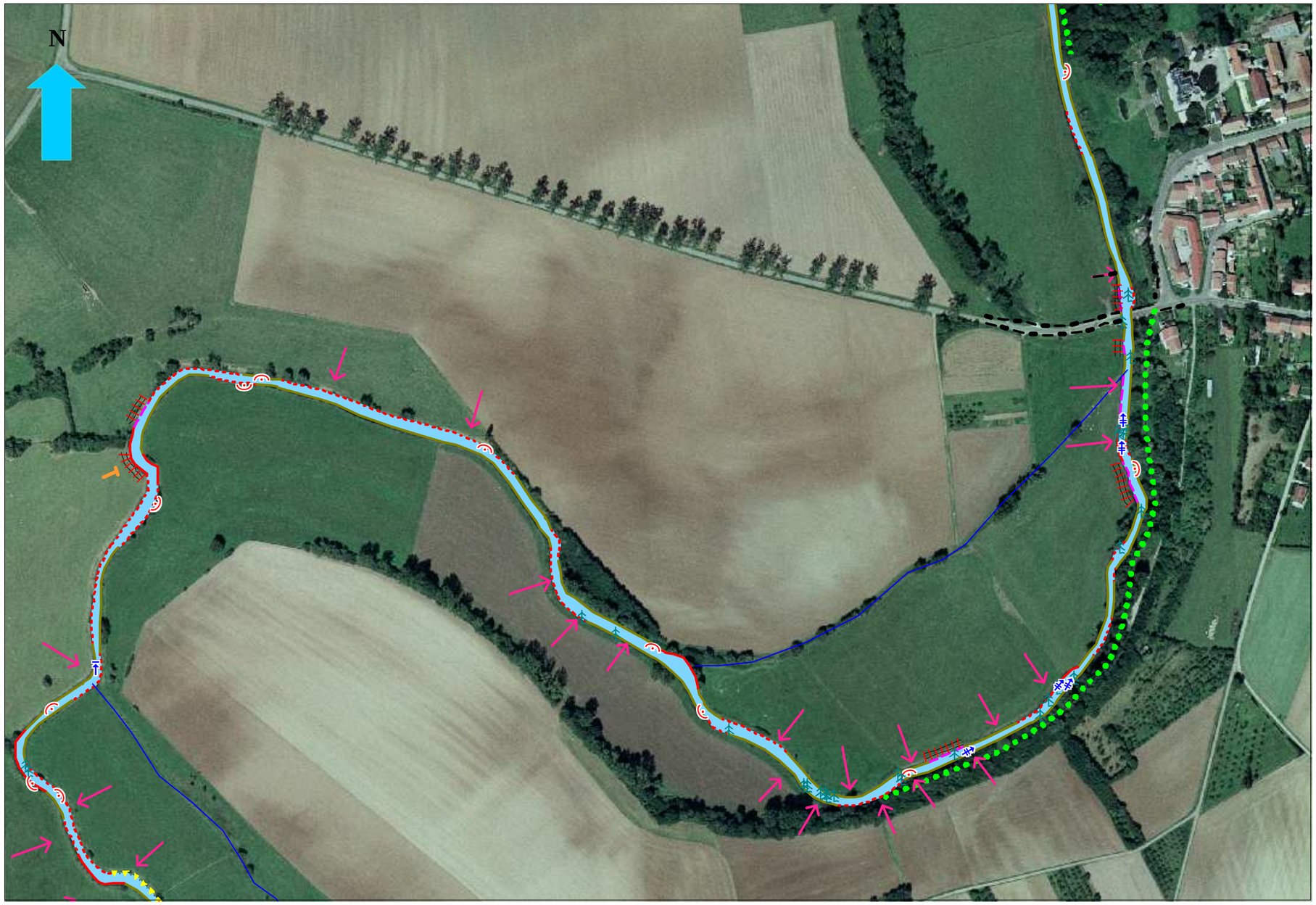
** Planche : 32* ** Zone : Médiane, plateau Liasique* ** Tronçon : 10g* ** Echelle : 1/ 5000*



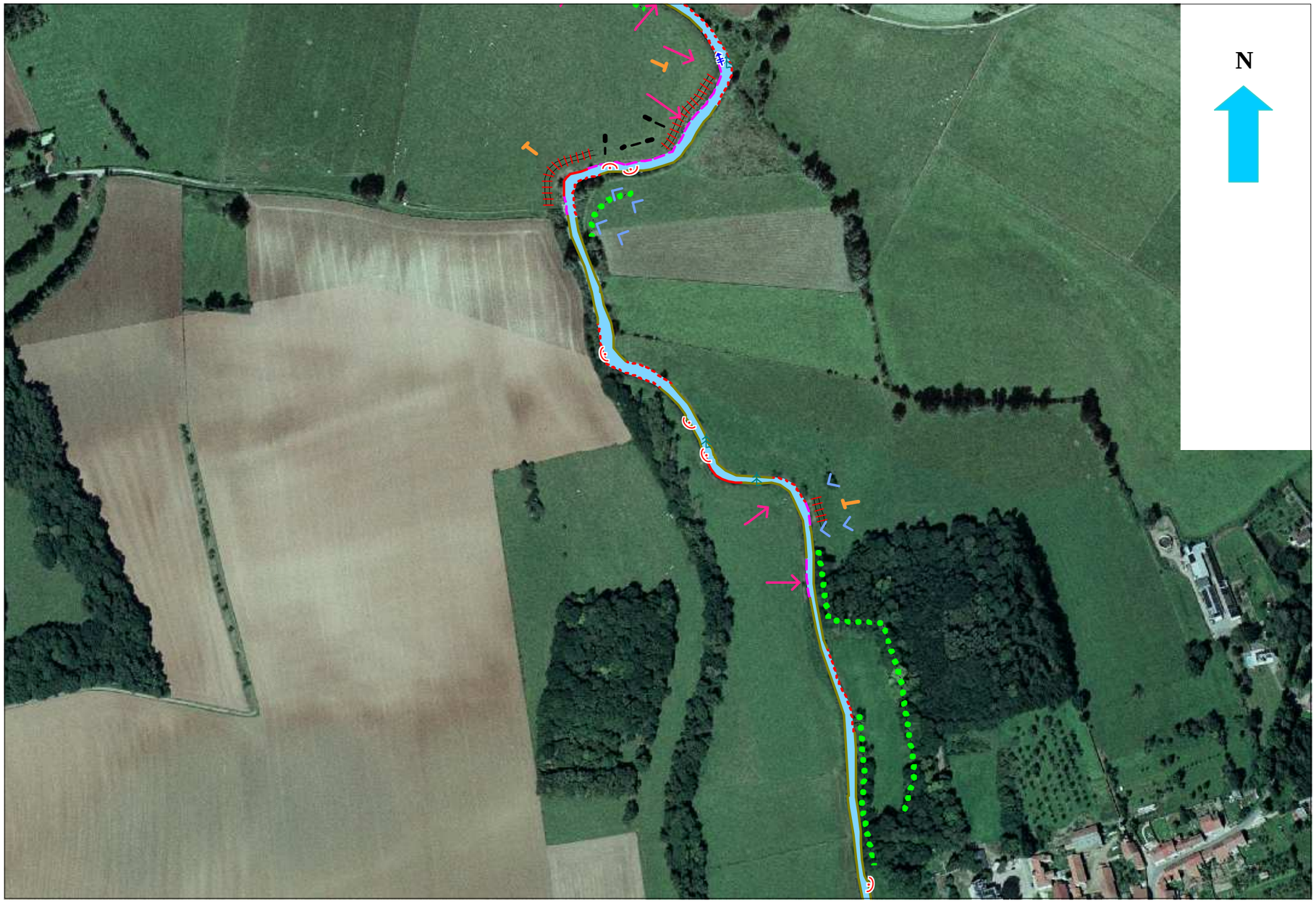
** Planche : 33 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 11a * Echelle : 1/ 5000*



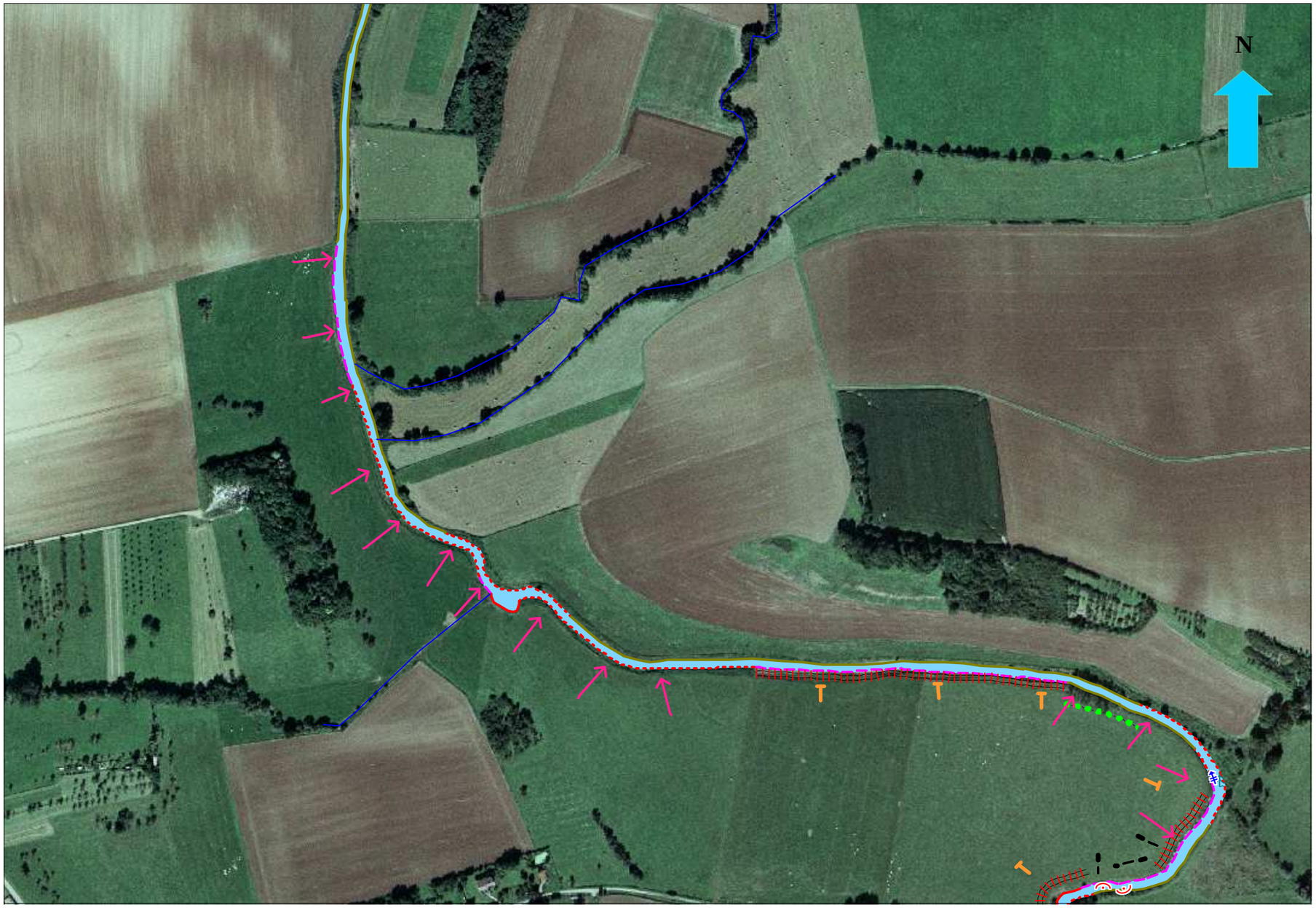
** Planche : 34 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 11b * Echelle : 1/ 5000*



** Planche : 35 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 11c * Echelle : 1/ 5000*



** Planche :36 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 11d * Echelle : 1/ 5000*



**** Planche : 37 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 11e * Echelle : 1/ 5000***



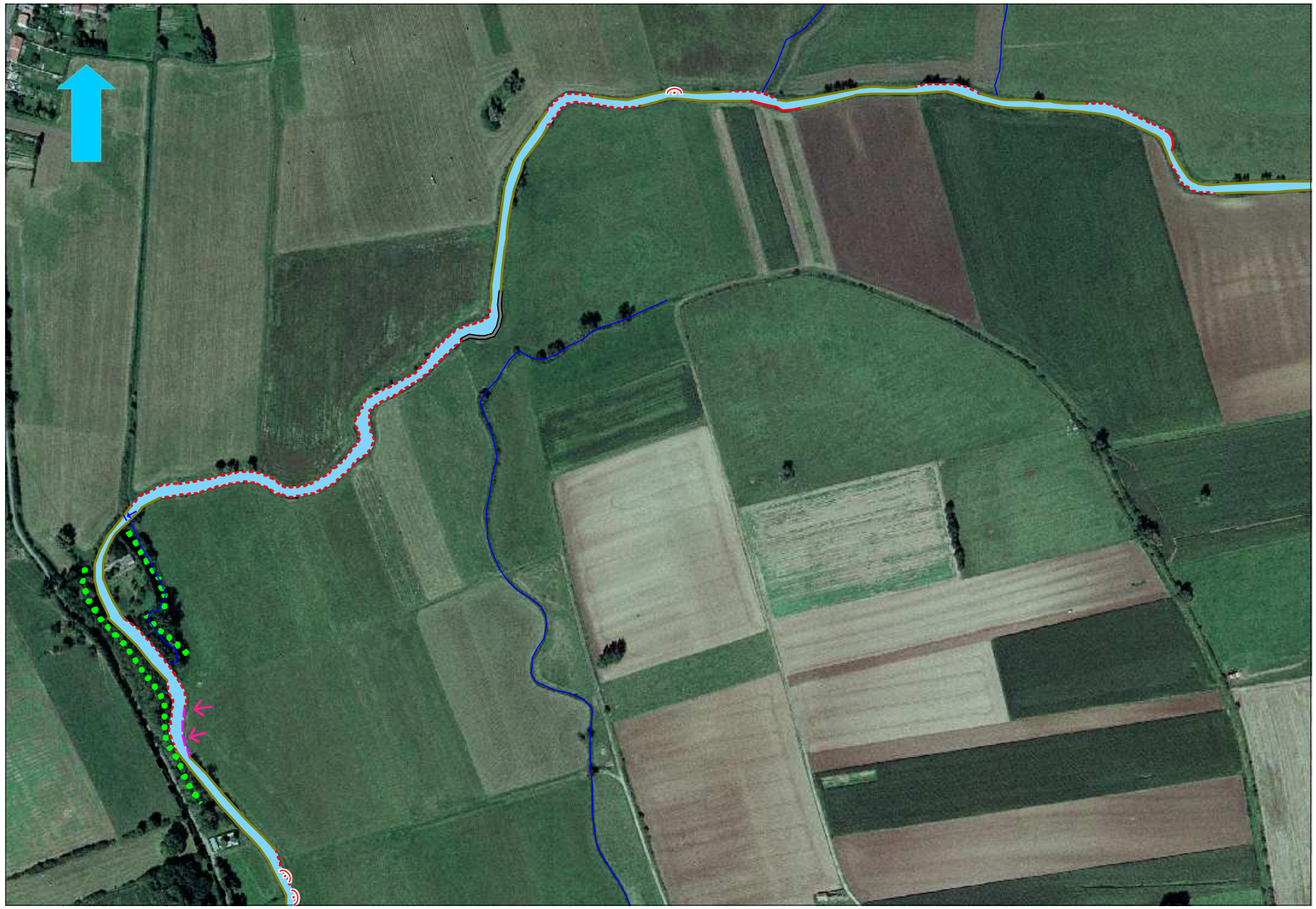
**** Planche : 38*** **** Zone : Médiane, plateau Liasique*** **** Tronçon : 11f*** **** Echelle : 1/ 5000***



** Planche : 39 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 12a * Echelle : 1/ 5000*



**** Planche : 40*** **** Zone : Médiane, plateau Liasique*** **** Tronçon : 12b*** **** Echelle : 1/ 5000***



**** Planche : 41*** **** Zone : Médiane, plateau Liasique*** **** Tronçon : 12c*** **** Echelle : 1/ 5000***



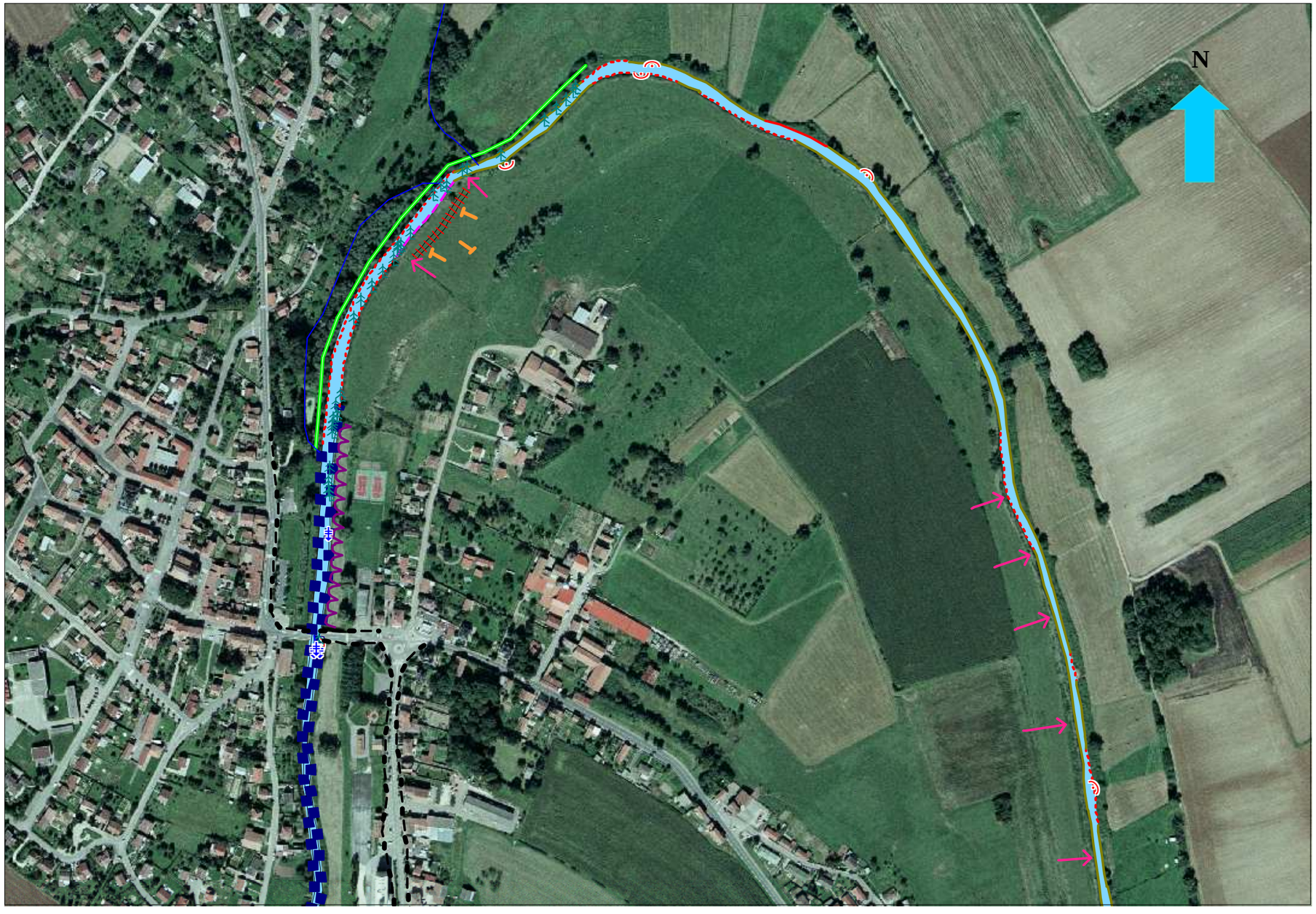
** Planche : 42 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 12d * Echelle : 1/ 5000*



** Planche : 43 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 13a * Echelle : 1/ 5000*



**** Planche : 44*** **** Zone : Médiane, plateau Liasique*** **** Tronçon : 13b*** **** Echelle : 1/ 5000***



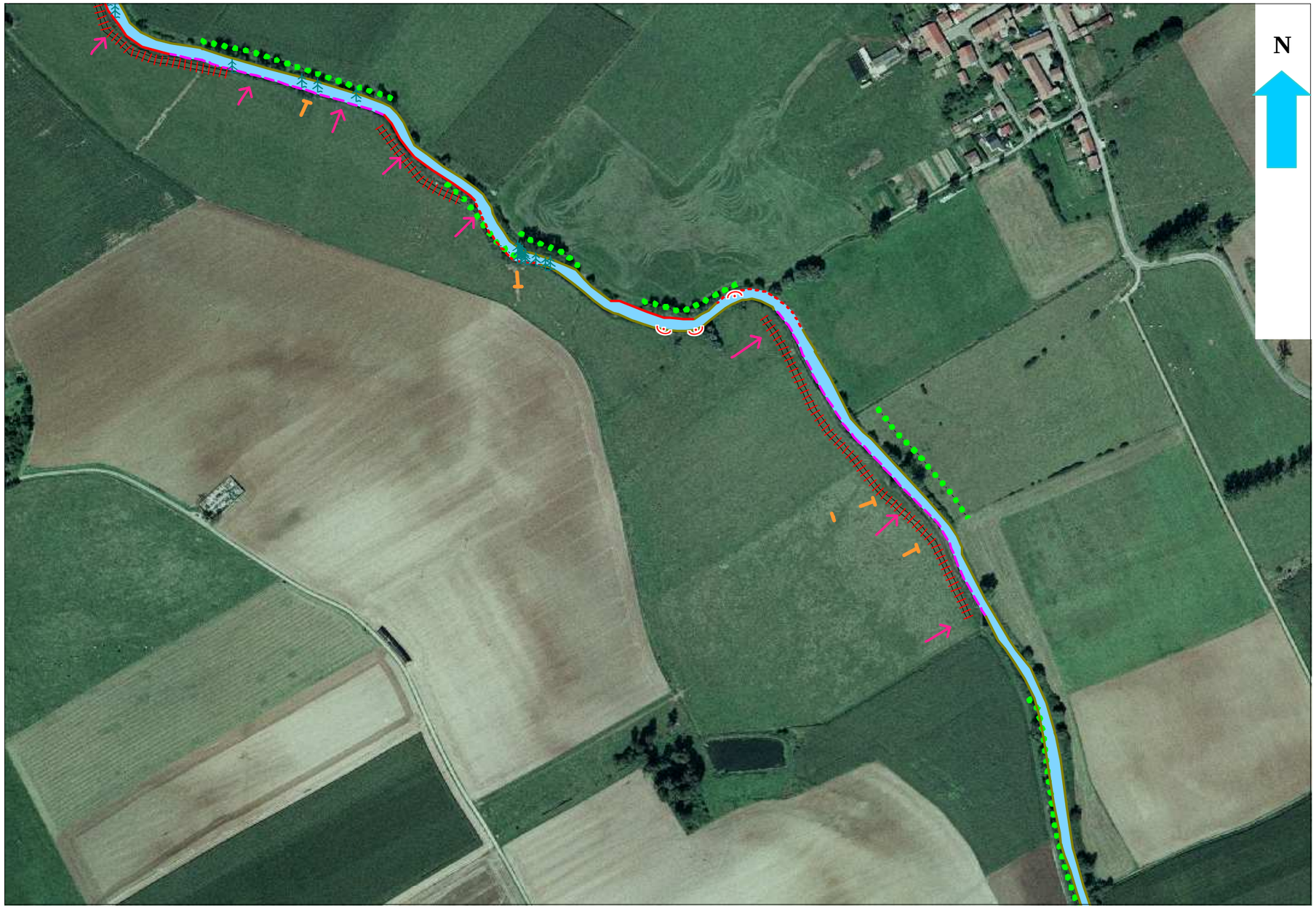
** Planche : 45 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 13c * Echelle : 1/ 5000*



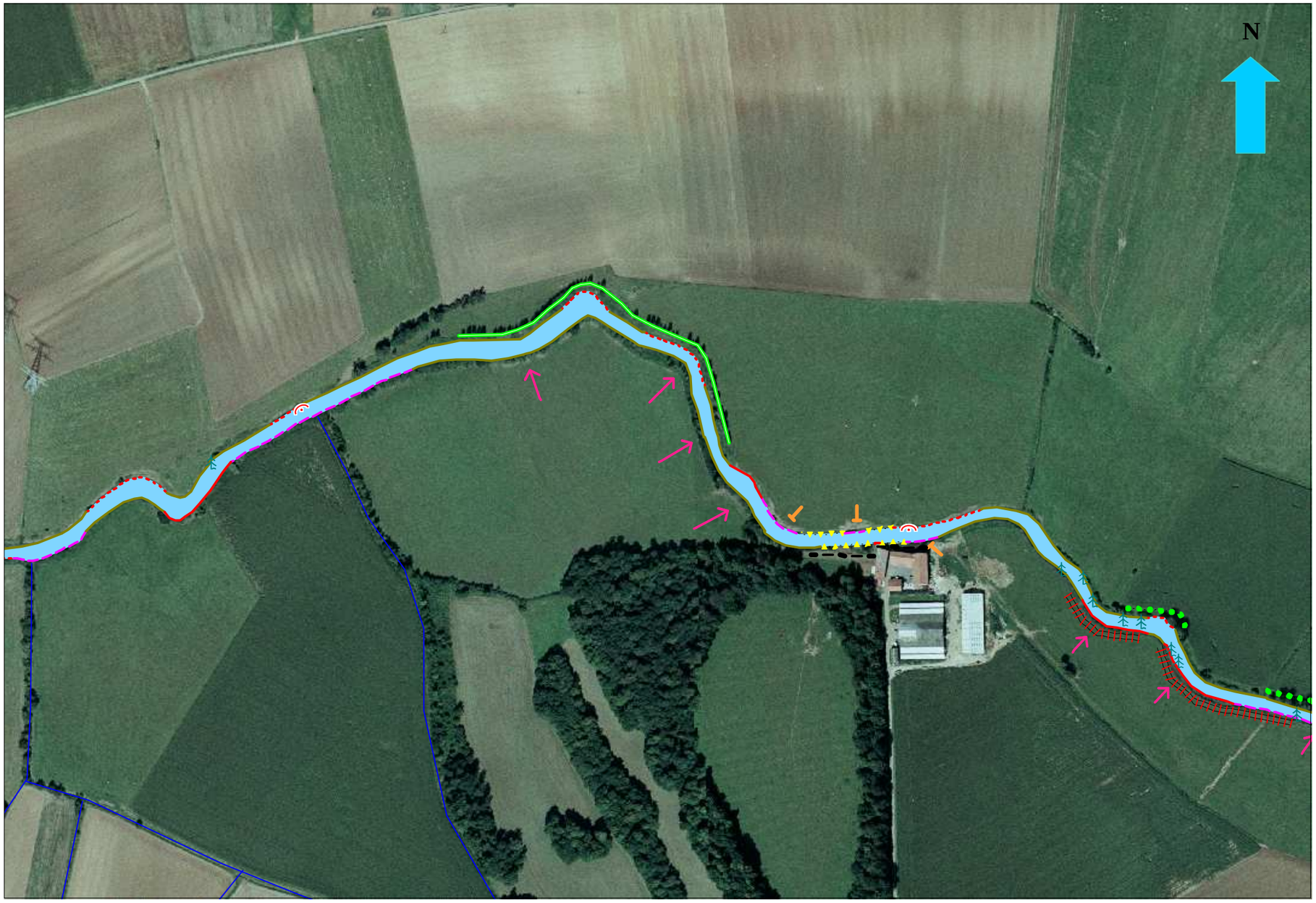
**** Planche : 46*** **** Zone : Médiane, plateau Liasique*** **** Tronçon : 13d*** **** Echelle : 1/ 5000***



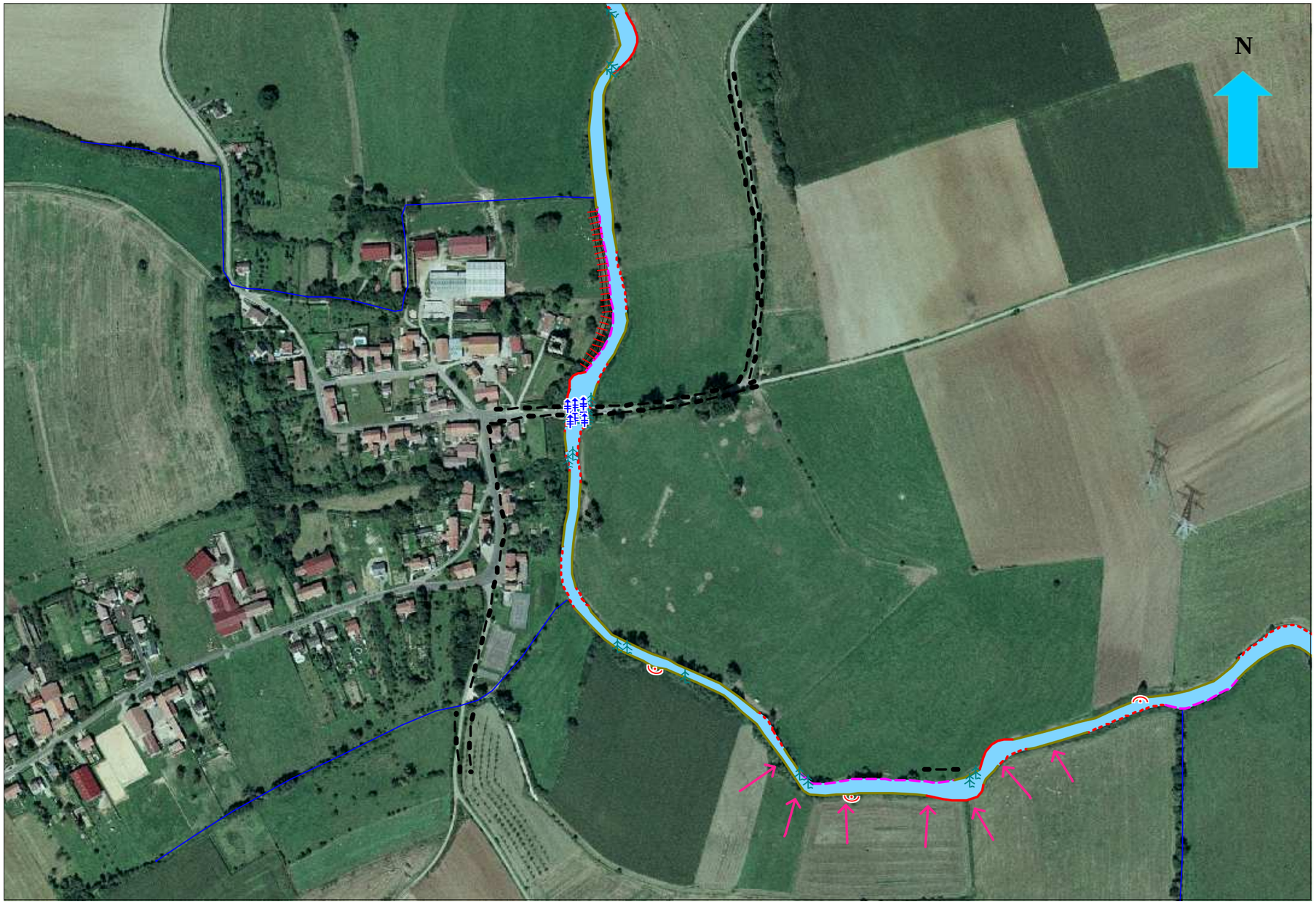
**** Planche : 47 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 13e * Echelle : 1/ 5000***



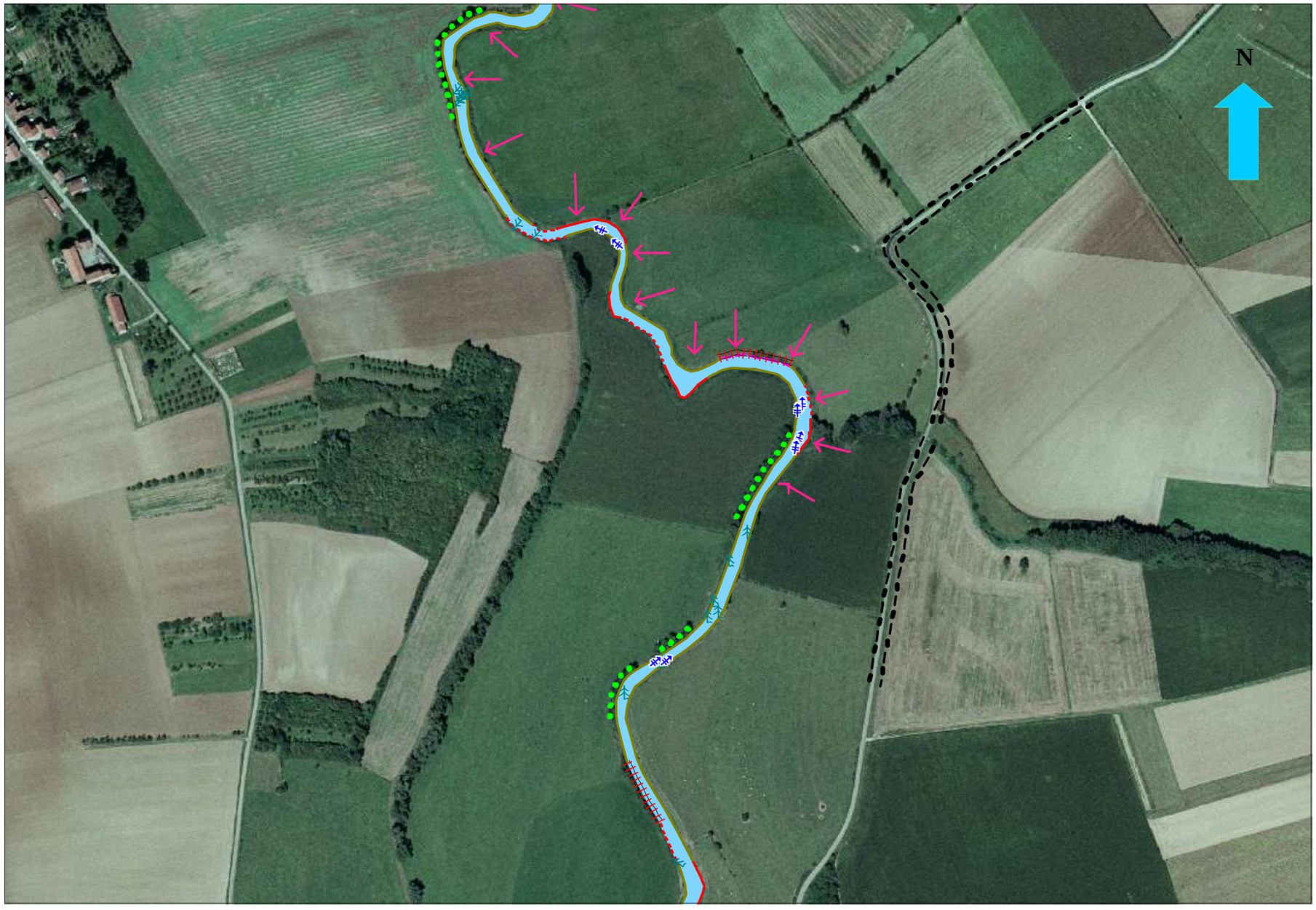
**** Planche : 48*** **** Zone : Médiane, plateau Liasique*** **** Tronçon : 13f*** **** Echelle : 1/ 5000***



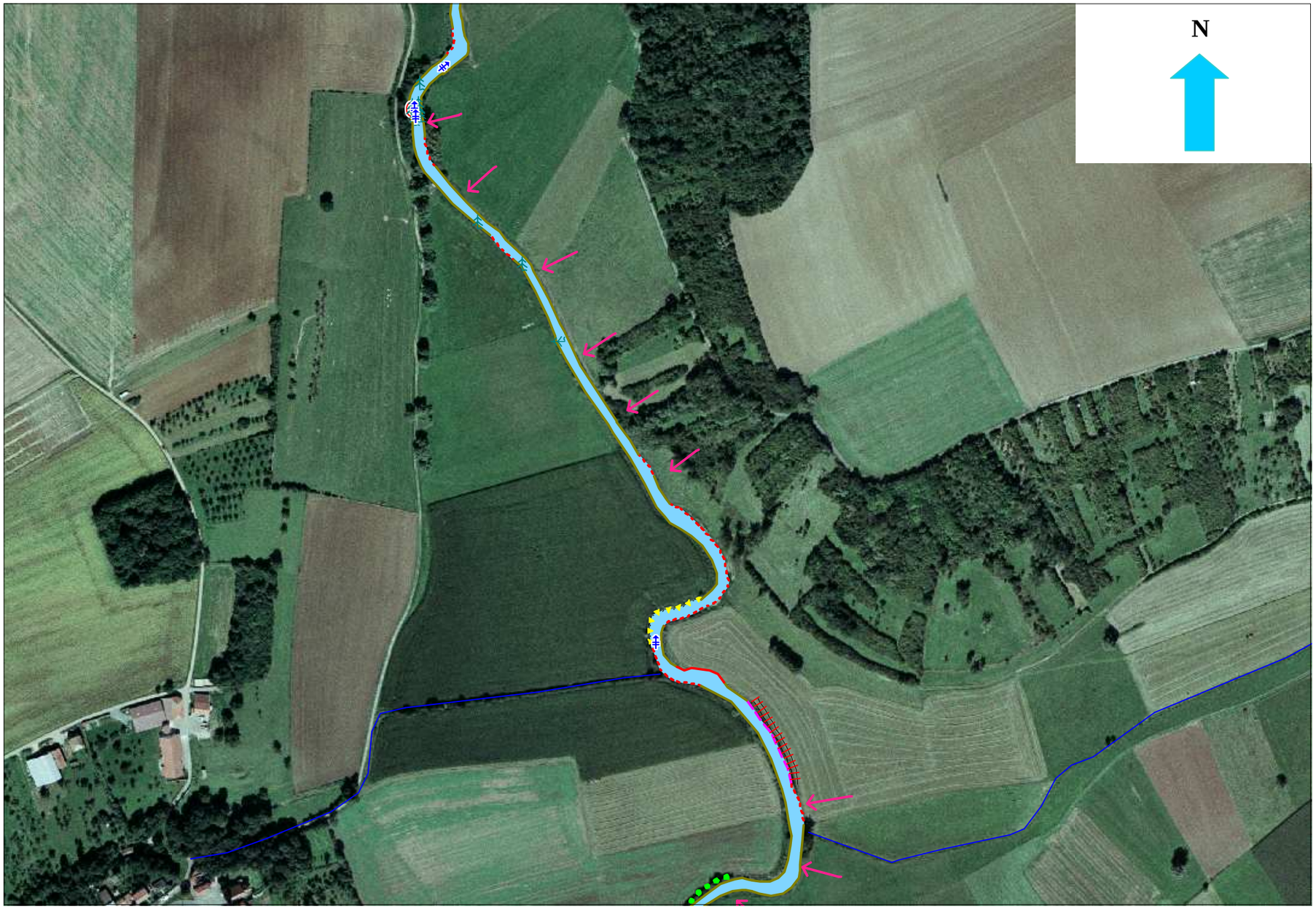
** Planche : 49 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 13g * Echelle : 1/ 5000*



** Planche : 50* ** Zone : Médiane, plateau Liasique* ** Tronçon : 13h* ** Echelle : 1/ 5000*



**** Planche : 51 * Zone : Médiane, plateau Liasique * Tronçon : 14a * Echelle : 1/ 5000***



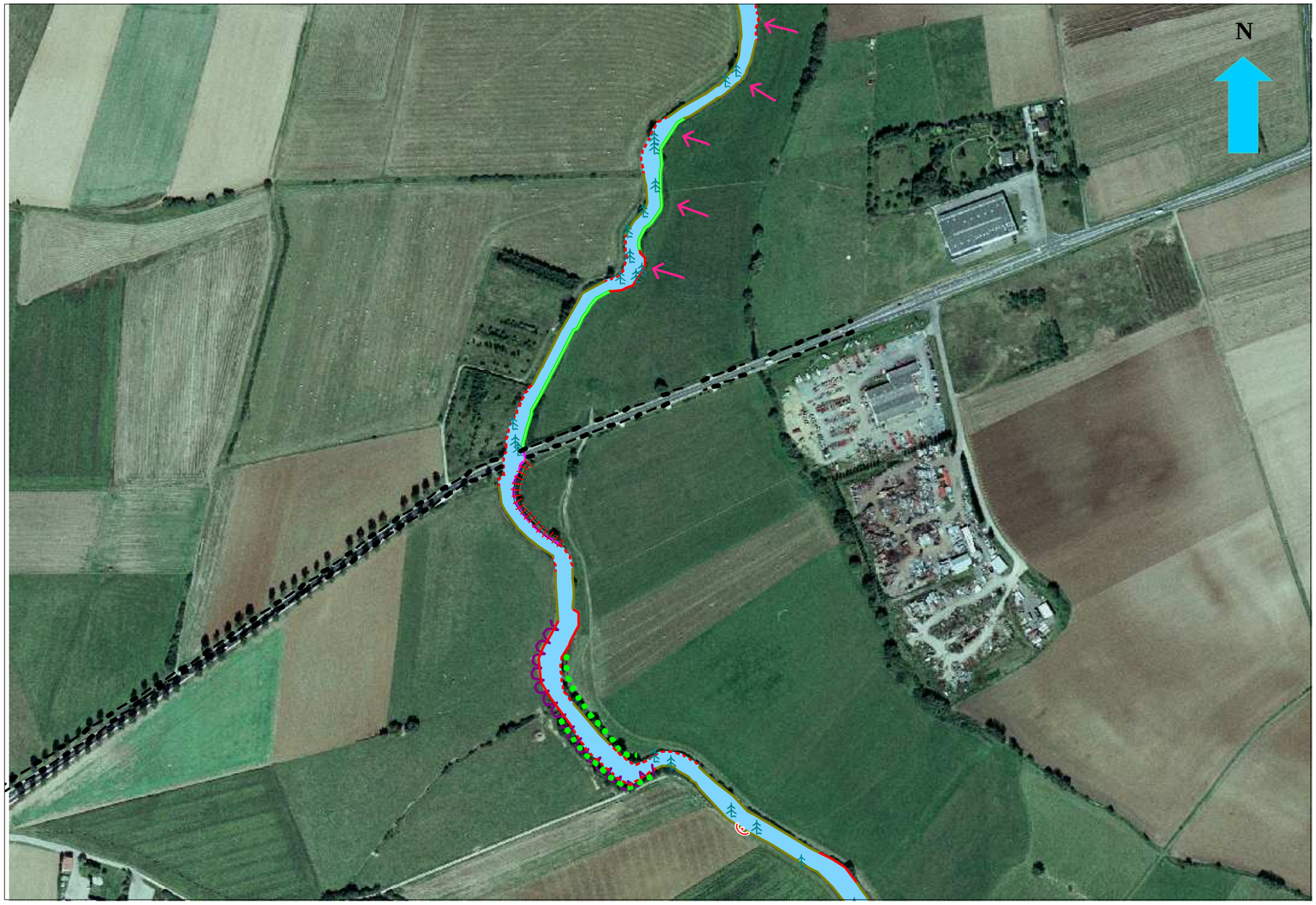
** Planche : 52 * Zone : Aval, dépression subséquente * Tronçon : 14b * Echelle : 1/ 5000*



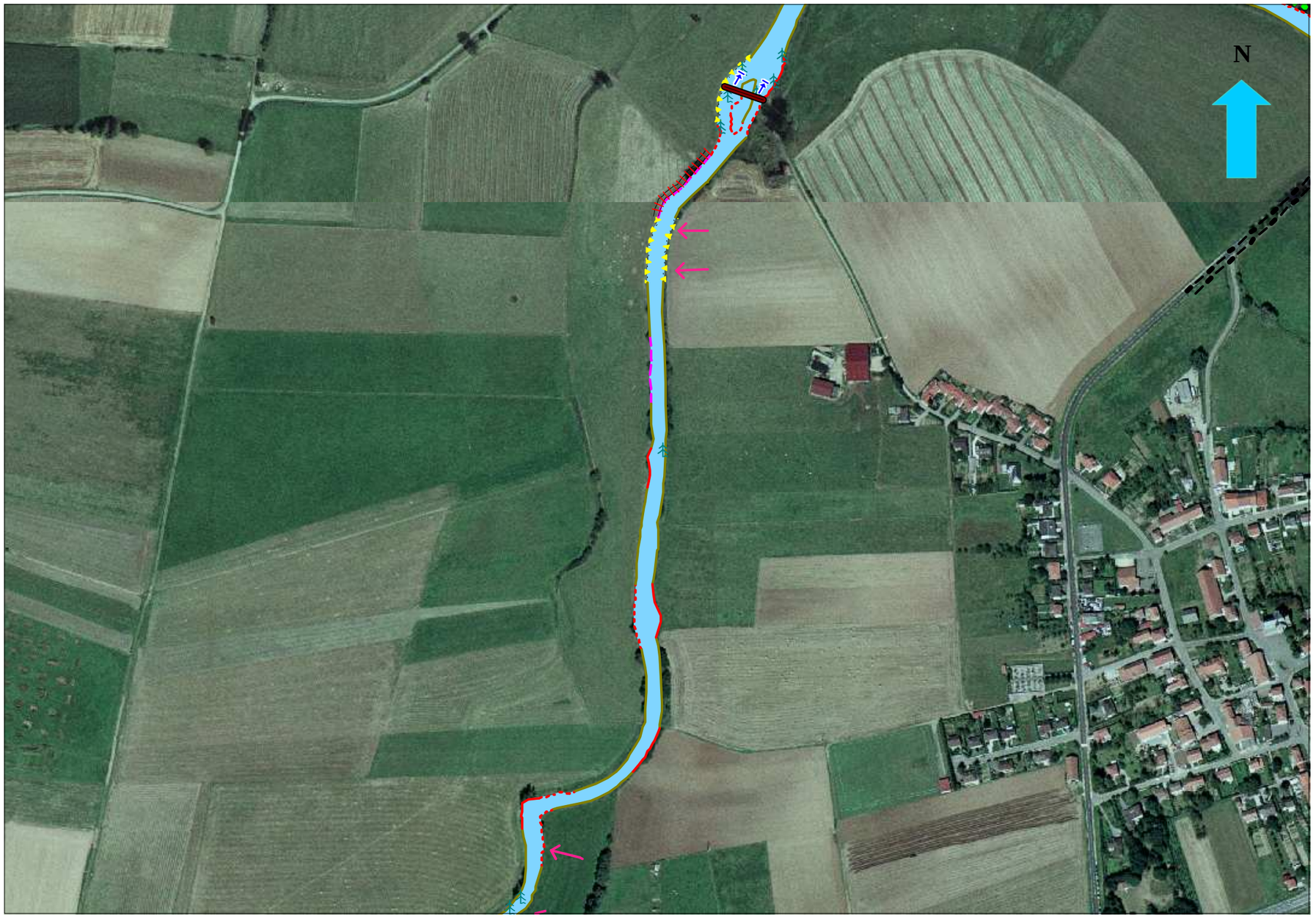
** Planche : 53 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 14b * Echelle : 1/ 5000*



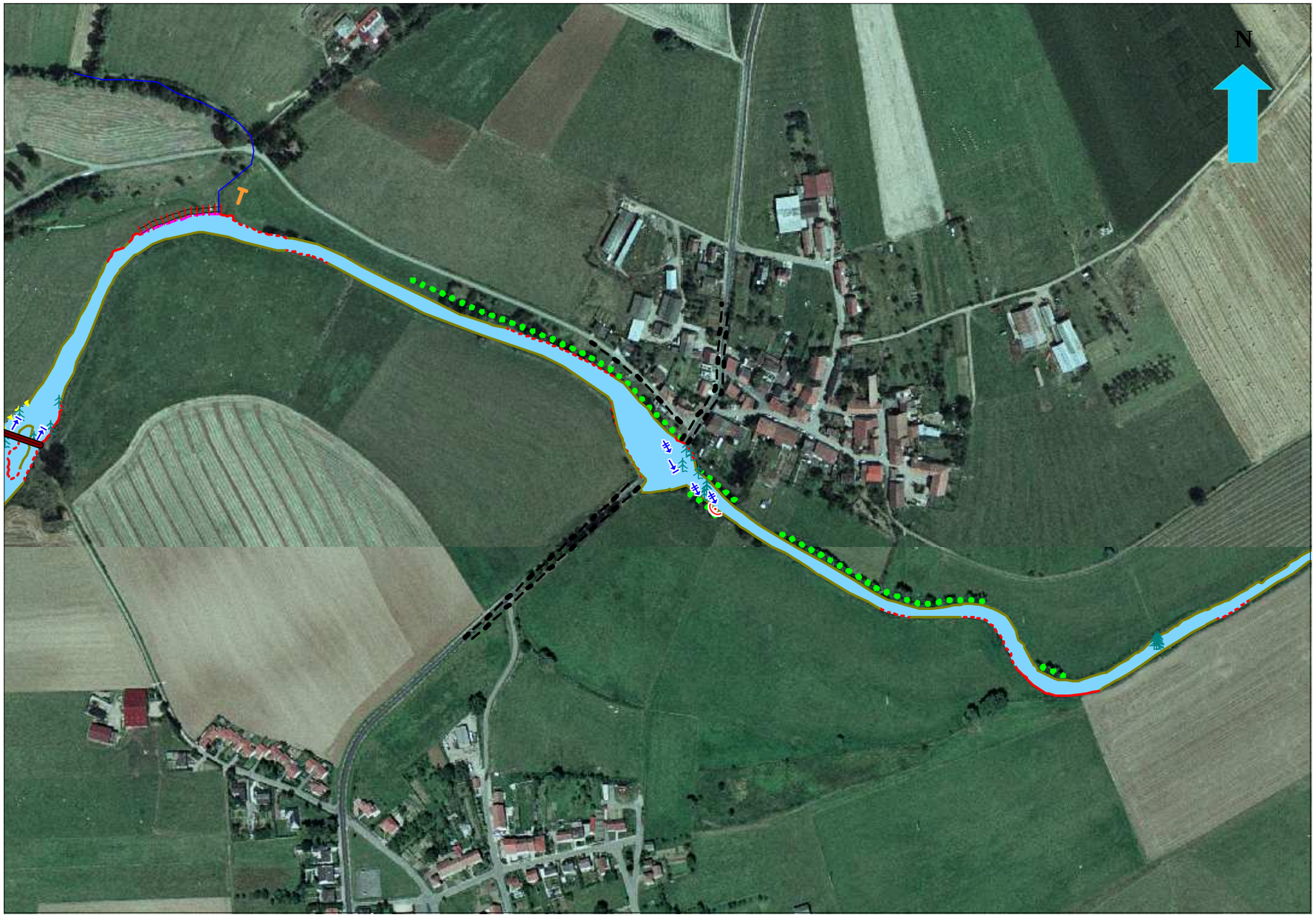
** Planche : 54 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 14c * Echelle : 1/ 5000*



** Planche :55 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 14d * Echelle : 1/ 5000*



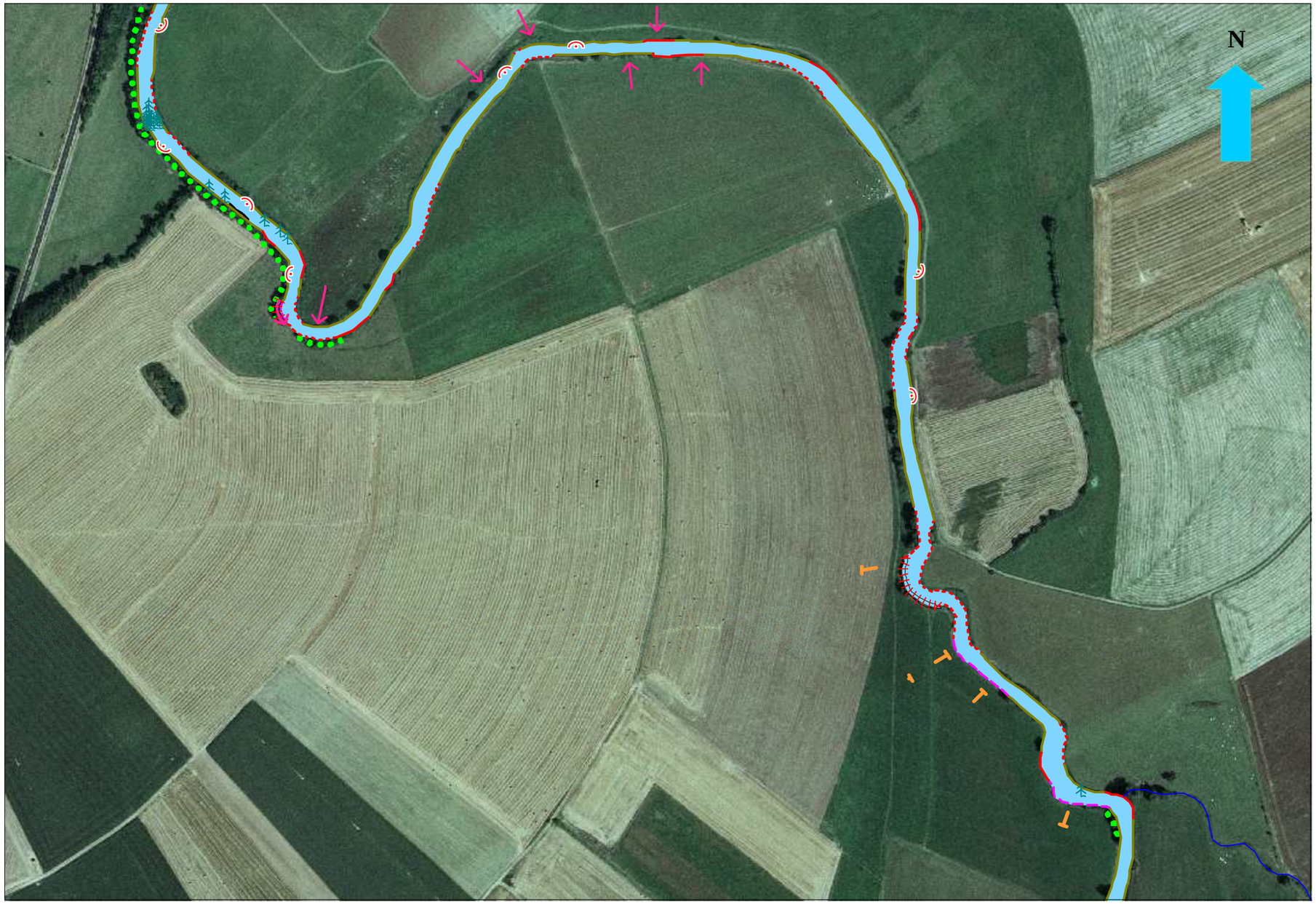
** Planche : 56 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 14e * Echelle : 1/ 5000*



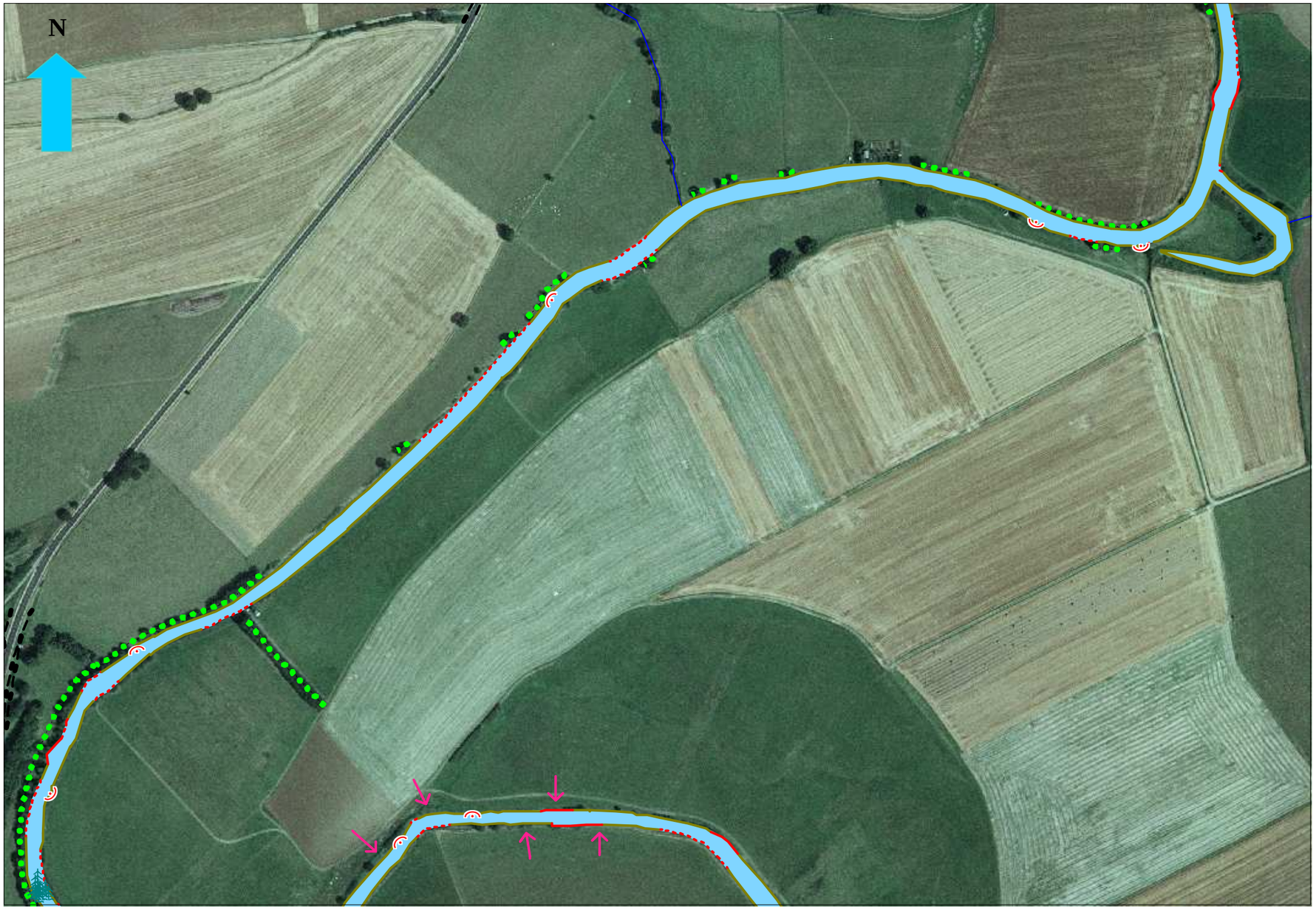
**** Planche : 57 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 14f * Echelle : 1/ 5000***



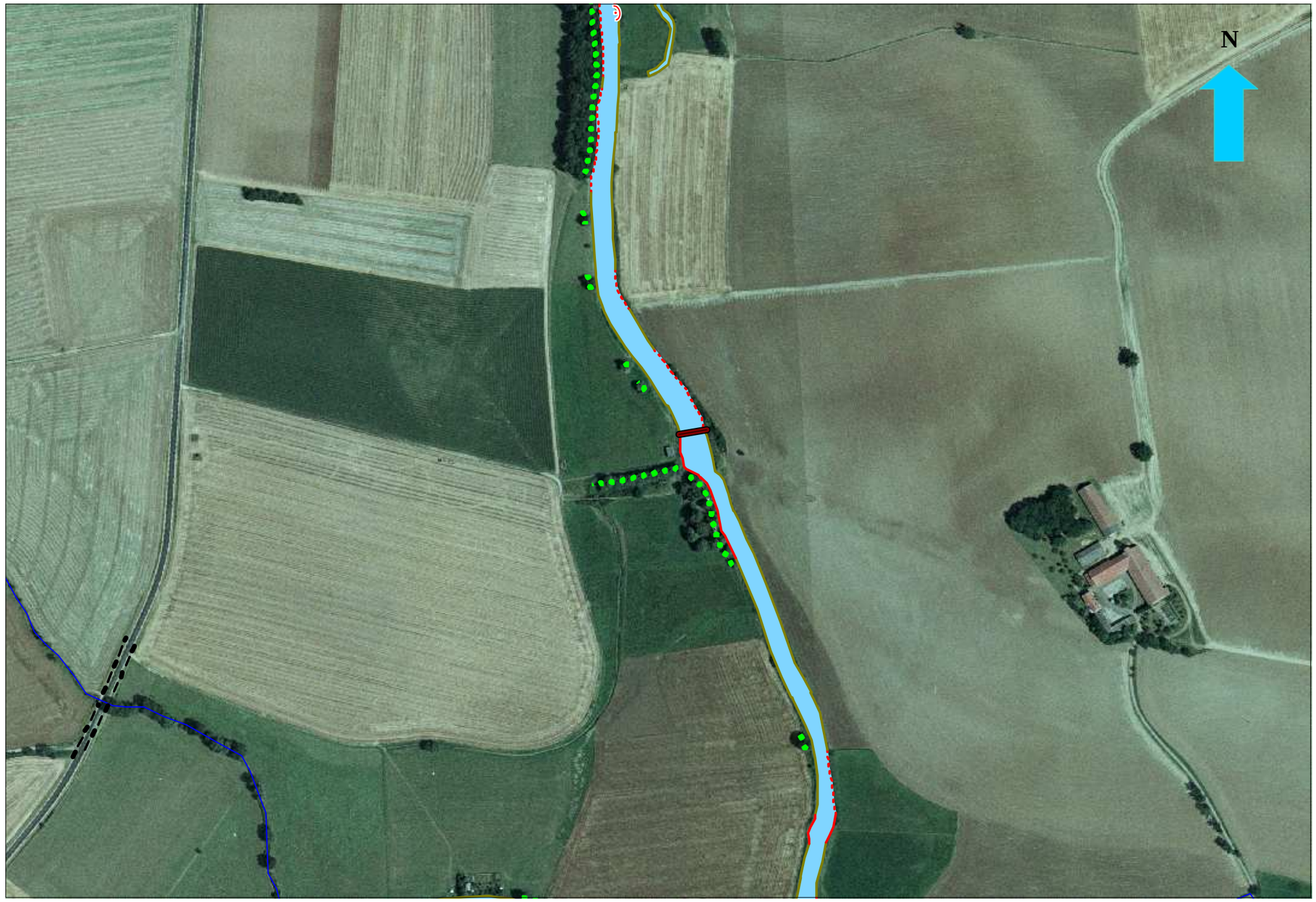
** Planche : 58 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 15a * Echelle : 1/ 5000*



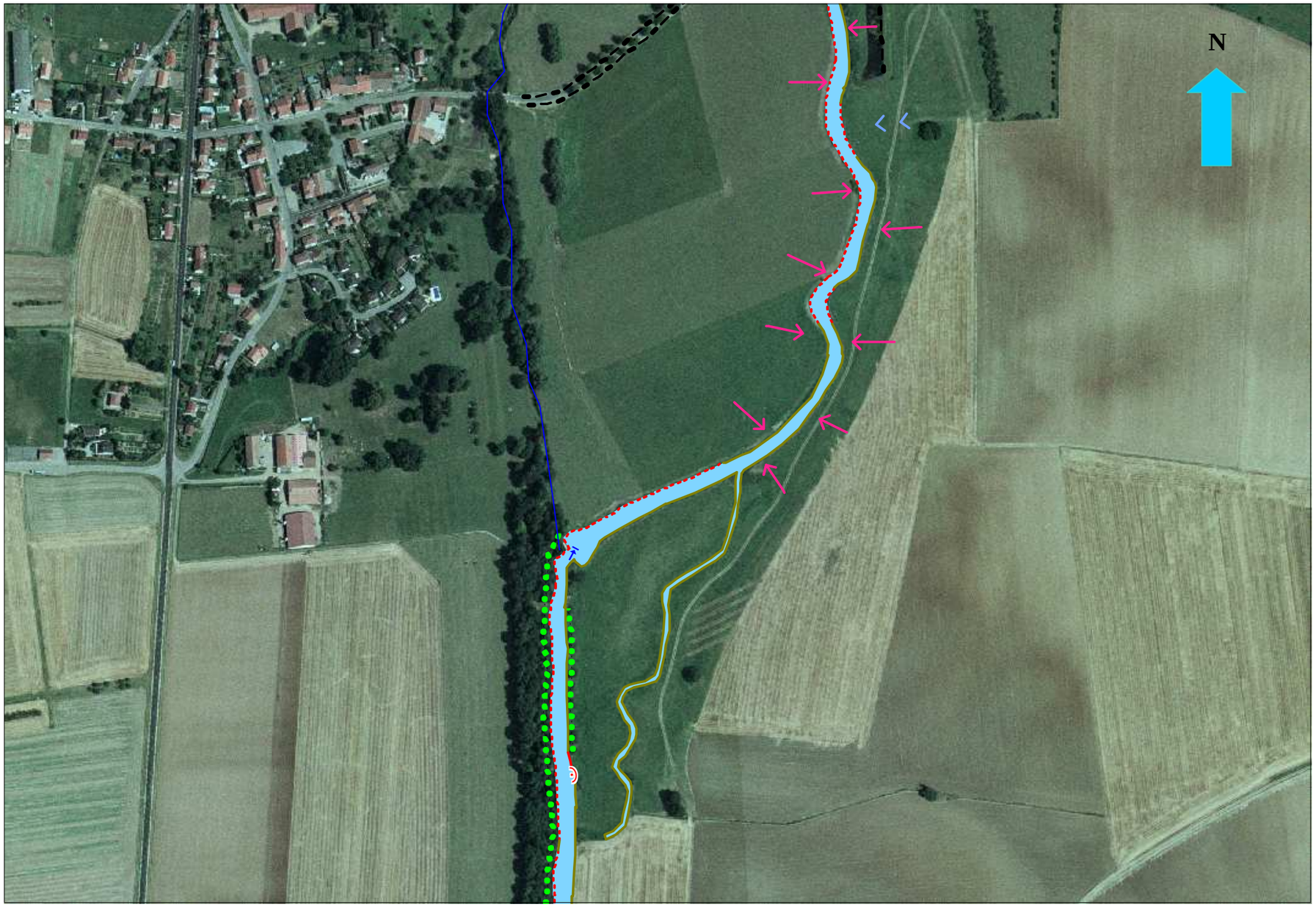
** Planche : 59 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 15b * Echelle : 1/ 5000*



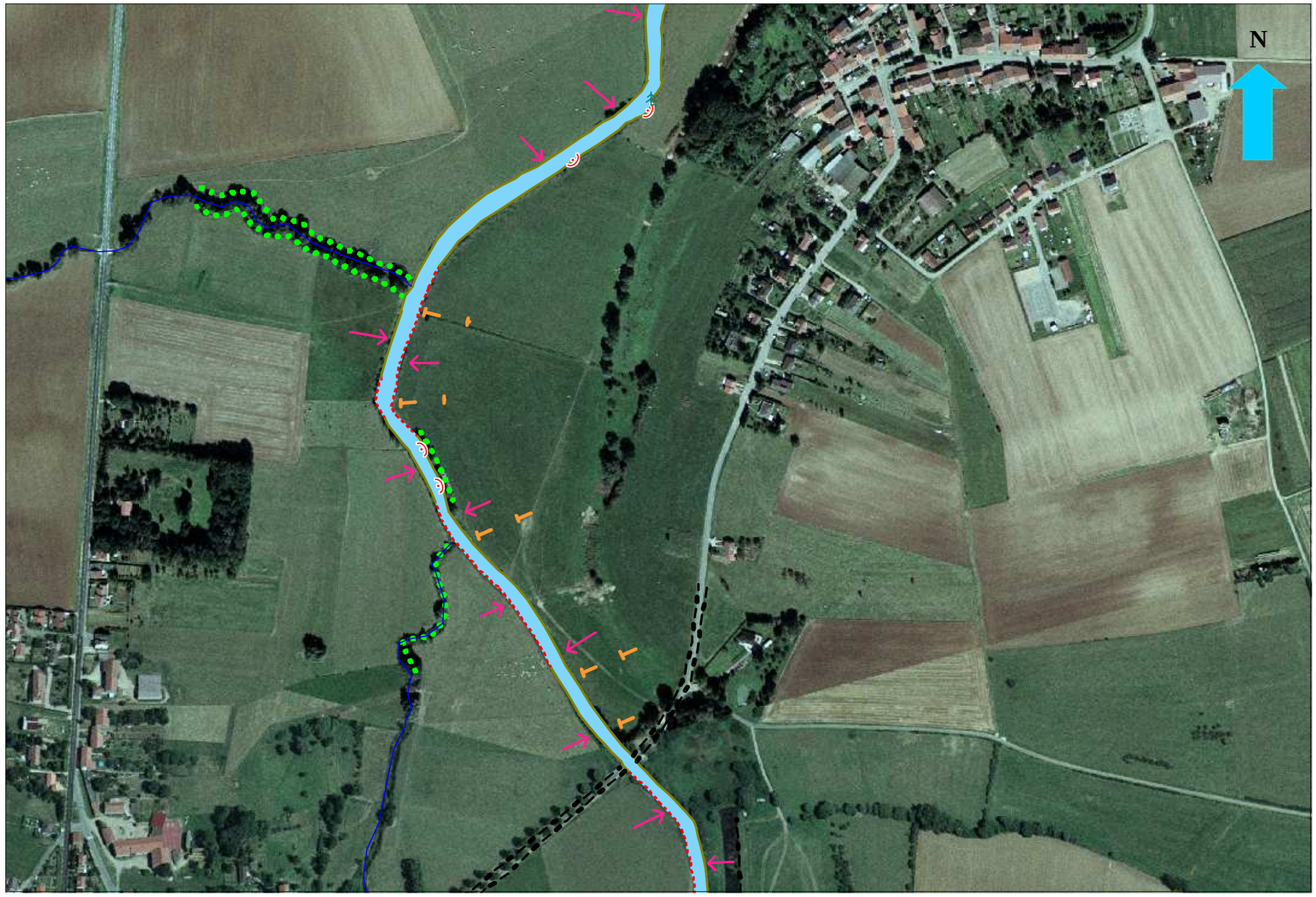
**** Planche : 60 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 15c * Echelle : 1/ 5000***



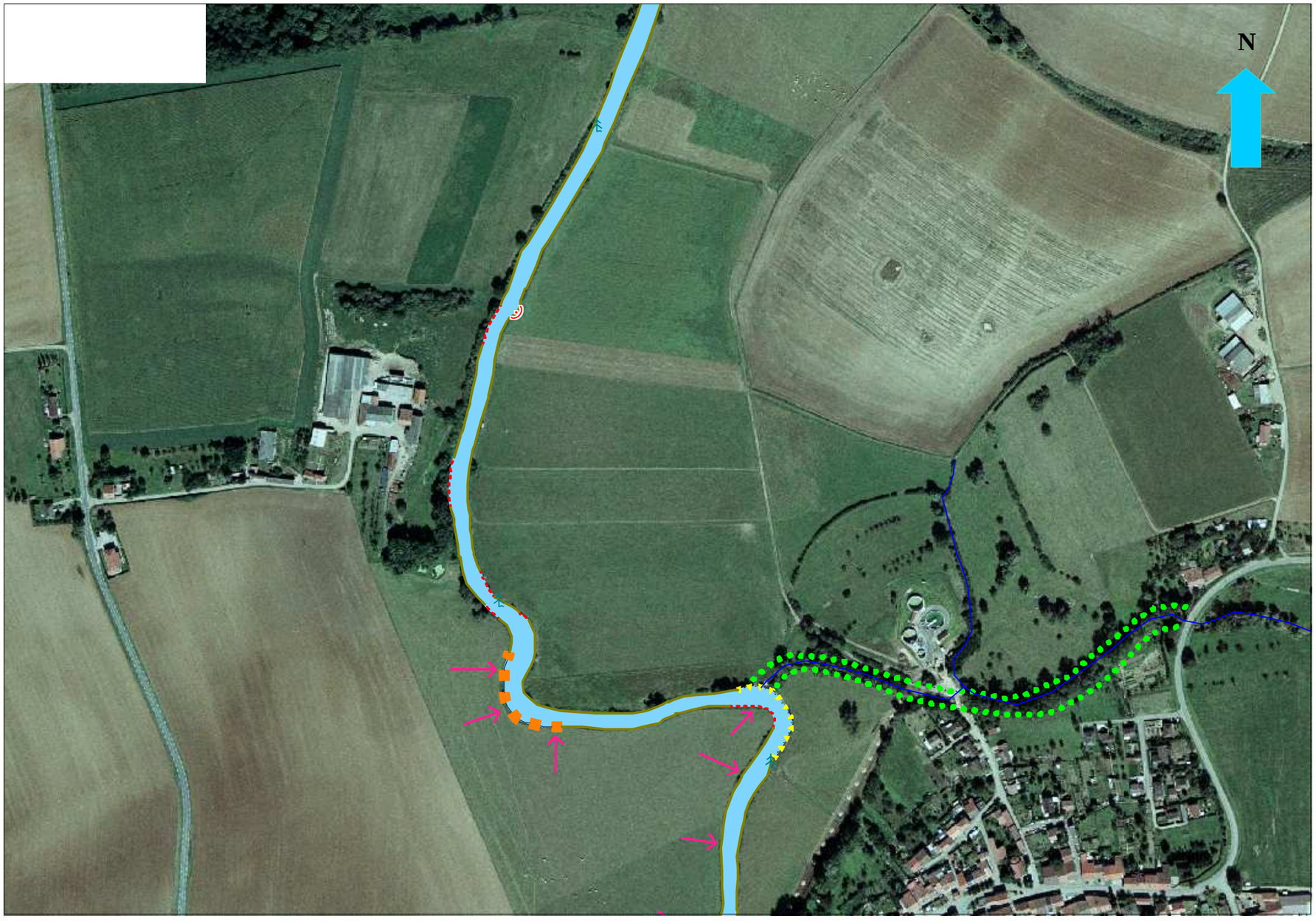
** Planche : 61 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 15d * Echelle : 1/ 5000*



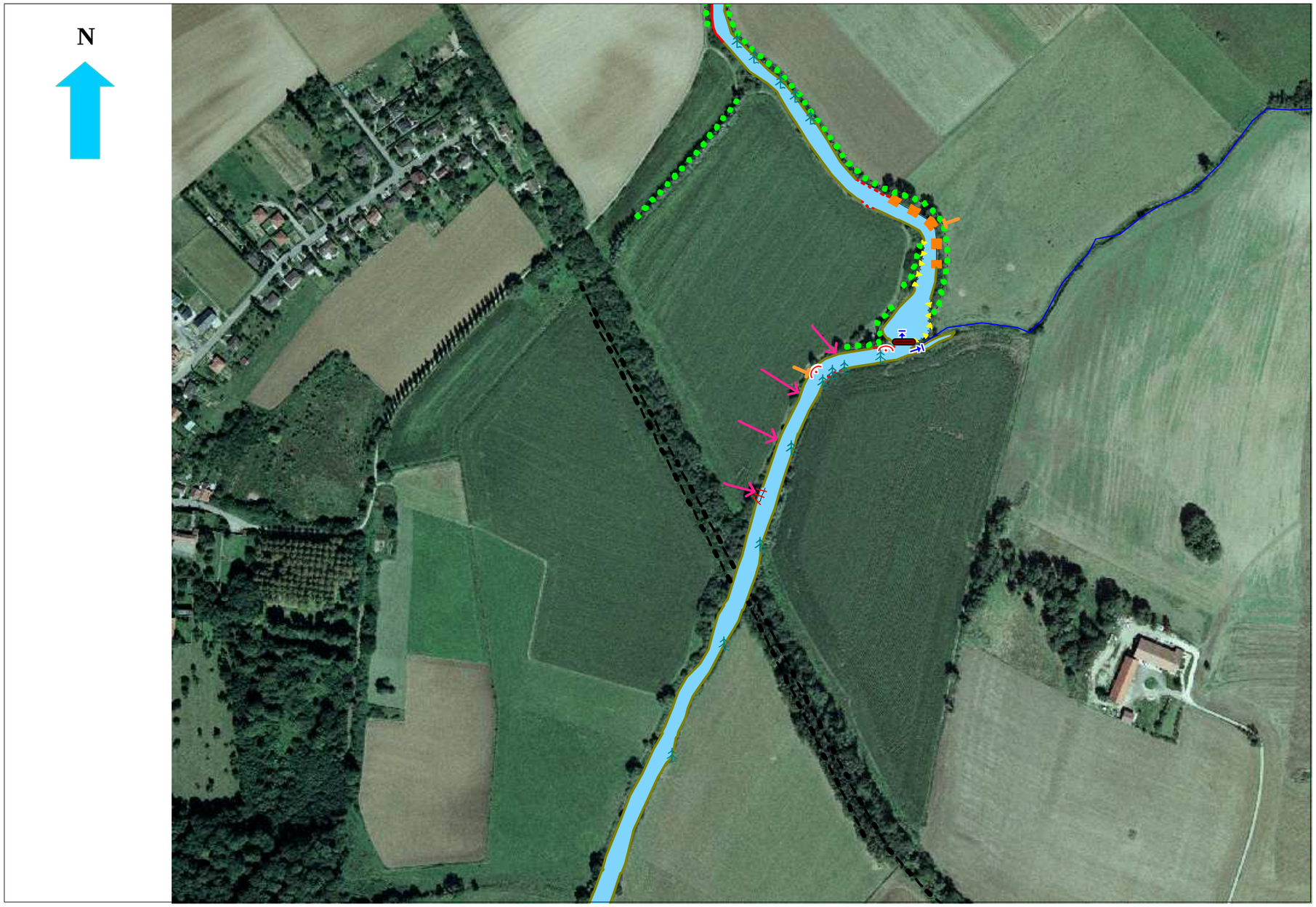
**** Planche : 62 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 15e * Echelle : 1/ 5000***



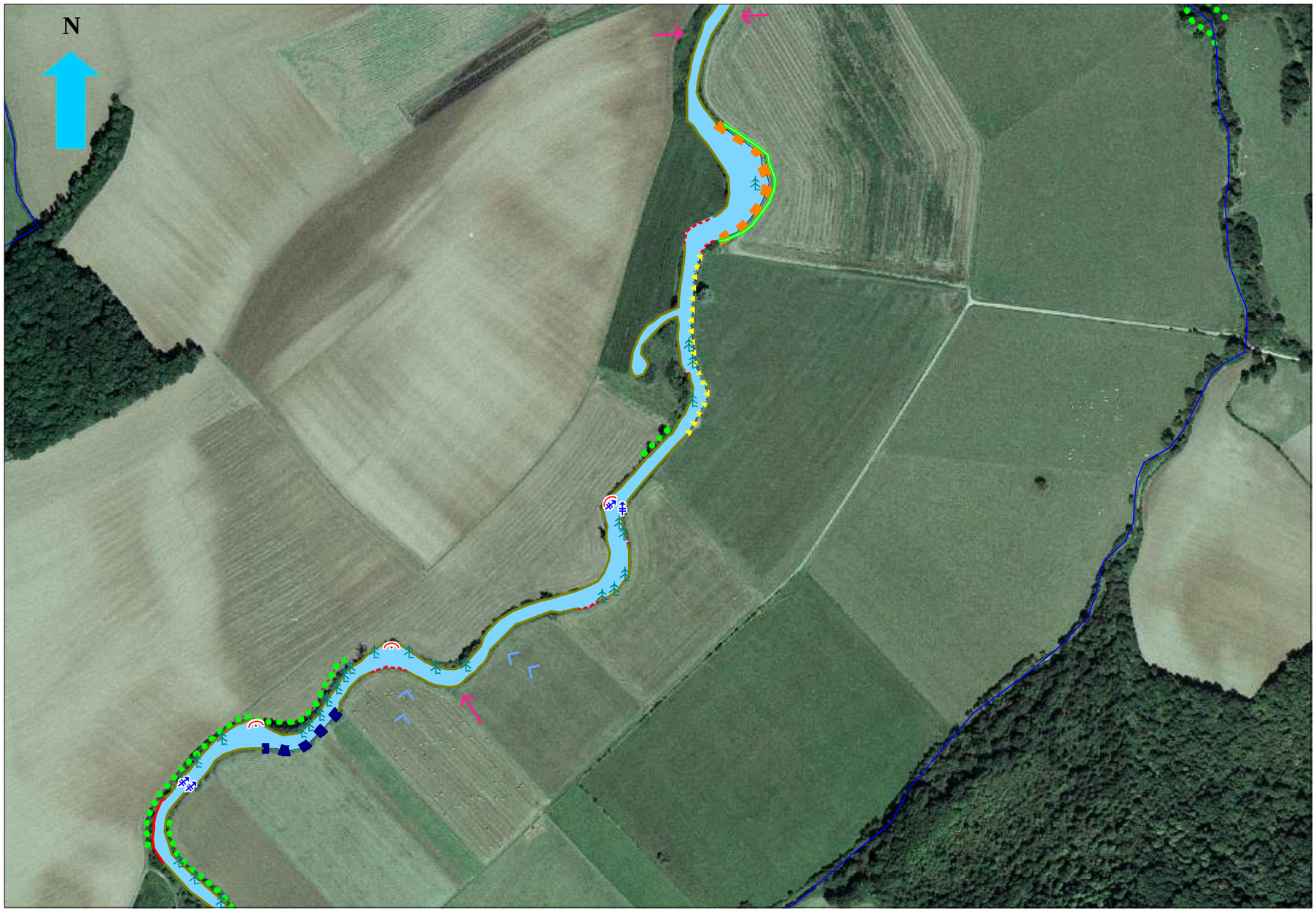
** Planche : 63 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 15f * Echelle : 1/ 5000*



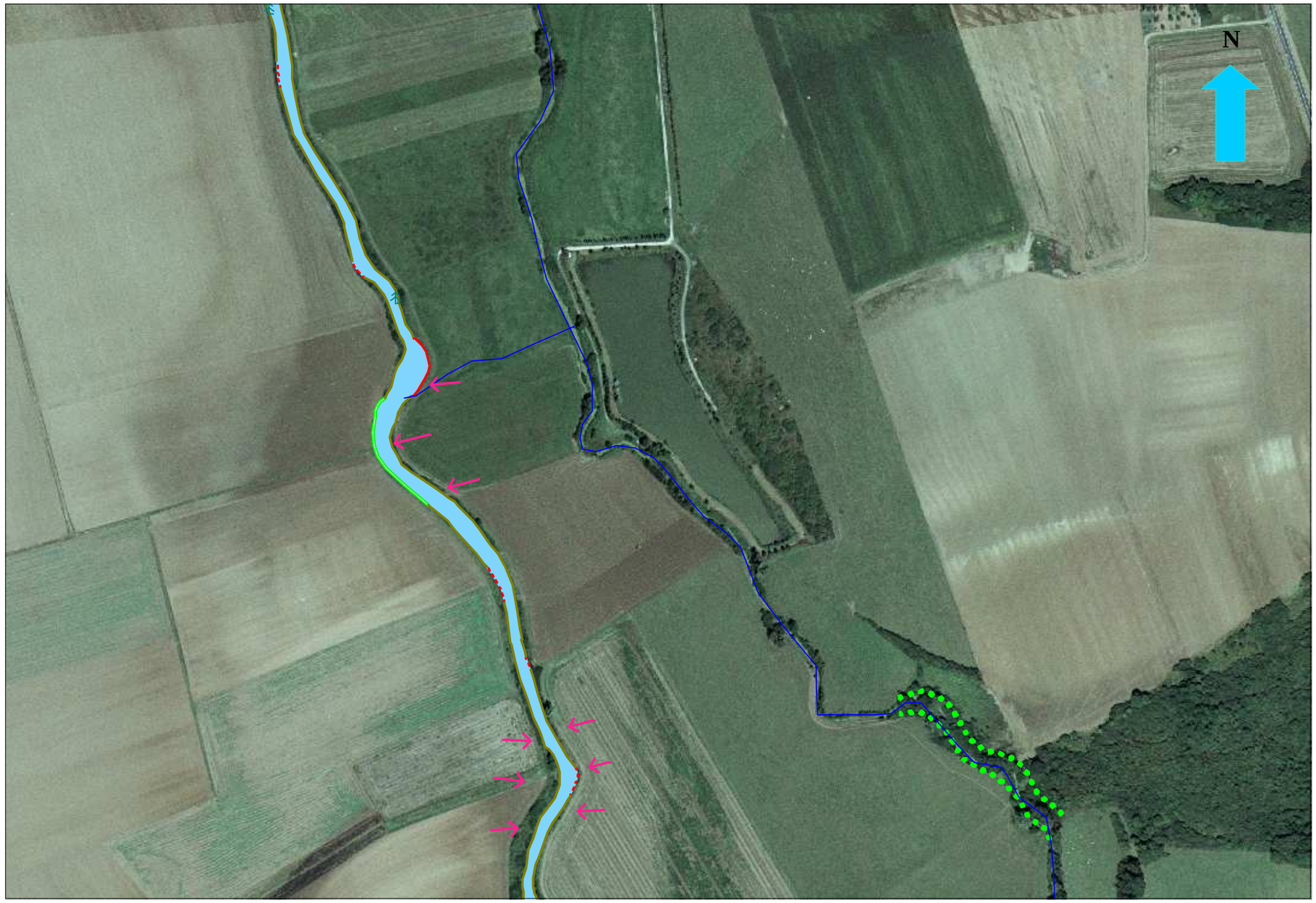
**** Planche : 64 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 16a * Echelle : 1/ 5000***



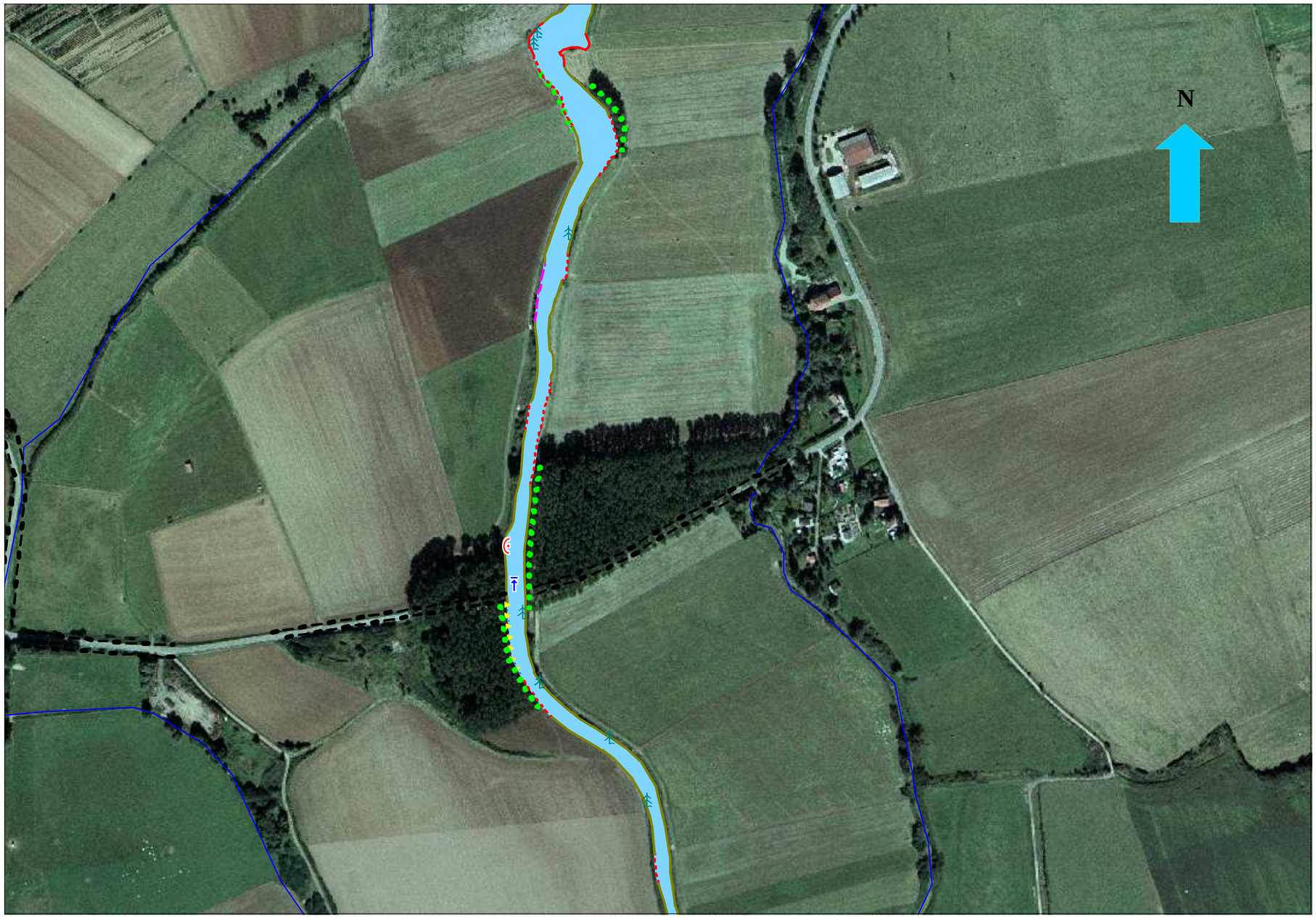
**** Planche : 65 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 16b * Echelle : 1/ 5000***



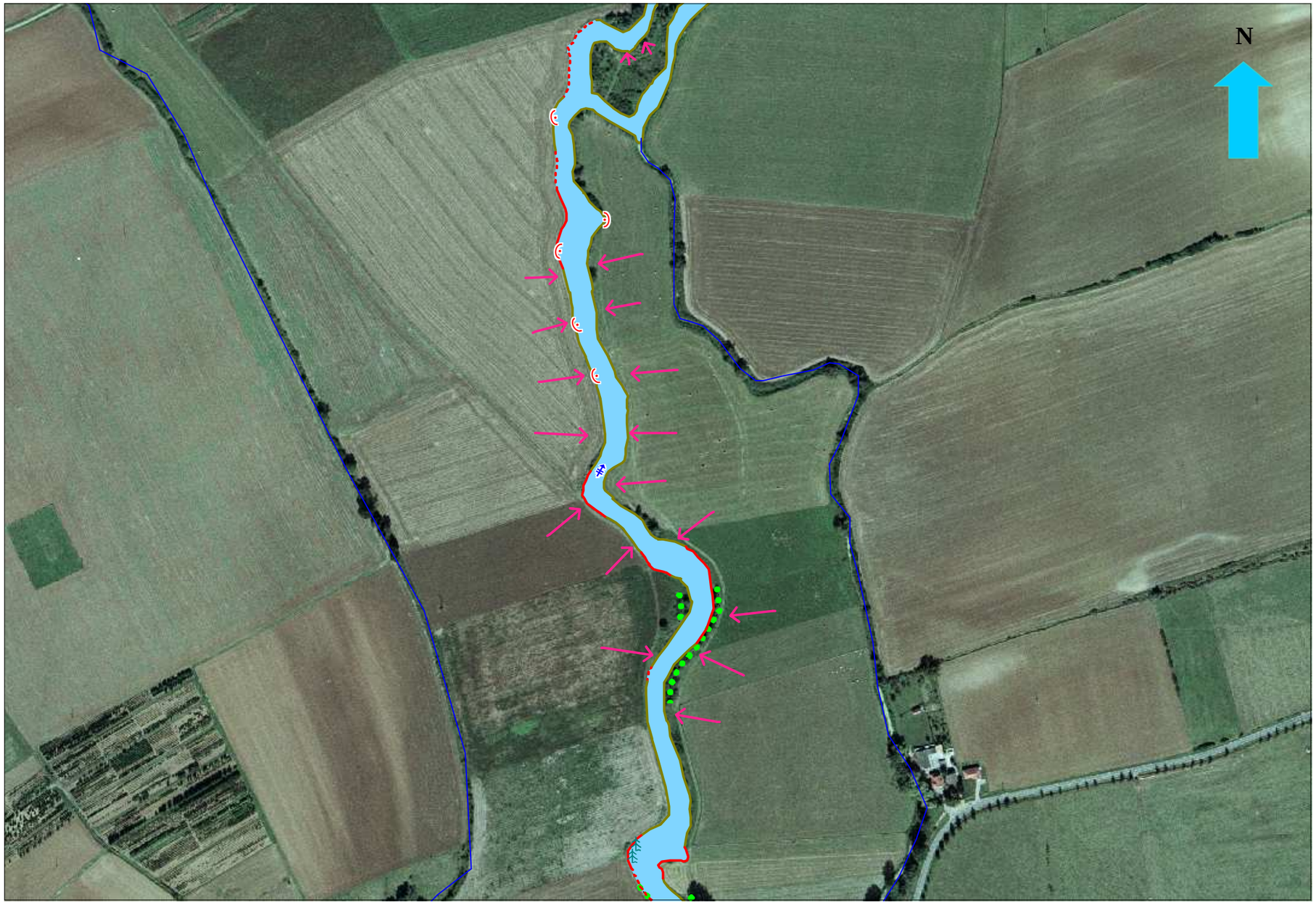
** Planche : 66 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 16c * Echelle : 1/ 5000*



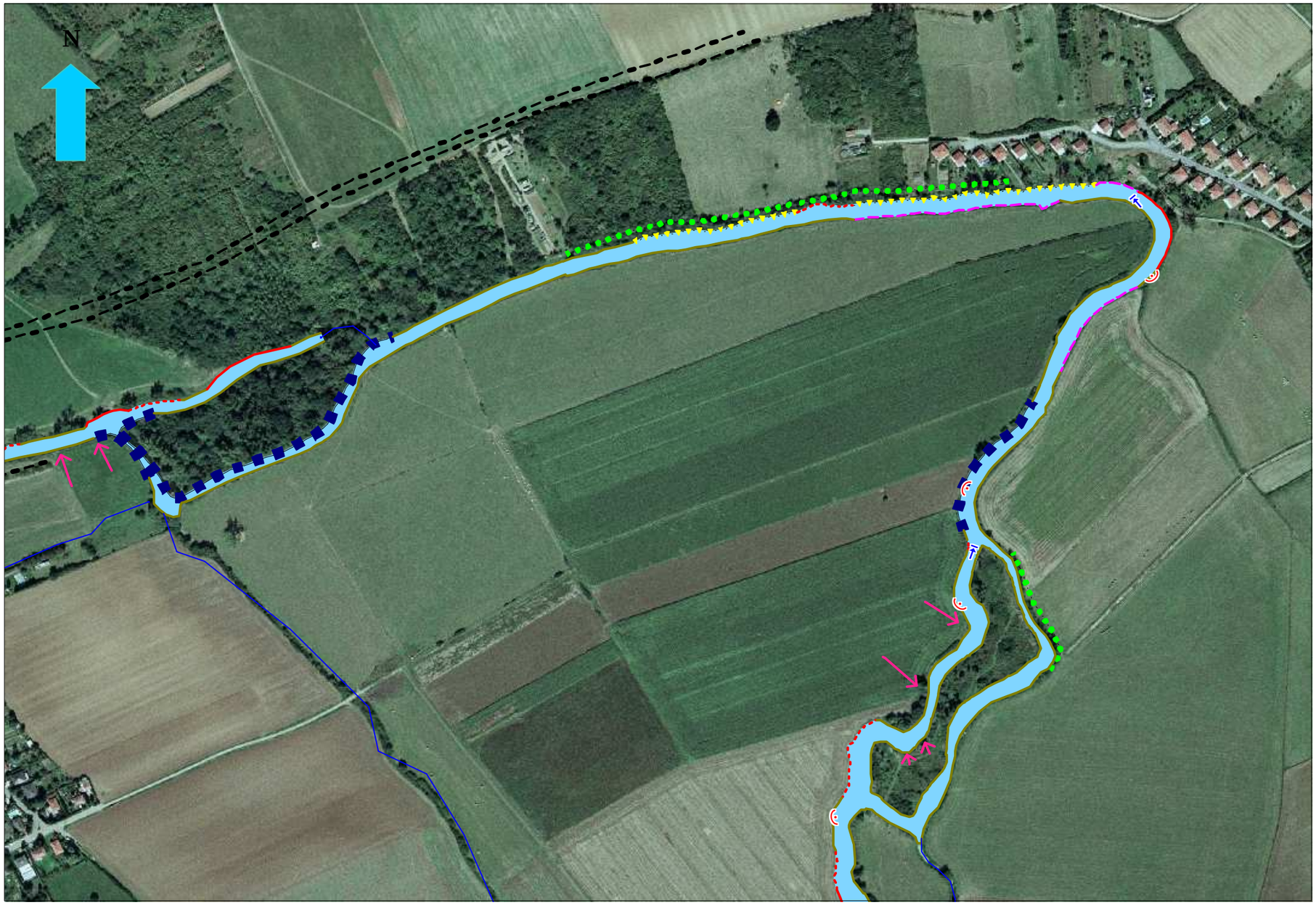
** Planche : 67 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 16d * Echelle : 1/ 5000*



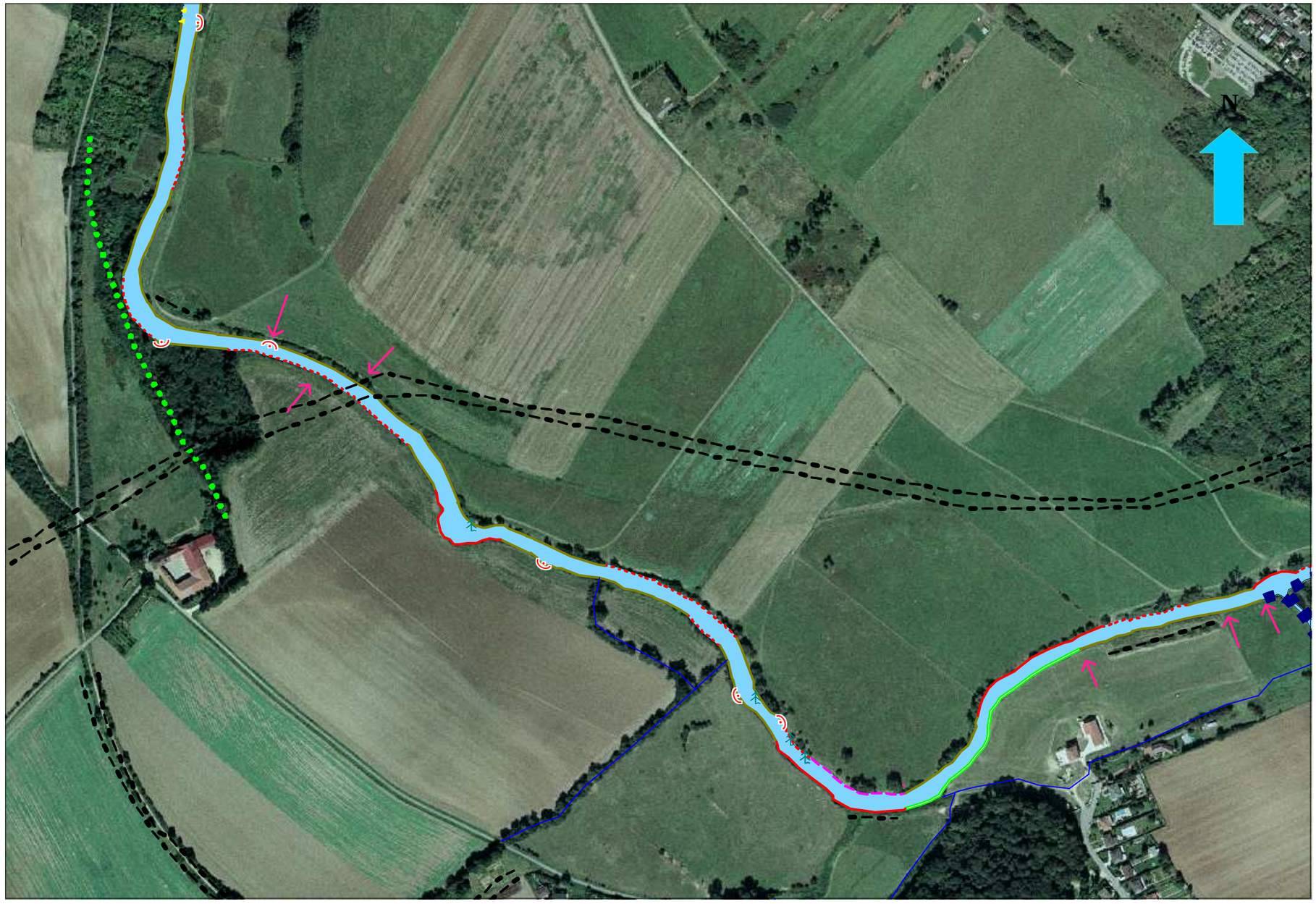
** Planche : 68 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 16e * Echelle : 1/ 5000*



**** Planche : 69 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 17a * Echelle : 1/ 5000***



**** Planche : 70 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 17b * Echelle : 1/ 5000***



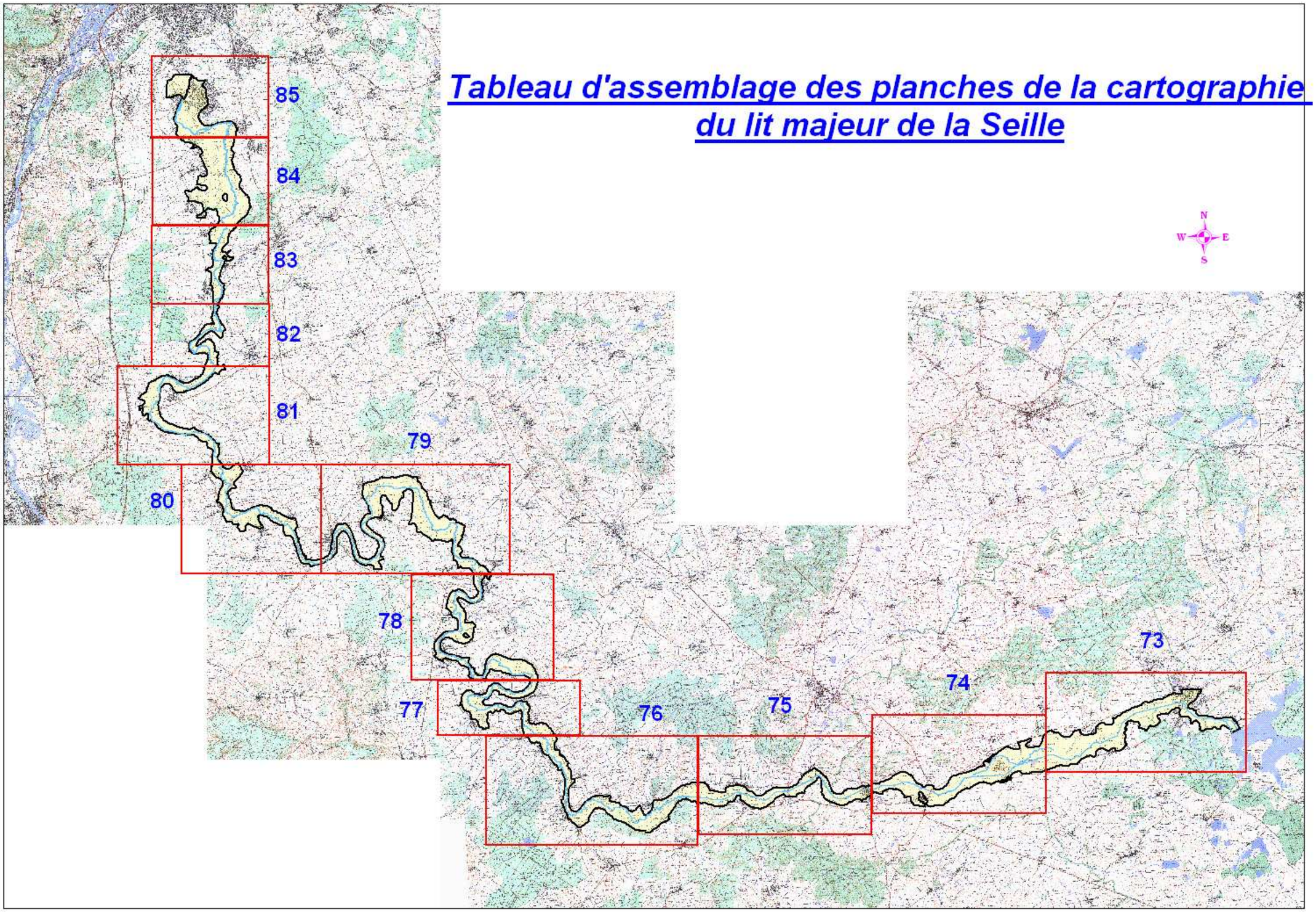
** Planche :71 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 17c * Echelle : 1/ 5000*



**** Planche : 72 * Zone : Aval, dépression Subséquente * Tronçon : 17e * Echelle : 1/ 5000***

Cartographie du lit majeur de la Seille
d'après SCAN 25® IGN

Tableau d'assemblage des planches de la cartographie du lit majeur de la Seille



Légende de la cartographie du lit majeur de la Seille 1967/1968 à 2003

FORMES ANTERIEURES

Ancien lit de la Seille (marqué)

Vestiges d'anciens lit (peu marqués)

FORMES VIVES

Drains construits

Chenaux de crue

Ruisseau affluents

Plan d'eau

Lit mineur

Zones marécageuze

OCCUPATION DU SOL

Extension des espaces construites

Des prairies transformés à des Terres labourées

Développement des espaces boisés

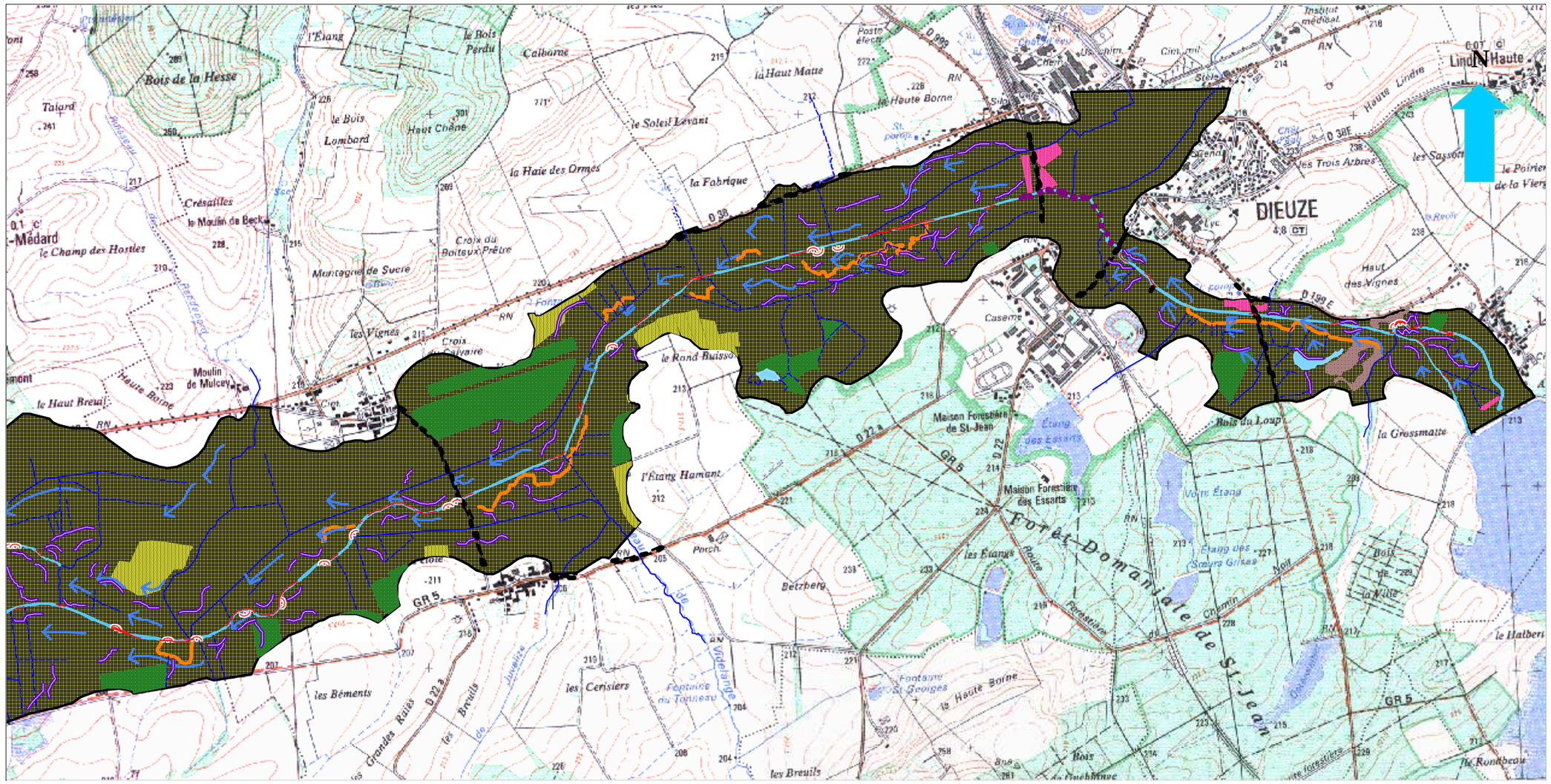
Des terres labourées transformés à des prairies

MORPHOLOGIES FLUVIALES

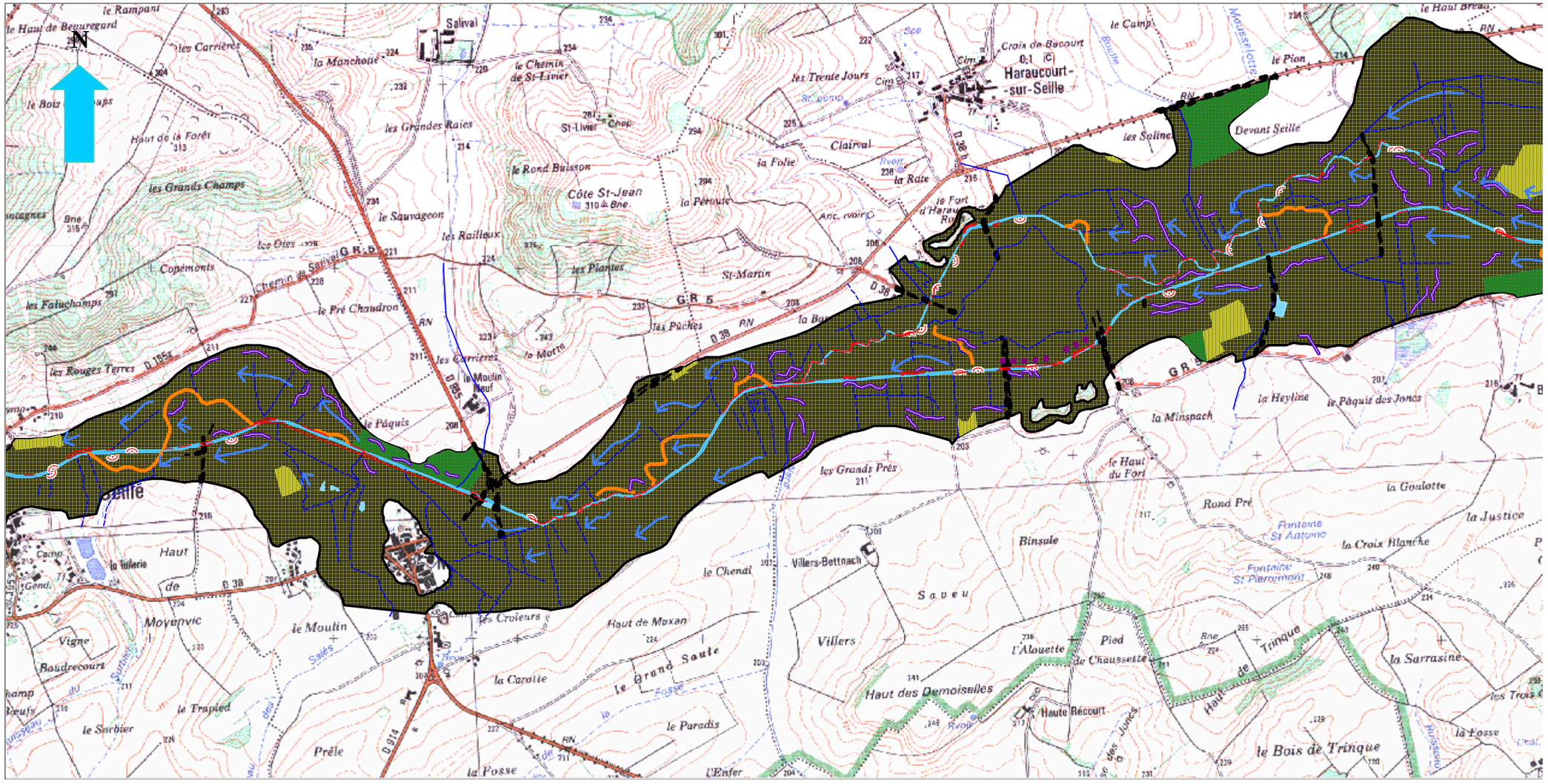
Berges marquées par la dynamique

Berges aménagées

Digues ou remblais

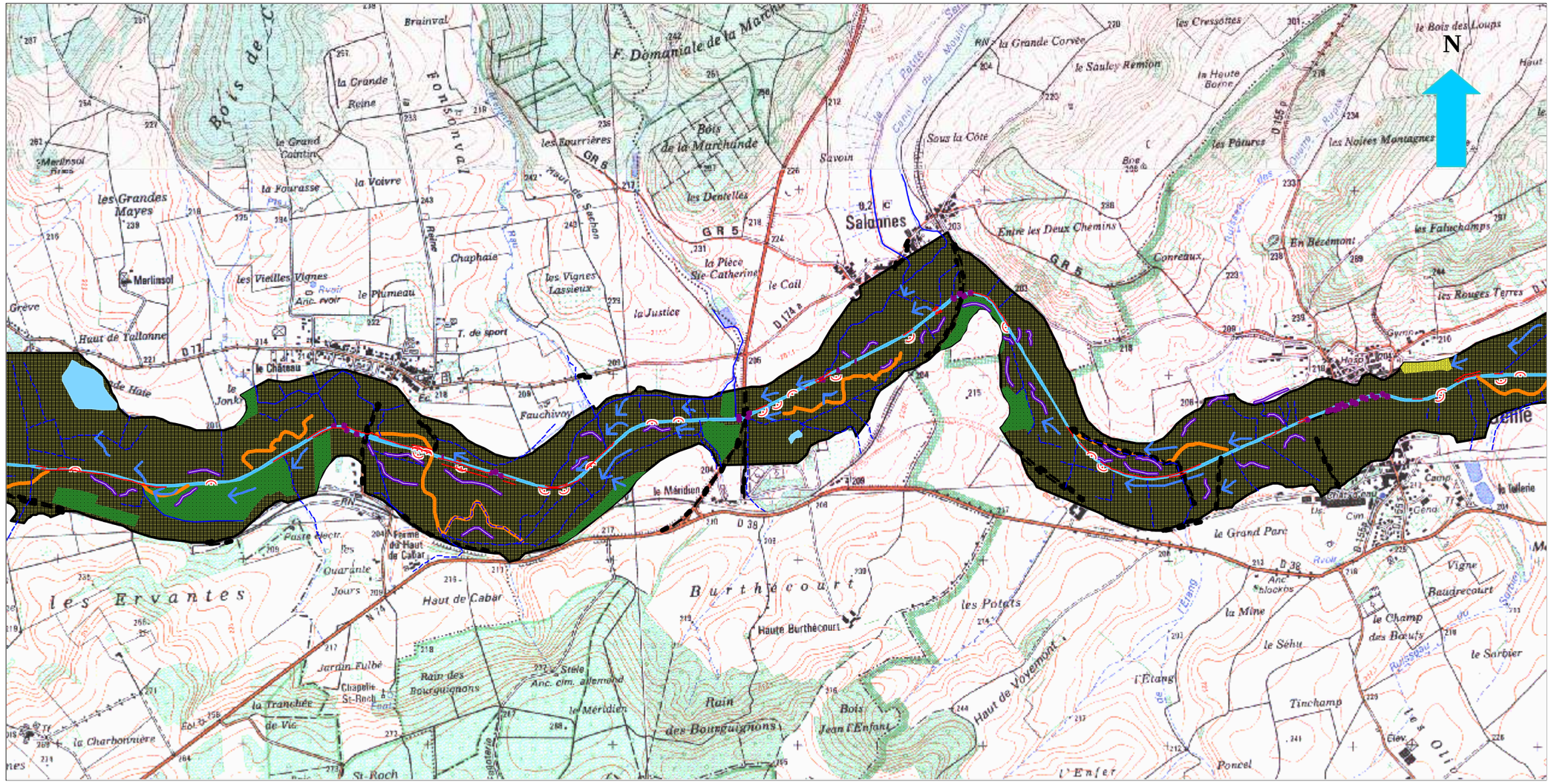


**** Planche : 73***	**** Zone : Pays des Etangs***	**** Tronçons : 1,2 et 3***	**** Echelle : 1/ 20 000***

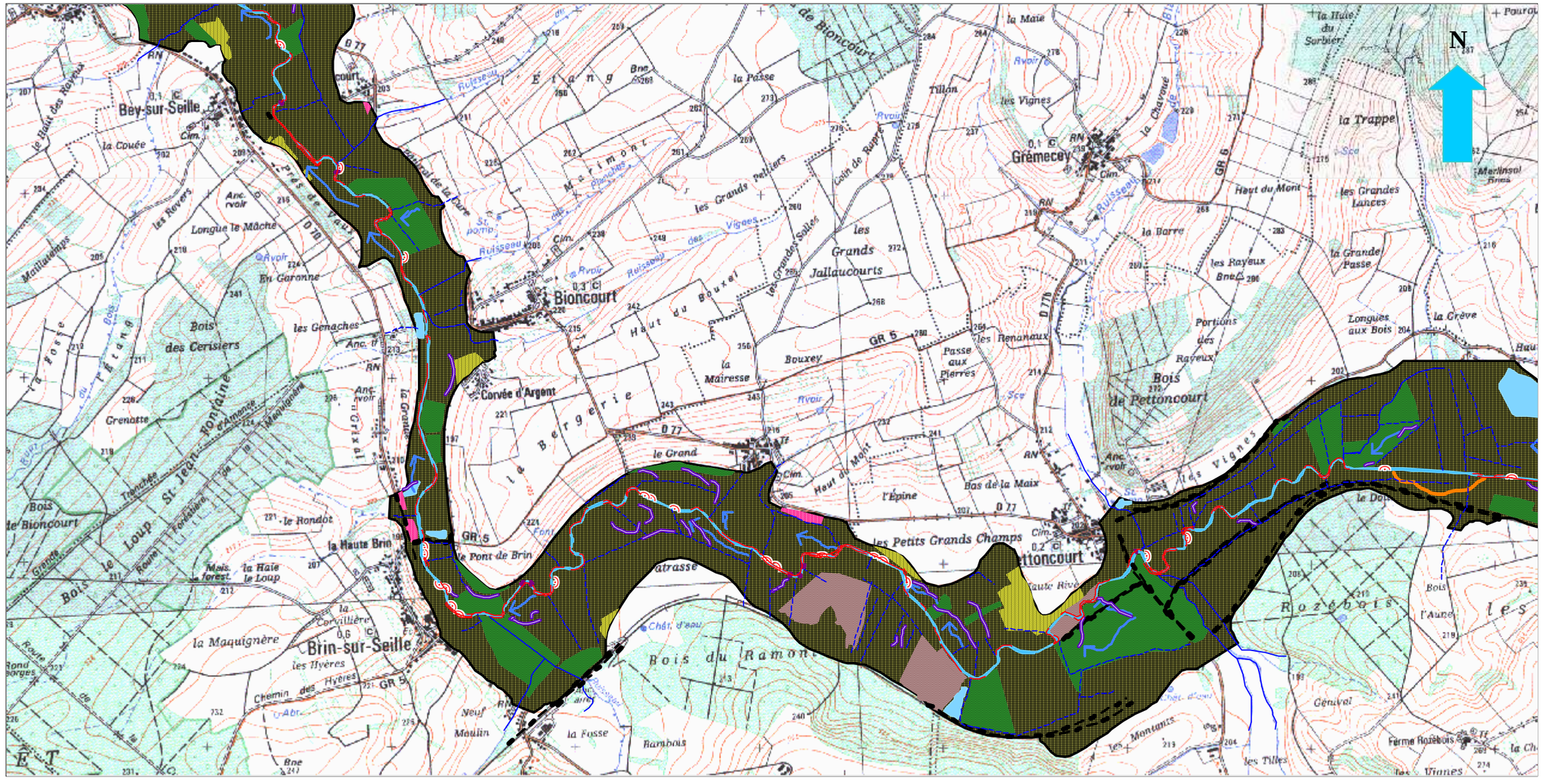


€€

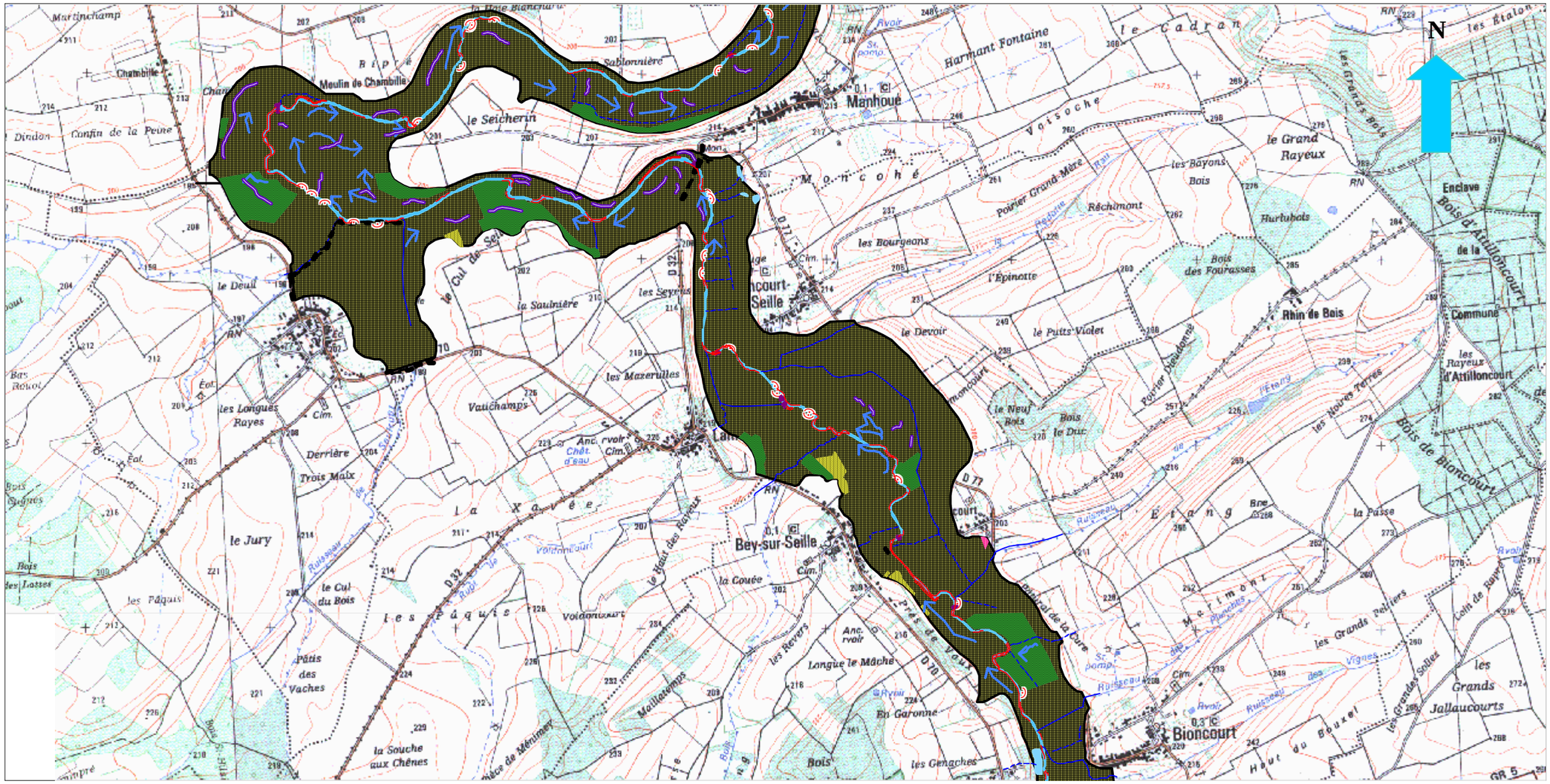
**** Planche : 74*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçons : 4, 5 et 6*** **** Echelle : 1/ 20 000***



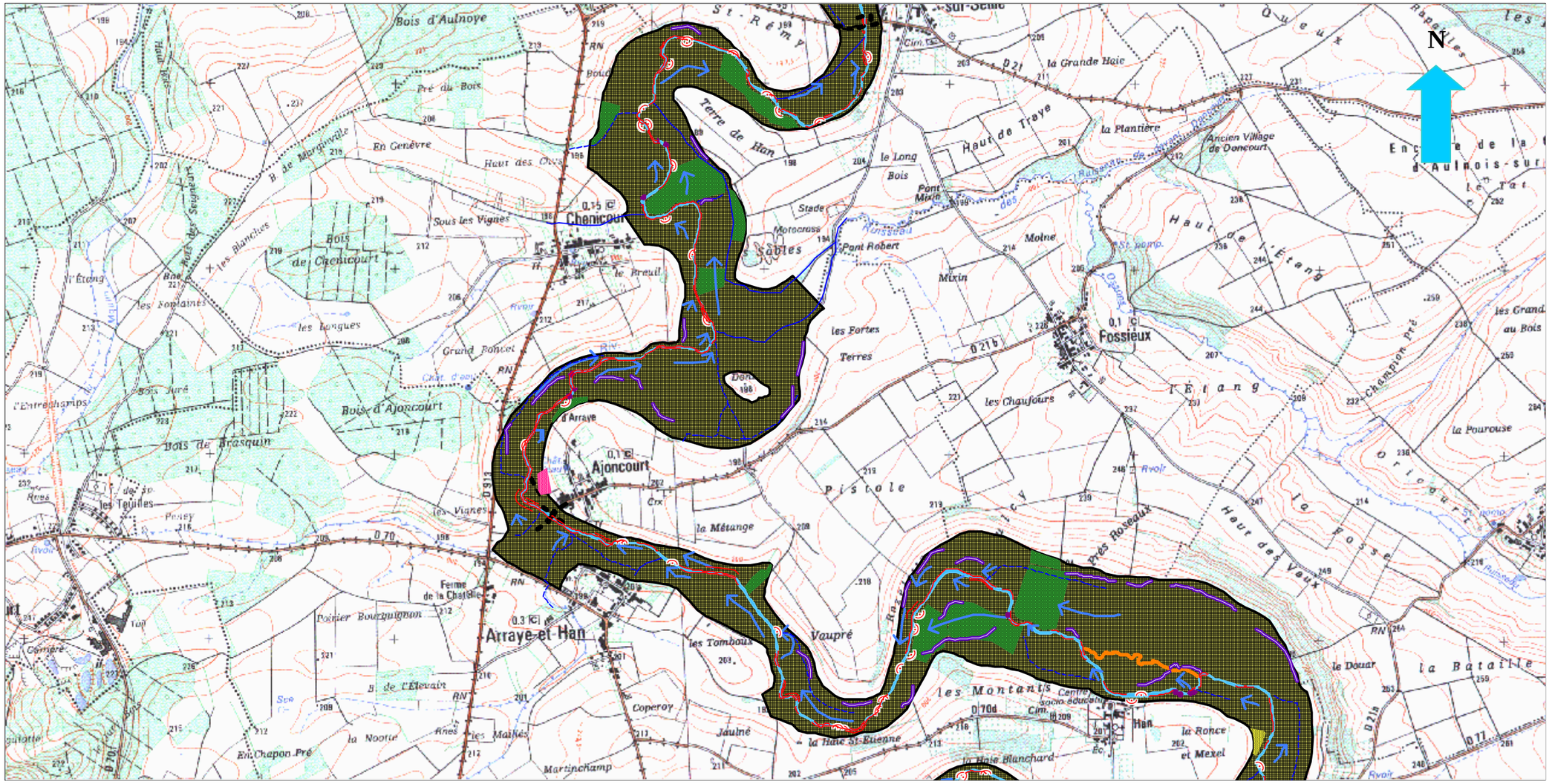
**** Planche : 75***	**** Zone : Du Saulnois***	**** Tronçon : 7***	**** Echelle : 1/ 20 000***



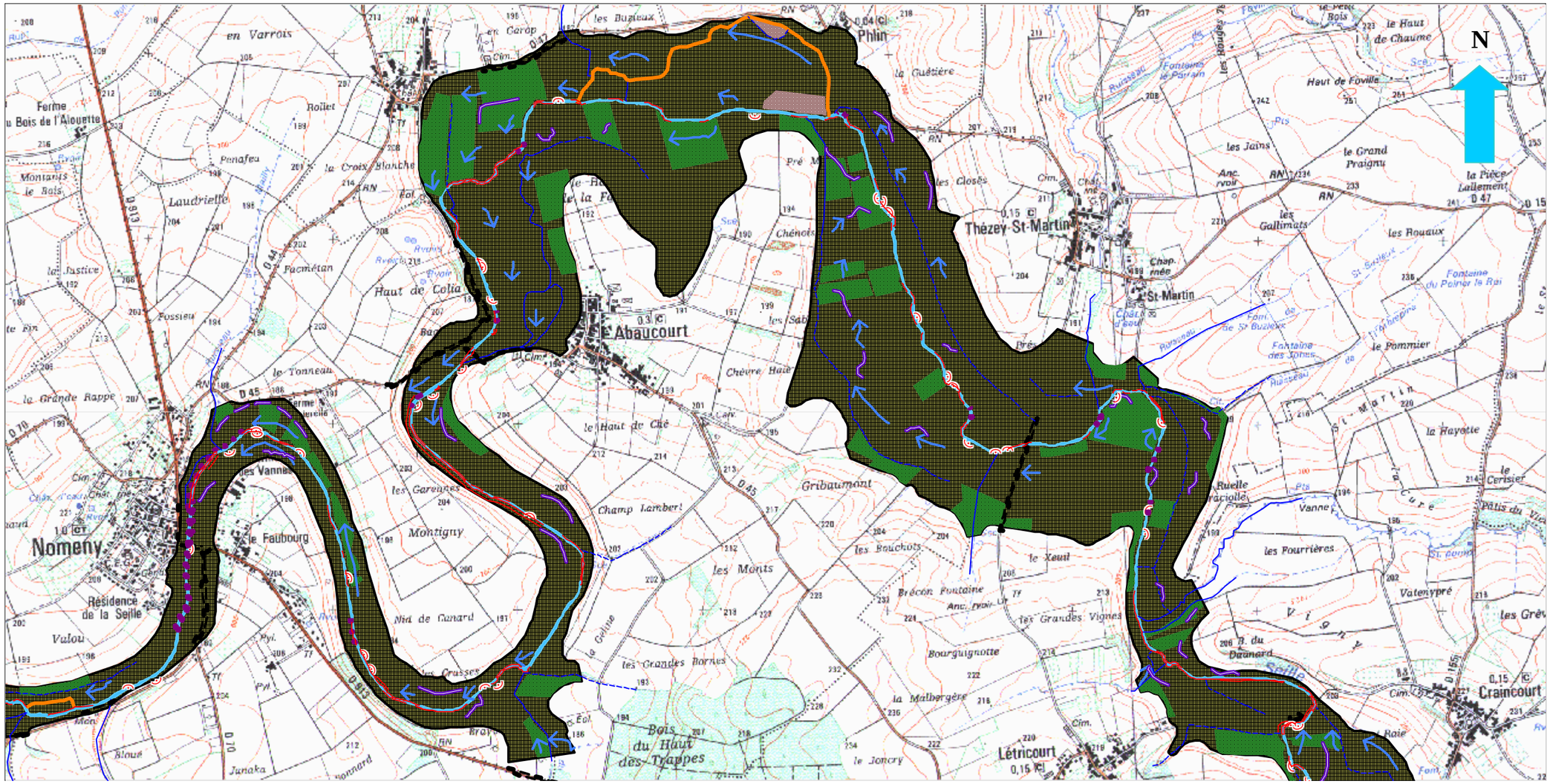
**** Planche : 76*** **** Zone : Du Saulnois*** **** Tronçons : 8 et 9*** **** Echelle : 1/ 20 000***



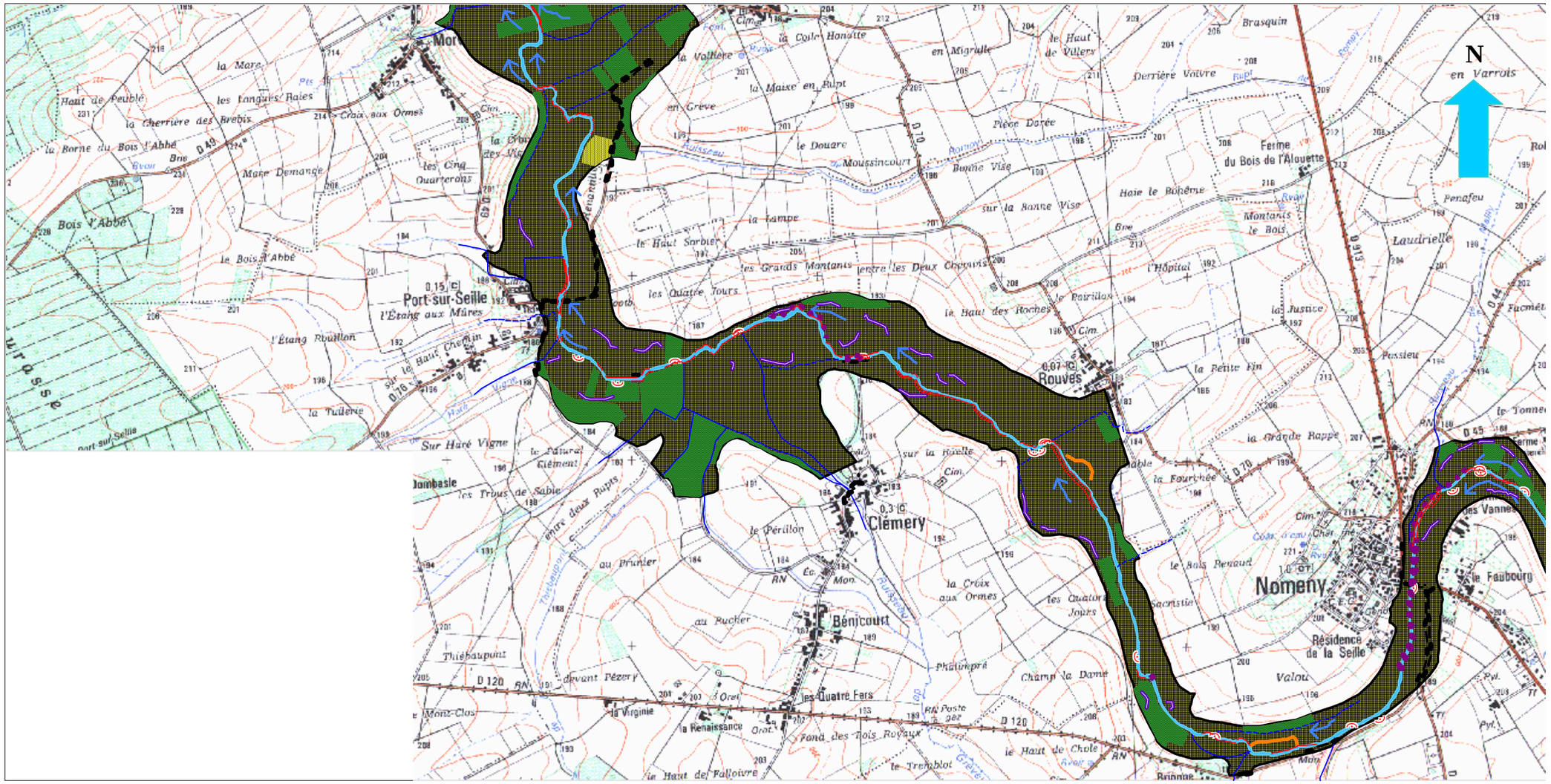
**** Planche : 77***	**** Zone : Médiane, plateau Liasique***	**** Tronçons : 9 et 10***	**** Echelle : 1/ 20 000***



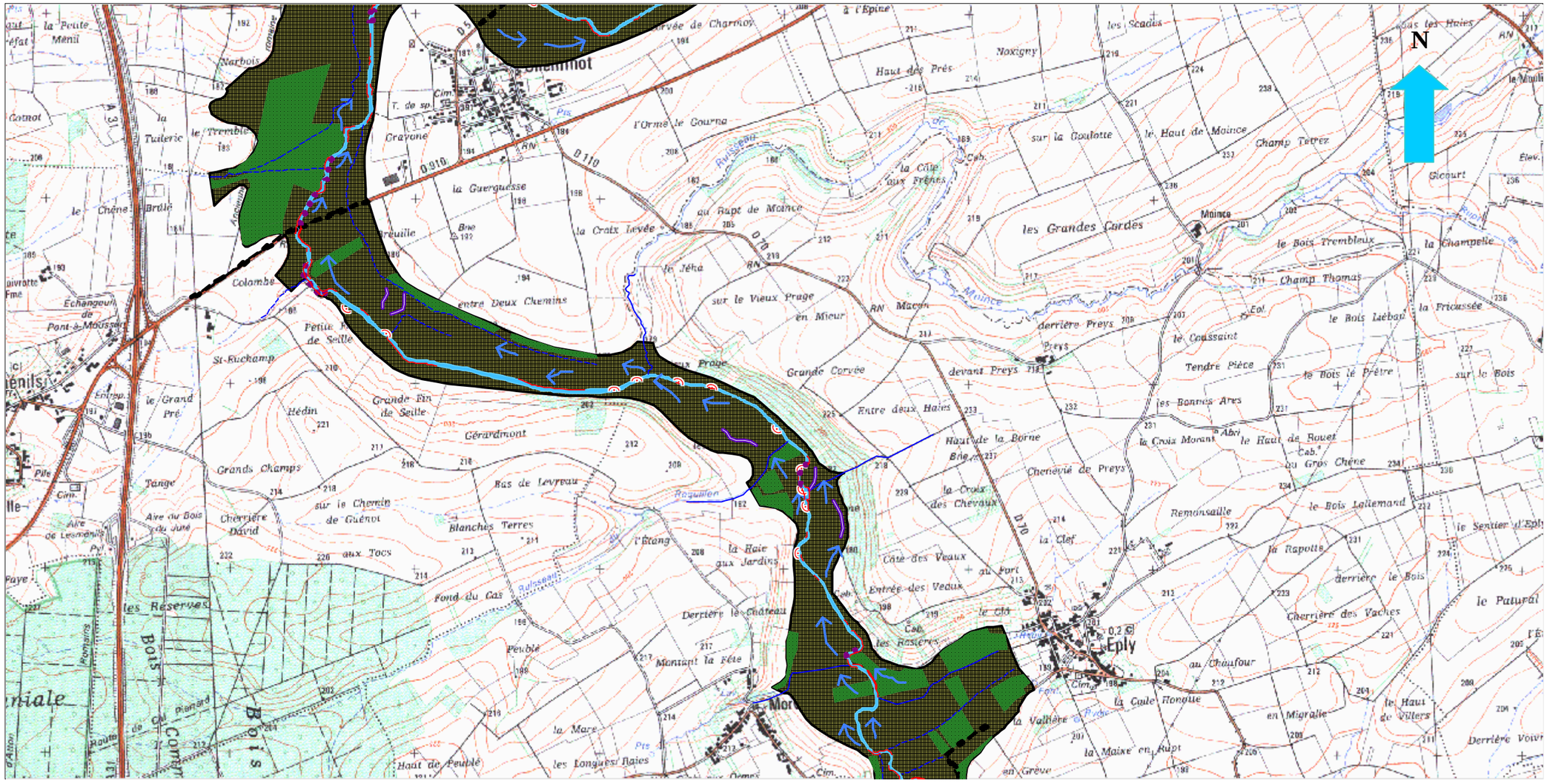
**** Planche : 78***	**** Zone : Médiane, plateau Liasique***	**** Tronçons : 10 et 11***	**** Echelle : 1/ 20 000***

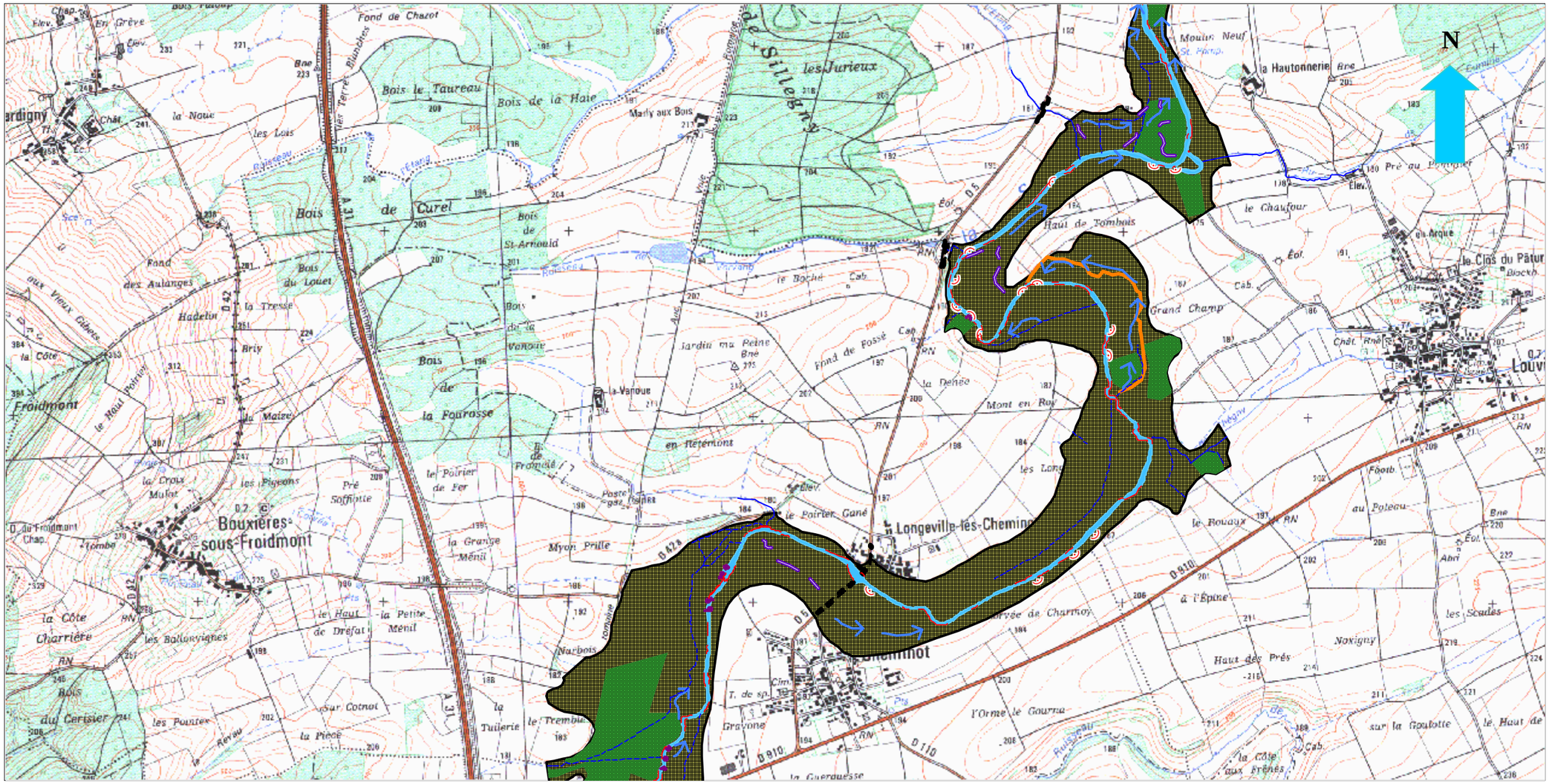


**** Planche : 79*** **** Zone : Médiane, plateau Liasique*** **** Tronçons : 11, 12 et 13*** **** Echelle : 1/ 20 000***

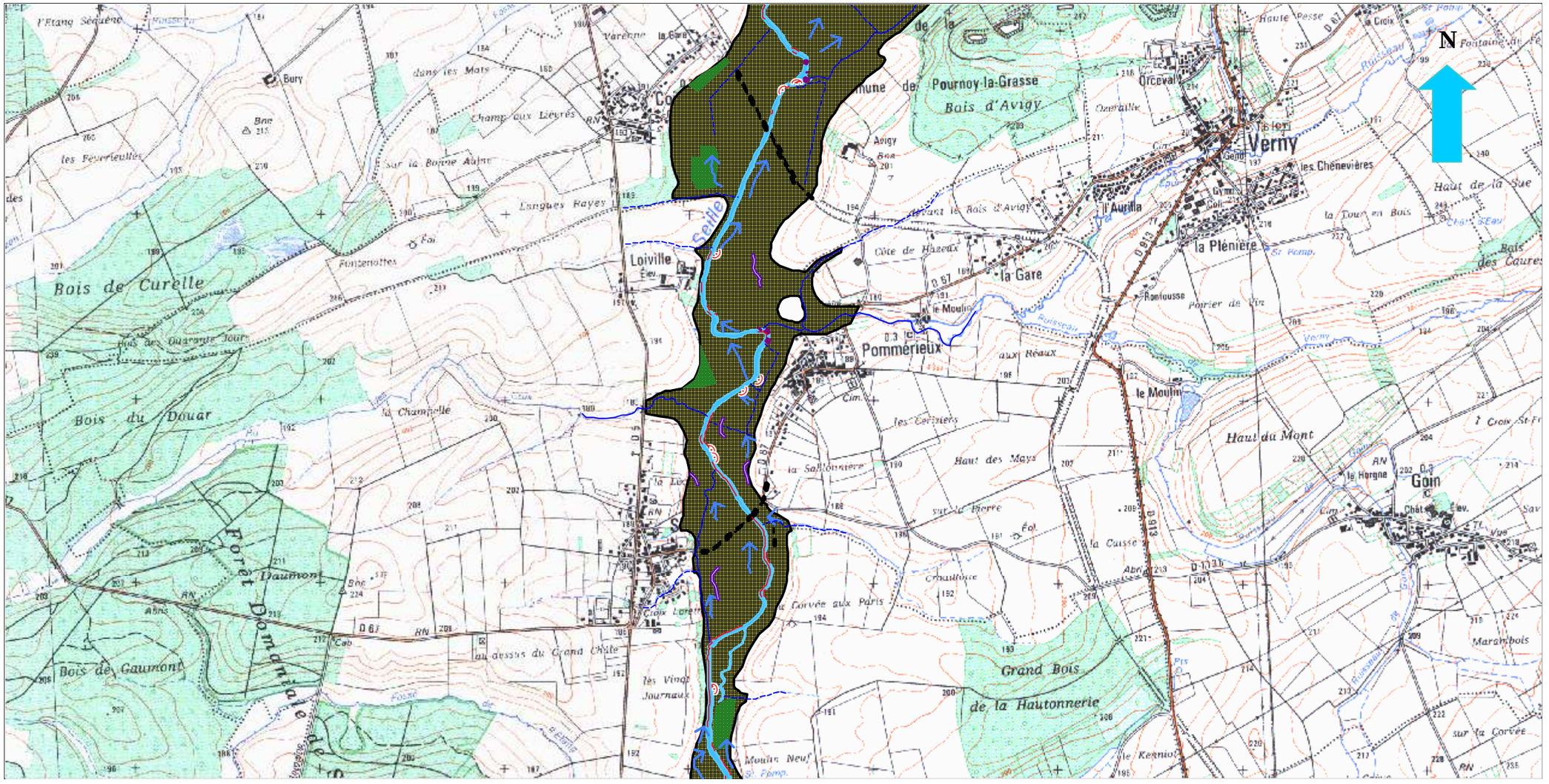


**** Planche : 80***	**** Zone : Médiane, plateau Liasique***	**** Tronçon : 13***	**** Echelle : 1/ 20 000***

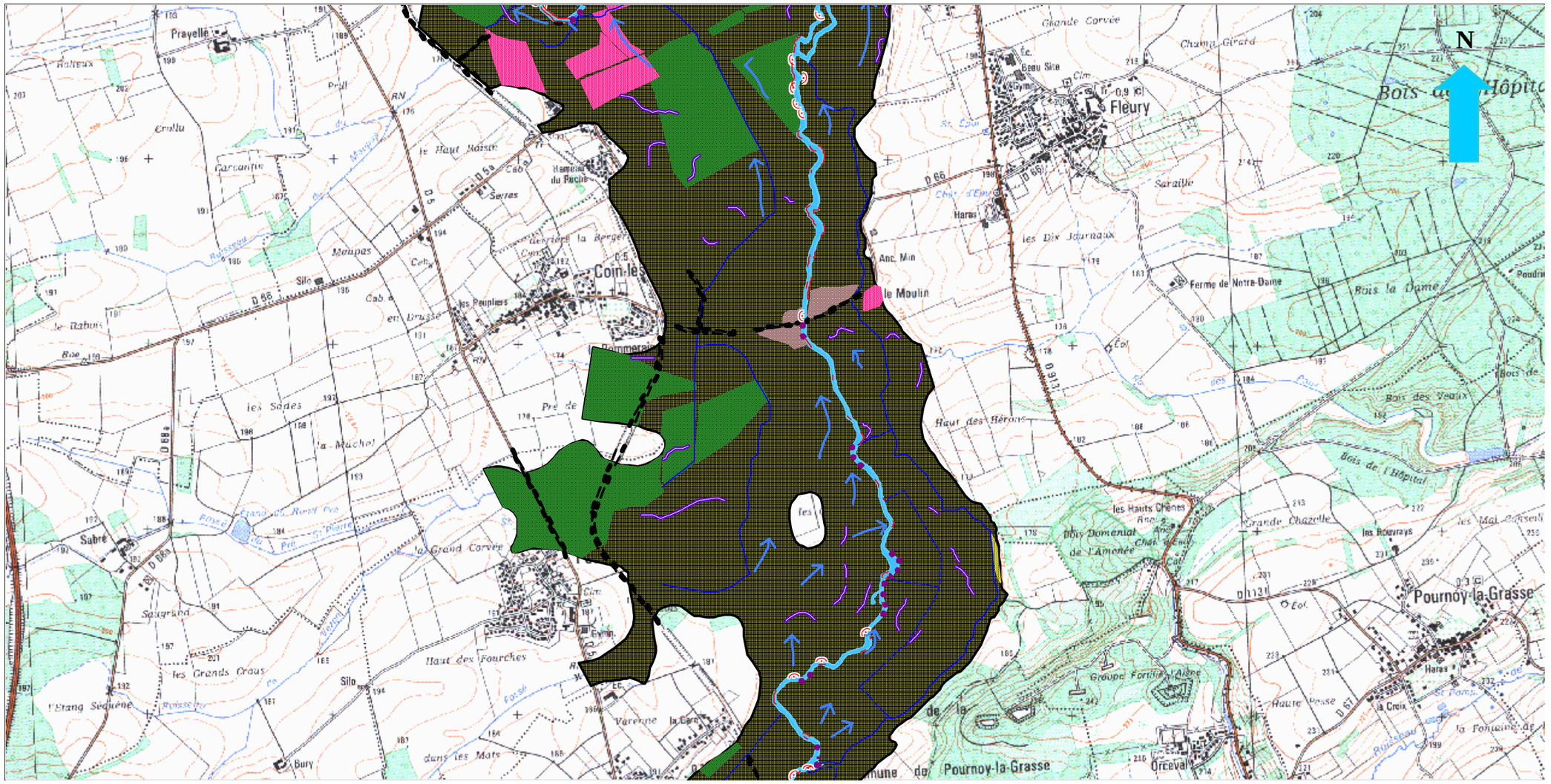

N
Echangeur de Pont-à-Mousson
Colombe
St-Euchamp
le Grand Pré
Petite Fin de Seille
Grande Fin de Seille
Hédin
Gérardmont
Grands Champs
Tange
Cherrière David
sur le Chemin de Guénot
Aire du Bois du Jure
Aire de Lesmenils
Blanches Terres
Bas de Levreau
aux Tocs
les Réserves
Bois
Bois
Haut de Peuble
la Mare
les Longues Raies
l'Etang
la Haie aux Jardins
Fond du Cas
Derrière le Château
Peuble
Mantant la Fête
Raguillon
la Croix Levée
la Guerguesse
Cravone
T. de sp.
Narbois
la Tuilerie
le Tremble
le Chêne Brûlé
la Peute Ménil
Gainot
Arcelle
Pâture
Ruisseau
Bne
Cim.
Pyl.
Fme
Entrep.
Pile
Faye
Haute
Pompiers
Pré
Ruisseau
Ruisseau
Ruisseau



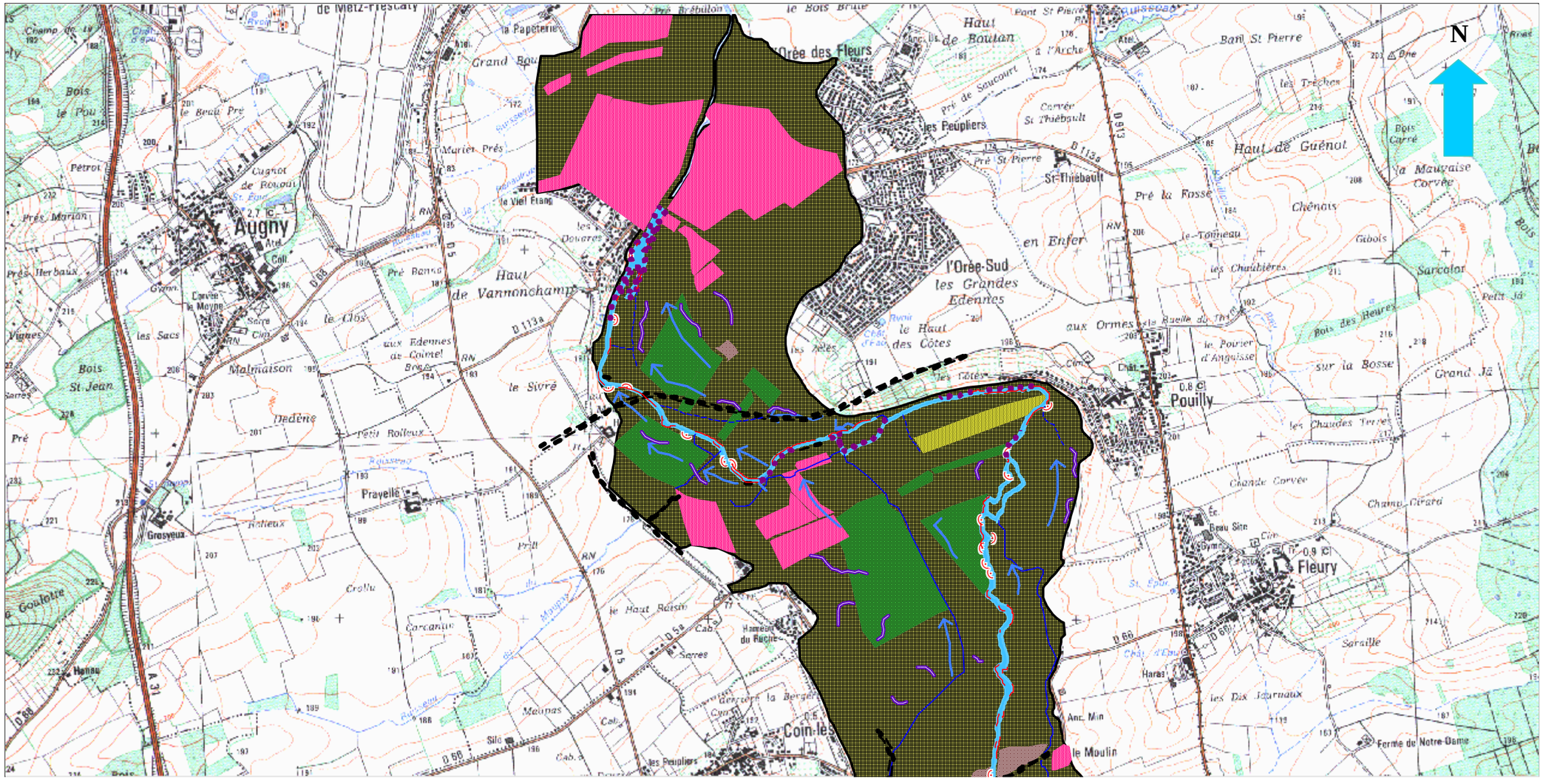
**** Planche : 82*** **** Zone : Aval, dépression Subséquente*** **** Tronçon : 15*** **** Echelle : 1/ 20 000***



**** Planche : 83*** **** Zone : Aval, dépression Subséquente*** **** Tronçon : 16*** **** Echelle : 1/ 20 000***



**** Planche : 84*** **** Zone : Aval, dépression Subséquente*** **** Tronçons : 16 et 17*** **** Echelle : 1/ 20 000***



**** Planche :85*** **** Zone : Aval, dépression Subséquente*** **** Tronçon : 17*** **** Echelle : 1/ 20 000***

Légende de la cartographie du lit majeur de la Seille 1967/1968 à 2003

FORMES ANTERIEURES

Ancien lit de la Seille (marqué)

Vestiges d'anciens lit (peu marqués)

FORMES VIVES

Drains construits

Chenaux de crue

Ruisseau affluents

Plan d'eau

Lit mineur

Zones marécageuze

OCCUPATION DU SOL

Extension des espaces construites

Des prairies transformés à des Terres labourées

Développement des espaces boisés

Des terres labourées transformés à des prairies

MORPHOLOGIES FLUVIALES

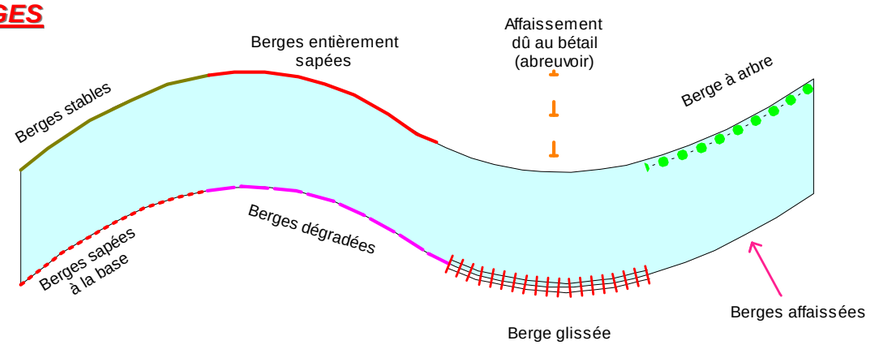
Berges marquées par la dynamique

Berges aménagées

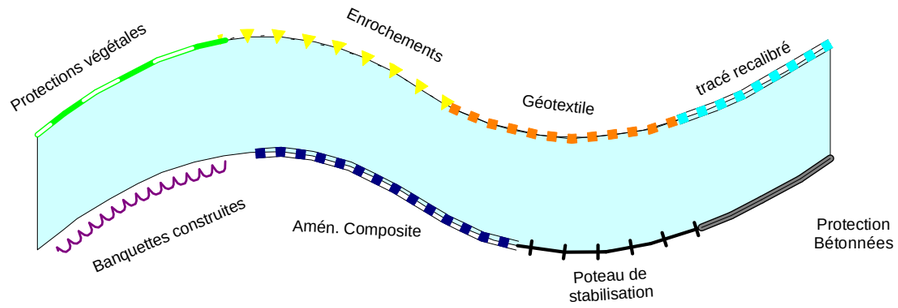
Digues ou remblais

Légende de la cartographie des morphologies fluviales

BERGES



AMENAGEMENTS



LIT MINEUR

