Régions • Auvergne • Bourgogne • Centre • Languedoc-Roussillon • Limousin • Pays de la Loire
Départements • Allier • Ardèche • Cher • Creuse • Indre-et-Loire • Loir-et-Cher • Loire • Haute-Loire • Loire-Atlantique • Loiret • Lozère • Maine-et-Loire • Nièvre • Puy-de-Dôme • Saône-et-Loire • Haute-Vienne Villes et Agglos • Angers • Blois •

ETABLISSEMENT PUBLIC LOIRE

Bourges • Châteauroux • Clermont Communauté • Joué-Lès-Tours • Limoges • Montluçon • Nantes Métropole • Nevers • Orléans • Saint-Etienne-Métropole • Saint-Nazaire • Le Grand Roanne • Saumur • Tours • Vichy • Vierzon SICALA • Allier • Cher • Indre-et-Loire • Loir-et-Cher • Haute-Loire • Loiret • Maine-et-Loire • Nièvre • Saône-et-Loire

PROJET-TEST DE PLAN DE GESTION DES RISQUES D'INONDATION EN LOIRE MOYENNE

Etat des lieux en Loire moyenne

Document de travail

Version 1.1

Juin 2009

l'Europe s'engage dans le bassin de la Loire avec le FEDER

ETABLISSEMENT PUBLIC LOIRE

Le projet-test de plan de gestion est cofinancé par l'Union Européenne

SOMMAIRE

Préambule **3**

A. Le territoire de la démarche **4**
1. Périmètre retenu 4
2. Le fleuve 5
   a. Hydrographie 5
   b. Morphologie et dynamique du lit de la Loire 6
3. Occupation et aménagement de la vallée 7
   a. Les vals et les systèmes de protection contre les inondations 7
   b. L'occupation des vals 11
   c. Les usages du fleuve 12

B. Crues et inondations en Loire moyenne **14**
1. Les crues de la Loire 14
   a. Régime hydrologique et phénomènes météorologiques 14
   b. L'impact du barrage de Villerest 15
   c. Les crues de référence 16
2. L'inondation des vals 18
   a. Inondation liée aux crues de la Loire et de ses affluents 18
   b. Autres causes d'inondation dans les vals 22
   c. Impacts de l'évolution du lit 23
   d. Les zones inondables par les crues de la Loire 25
3. Evénements passés, évolutions futures et scénarios 26
   a. Les crues historiques de la Loire 26
   b. Conséquences du changement climatique sur le régime des crues 28
   c. Les scénarios de référence au sens de la directive 29

C. Conséquences potentielles des inondations **31**
1. Des enjeux exposés de plus en plus nombreux 31
   a. Les enjeux 31
   b. L'évolution des enjeux 37
2. Un territoire plus large potentiellement impactés 37
   a. Secteurs impactés non inondés 37
   b. Fonctionnement des réseaux et phénomène d'interdépendance 37
3. Les conséquences prévisibles de l'inondation 38
   a. Santé humaine 38
   b. Environnement 38
   c. Patrimoine culturel 39
   d. Activités économiques 40
   e. Evaluation des dommages 40

D. Glossaire **41**
E. Bibliographie **43**
F. Annexes **48**

Préambule

La directive 2007/60/EC du 23 octobre 2007 du Parlement européen et du Conseil relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation est une des composantes du programme d'actions de l'Union européenne pour la gestion des inondations qui résulte d'une prise de conscience et d'un travail important mené par les états membres et la Commission pour encourager la solidarité et viser un niveau de gestion du risque d'inondation ambitieux en Europe. En établissant un cadre pour l'évaluation et la gestion des risques d'inondation, elle tend à amener les Etats membres à réduire les conséquences négatives sur la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique liées aux inondations.

Ce texte, qui s'appui en partie sur la directive cadre sur l'eau, s'articule autour de trois grands objectifs qui se déclinent à l'échelon du district hydrographique ou de l'unité de gestion considérée, auxquels sont associés des délais de réalisation :

- L'évaluation préliminaire des risques d'inondation (décembre 2011),
- L'établissement de cartes des zones inondables et des risques d'inondation pour les crues de faible, moyenne et forte probabilité (décembre 2013),
- L'élaboration de plans de gestion des risques d'inondation présentant les objectifs de gestion fixés et les mesures retenues pour les atteindre (décembre 2015).

La directive « inondation » doit être transposée en droit français avant le 26 novembre 2009.

Dans le cadre du Plan Loire 2007-2013 et en accord avec la DIREN de bassin Loire-Bretagne, l'Etablissement Public Loire a proposé de travailler de manière pilote à l'élaboration d'un **projet test de plan de gestion des risques d'inondation sur le territoire de la Loire moyenne**, au sens de la directive inondation.

Cette démarche pilote à deux objectifs :

- Apporter une réflexion méthodologique sur la mise en œuvre de la directive dans le cadre de sa transposition,
- Préparer l'élaboration d'un futur plan de gestion des inondations en Loire moyenne.

Pour cela, il est prévu de la réalisation d'un document test de plan de gestion d'ici fin 2009 qui précisera les questions rencontrées, les choix possibles, les options prises et les concertations menées. Ce document pourra être utilisé par le Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire (MEEDDAT) en vue de la rédaction d'un guide méthodologique pour la mise en œuvre de la directive inondation au plan national.

Ce travail, qui intègrera l'ensemble des démarches précédemment engagées ou en cours, est mené en partenariat avec la DIREN de bassin Loire-Bretagne et le MEEDDAT, en y associant les nombreux acteurs concernés par cette problématique. Dans cette optique, un groupe technique élargi composé principalement de représentants volontaires des collectivités territoriales de la Loire moyenne et de services de l'Etat a été constitué en 2008. Sa composition n'est pas figée et est destinée à évoluer au cours de l'avancement de la démarche.

Le présent document, intitulé « Etat des lieux », constitue la première étape de ce travail. Il fourni une description du contexte et des enjeux liés à la problématique des inondations sur le territoire d'application de la démarche, ainsi qu'une synthèse sommaire des connaissances et des informations disponibles sur ce sujet aujourd'hui. Il fourni également une réflexion sur la méthodologie et les points éventuels à approfondir en vue de l'application de la directive « inondation » et de l'élaboration d'un futur plan de gestion.

L'objectif de ce document est ainsi d'établir une base de connaissance commune sur laquelle il pourra être utile de s'appuyer pour mener les réflexions et conduire les étapes ultérieures de la démarche.

A. Le territoire de la démarche

1. Périmètre retenu

Il est d'usage de nommer « Loire moyenne » le territoire de la vallée de la Loire la situé entre l'agglomération de Nevers et la confluence avec l'Allier, à l'amont, et l'agglomération d'Angers et la confluence avec la Maine, à l'aval. Ce tronçon médian du fleuve est ainsi encadré par la Loire amont (de la source à la Loire bourguignonne) et la Loire aval, du bec de Maine à l'estuaire. Ce territoire, qui a la particularité d'être protégé des crues de la Loire sur la quasi totalité de son linéaire par des digues, accueille notamment les agglomérations d'Orléans, de Blois, de Tours et de Saumur et constitue le secteur à plus forts enjeux du bassin de la Loire en terme de risque d'inondation.

Les études menées sur ce territoire par l'équipe pluridisciplinaire du plan Loire dans le cadre des deux premiers volets du plan Loire[1] ont montré que l'exposition de celui-ci aux fortes crues de la Loire représente un risque majeur au niveau national.

Il existe cependant une variante à la cette sectorisation de la « Loire moyenne ». Les rapports de M. Jean Chapon[2] et le SDAGE du Bassin Loire Bretagne[3] l'arrêtent en effet à la confluence avec la Vienne (entre Tours et Angers) pour des raisons qui peuvent être administratives, hydrologiques ou pratiques.

Il a été retenu que la présente démarche pilote porterait sur ce dernier périmètre, c'est-à-dire « l'ensemble du bassin versant compris entre le Bec d'Allier et l'amont du Bec de Vienne »[4], ce qui correspond à la partie de la Loire moyenne située principalement en région Centre, entre l'agglomération de Nevers et la limite des département d'Indre-et-Loire (37) et de Maine-et-Loire (49).

Nota : dans la suite de ce document, les informations fournies pourront éventuellement concerner le secteur « Loire moyenne » plus large évoqué plus haut.

<u>Point méthodologique / commentaire :</u>

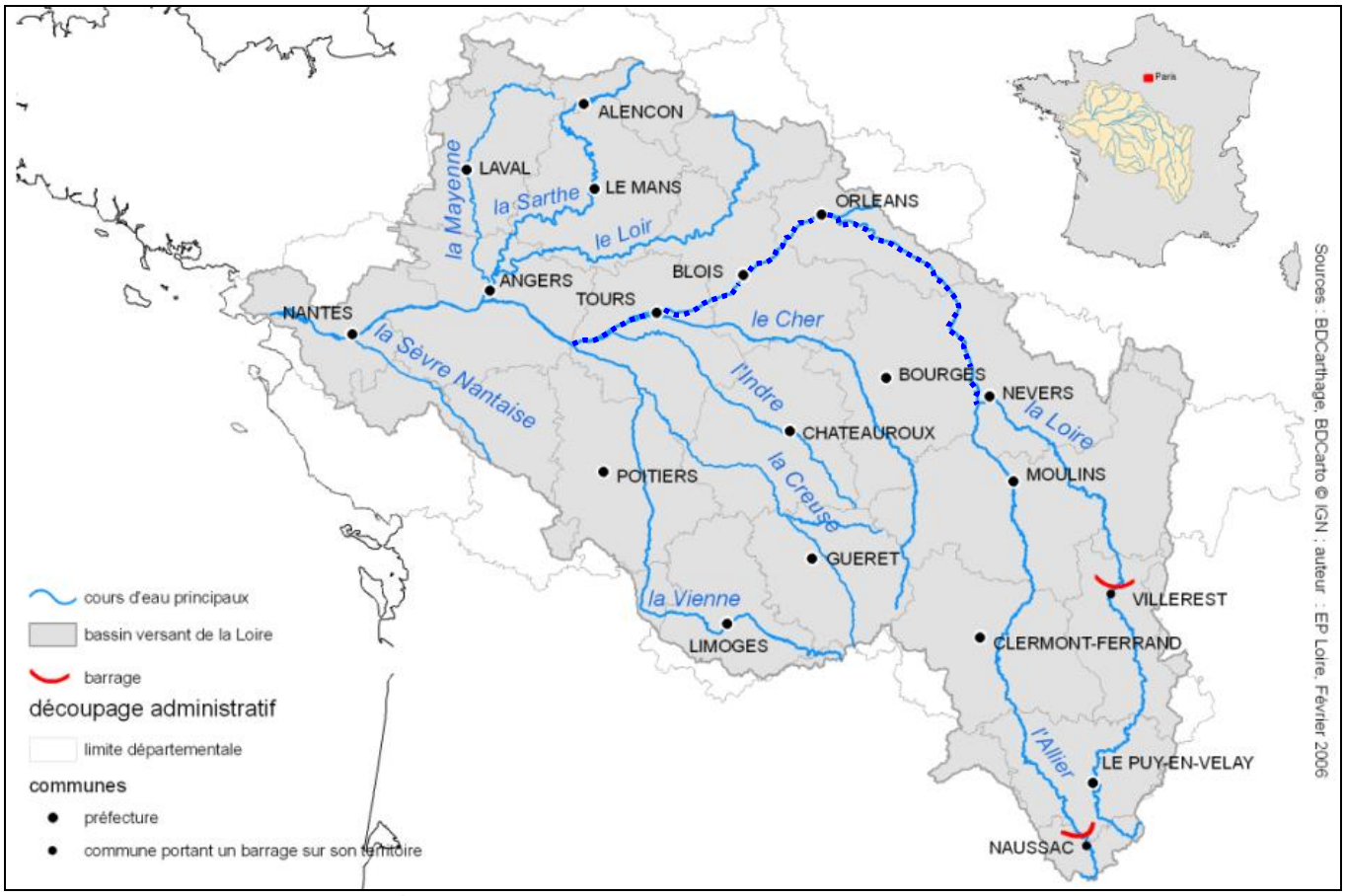
La directive inondation distingue deux échelons territoriaux principaux d'application ; le *district hydrographique* et *l'unité de gestion* (DI article 3). Le territoire de la Loire moyenne est inclus dans le bassin de la Loire qui constitue l'entité principale du district hydrographique Loire-Bretagne au sens de la directive cadre sur l'eau (cf. carte en annexe)

En fonction des dispositions retenues au niveau national, il est donc possible que l'échelon de territoire de mise en œuvre de la directive inondation soit plus large que celui retenu pour cette démarche.

Il est proposé ici de travailler sur un territoire plus restreint afin de limiter le volume des investigations et de se concentrer a priori sur une zone pour laquelle des *risques potentiels importants d'inondation existent* (DI article 5) compte tenu des informations disponibles.

[1] Sur les périodes 1994-1999 et 2000-2006.
[2] « Protection et aménagement intégré de la vallée de la Loire », Ministère de l'environnement et du cadre de vie, décembre 1979.
[3] Ce secteur géographique correspond au territoire des commissions « Loire moyenne et affluents » et « Loire val moyen » suivant le découpage du district instauré par le Comité de bassin Loire-Bretagne (cf. Etat des lieux du bassin Loire-Bretagne et l'annexe carte du district Loire-Bretagne).
[4] Cf. courrier DIREN Centre du 25 avril 2008 en annexe.

Il est à noter par ailleurs que si les inondations provoquent des désordres conséquents à l'intérieur des zones inondées (ici les vals de Loire), il faut garder à l'esprit qu'elles peuvent également avoir un impact important sur un périmètre plus large, en raison notamment des perturbations éventuelles des réseaux, des activités et des services causées indirectement par l'inondation. Il est donc nécessaire d'intégrer au mieux dans la réflexion l'ensemble des territoires susceptibles d'être impactés indirectement par l'inondation.



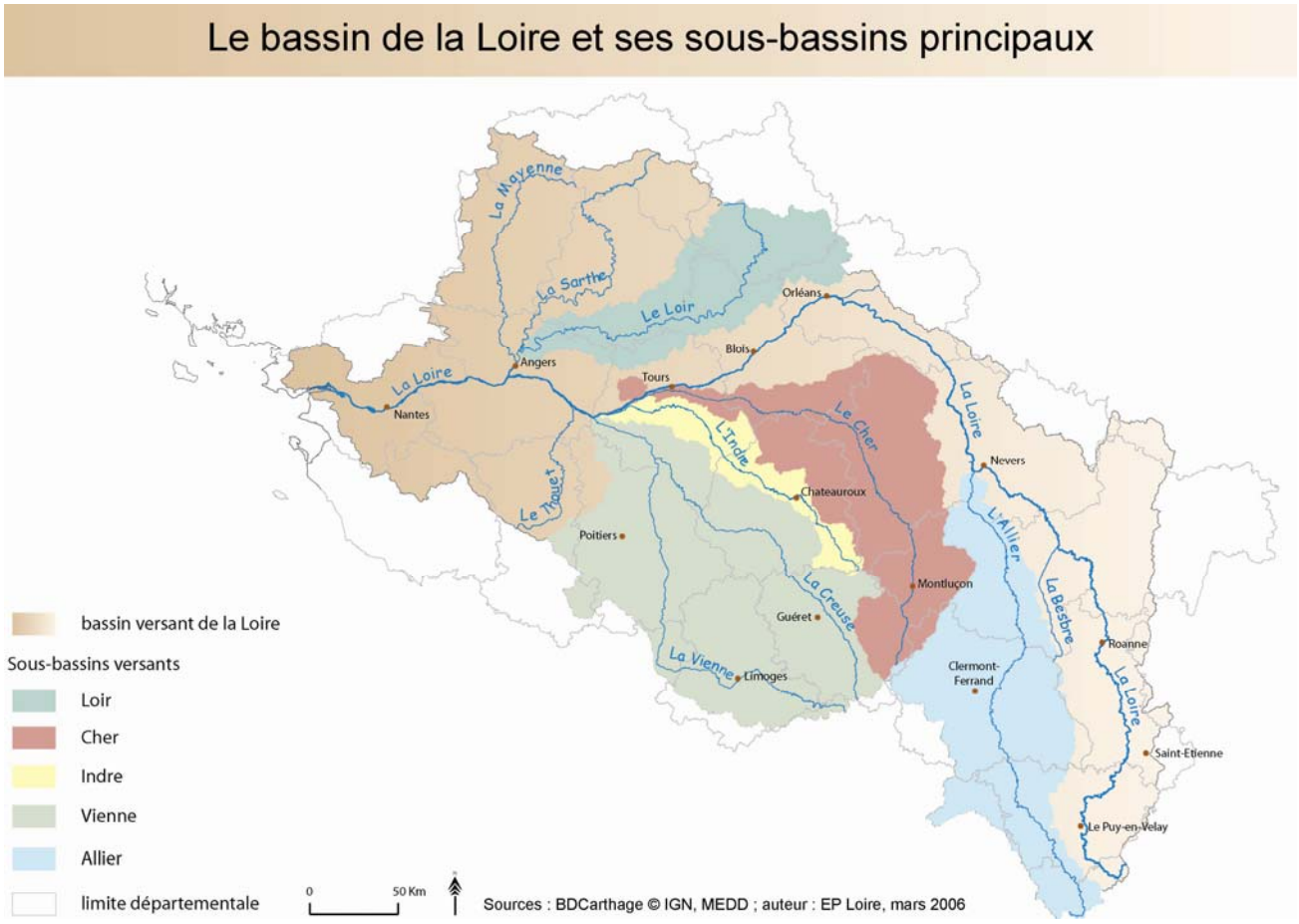
Le bassin et le réseau hydrographique de la Loire et de ses affluents

2. Le fleuve

a. Hydrographie

La Loire est un fleuve long de 1 020 km, ce qui en fait le plus long fleuve de France. Il prend sa source en Ardèche au mont Gerbier de Jonc et se jette dans l'océan Atlantique à St Nazaire. Son bassin versant s'étend sur une superficie de 117 000 km², soit sur près d'un cinquième du territoire français.

D'amont en aval, ses principaux affluents sont l'Allier, le Cher l'Indre, la Vienne et la Maine. La Loire ne reçoit que très peu d'apports entre le bec d'Allier et la confluence avec le Cher en aval de Tours. Le cher, l'Indre, la Maine et la Vienne multiplient la surface de bassin versant drainé par 2,6.



Sur ce bassin, les précipitations sont comprises entre 500 mm d'eau et 1 800 mm d'eau par an avec des situations très contrastées (influences océaniques, méditerranéennes et continentales) les plus fortes précipitations étant observées sur les deux massifs montagneux anciens, aux extrémités du bassin.

b. Morphologie et dynamique du lit de la Loire

En Loire moyenne, la pente de la ligne d'eau de crue est forte, de l'ordre de 40 cm par km. Les cotes sont de 172 mNGF au bec d'Allier, 93 mNGF à Orléans, 47 mNGF à Tours et 18 mNGF à Tours.

Le régime hydraulique du bassin de la Loire a été fortement influencé par l'action humaine. En particulier, en Loire moyenne, la superficie des plaines inondables a été réduite en raison de la construction de digues, réduisant d'autant la capacité d'écoulement pendant les crues. Sur certains secteurs où le lit majeur naturel présentait historiquement une largeur de 6 à 8 km, les écoulements sont aujourd'hui contraints entre deux digues dans un couloir de 300 m.

Le lit de la Loire est principalement constitué de sable et est très mobile. Sur son parcours en Loire moyenne, la Loire est endiguée, ce qui empêche la divagation naturelle de son lit et confère une grande vitesse aux eaux de crue ainsi qu'un grand pouvoir d'érosion.

Les ouvrages de navigation, les barrages amont et l'endiguement ont provoqué une restriction de l'apport en sédiments dans le lit. Cette diminution des ressources conjuguée à l'extraction intensive de matériaux au cours du 20ème siècle, aujourd'hui interdite, ont provoqué l'incision du lit mineur qui s'est enfoncé d'environ un mètre près du bec d'Allier et de plus de deux mètres en aval d'Orléans (environs de Mareau-aux-Près), de deux mètres à Tours, d'environ un mètre à Saumur et de trois mètres à Ancenis. L'analyse de l'évolution de la ligne d'eau d'étiage depuis 1996 montre que cette tendance à l'enfoncée s'est ralentie mais se poursuit encore sur la

majorité des secteurs. La tendance n'est cependant pas uniforme sur l'ensemble du linéaire et des tronçons s'incisent tandis que d'autres vont s'exhausser.

L'enfoncement du lit, ainsi que l'arrêt de l'entretien de la végétation après l'arrêt de la navigation, a entraîné un encombrement des bras secondaires qui n'étaient plus submergés pour les petits débits. Les systèmes de bras secondaires de la Loire ont pour la plupart disparus au cours des dernières décennies, au profit d'îles ou de forêts.

L'outil SIEL : système d'information pour le suivi de l'évolution du lit de la Loire :

Le Système d'Information et d'Evolution du Lit (SIEL) de la Loire et de ses principaux affluents est un outil mis à la disposition des gestionnaires par la DIREN Centre pour suivre les modifications du fleuve, améliorer les connaissances et ainsi adapter efficacement aux besoins les interventions dans le lit.
Le SIEL est né à la suite du constat d'une dégradation progressive et d'un enfoncement du lit mineur de la Loire depuis le XIXème.
Il s'agit d'un outil de gestion et de mise à disposition de données telles que les images aériennes, les relevés topographiques (profils en travers, semis de points…) et de relevés de lignes d'eau, mais également de produits élaborés à partir des images aériennes comme les cartes de situation, les cartes de végétation et les cartes de morphologies.

Point méthodologique :

Objectif
L'objectif de ce paragraphe est de caractériser l'évolution du lit et de la végétation du cours d'eau, afin de prendre en compte cet aspect pouvant être important sur le secteur.
L'impact de l'évolution de la morphologie sur l'inondation sera présenté dans le paragraphe B.2.c.

Les phénomènes à considérer
Evolution de la végétation
Evolution du profil en long (incision, sédimentation, apparition d'îles)
Evolution du tracé du cours d'eau (divagation, méandres, etc.)
Le transport solide
Les aménagements du lit mineur

Comprendre l'évolution passée et prévoir l'évolution à venir
Rechercher les évènements passés ayant influés sur la morphologie actuelle (extraction dans le lit, ouvrages de canalisation ou de ralentissement de l'écoulement, etc.).
Caractériser l'évolution de la morphologie et de la végétation du cours d'eau (observation terrain, photos aériennes, etc.).
Rechercher les études locales ou globales traitant du transport solide ou de l'évolution du lit.

3. Occupation et aménagement de la vallée

a. Les vals et les systèmes de protection contre les inondations

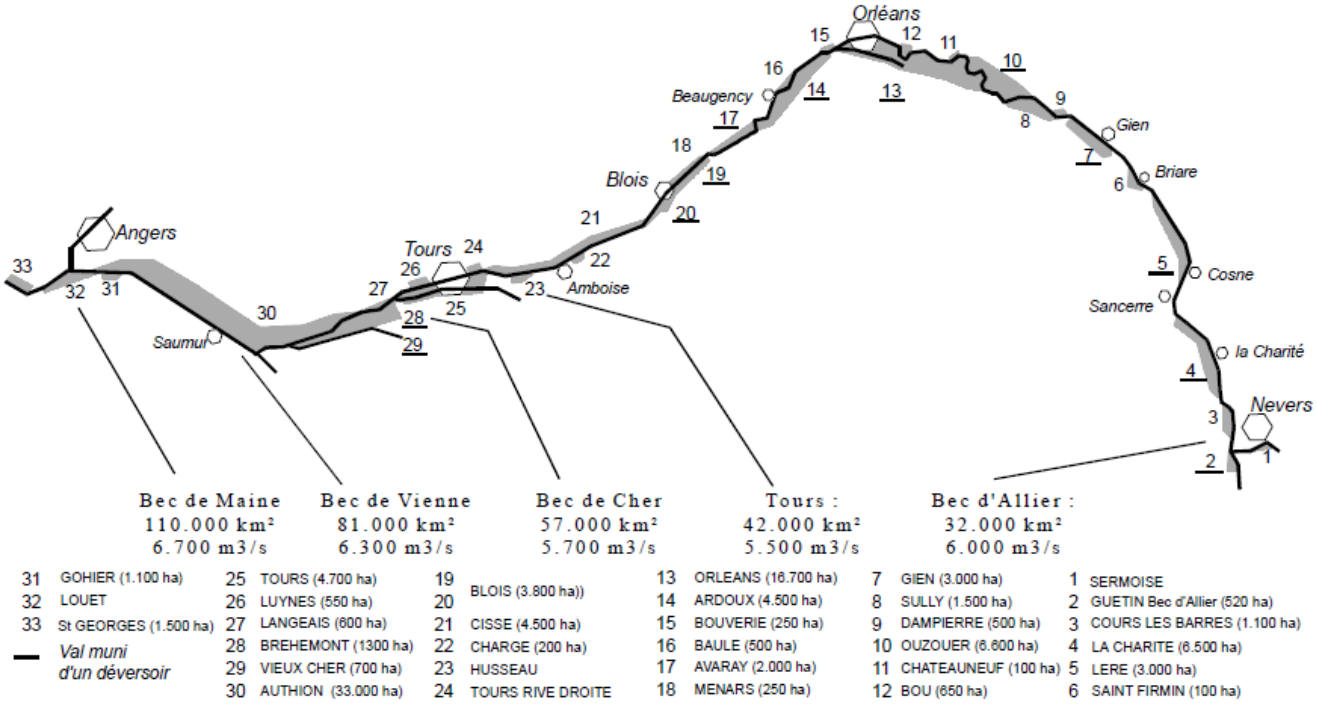
Point méthodologique :

Objectif
Description du système de protection actuel et de son historique. L'historique permet d'apporter des informations sur les techniques de construction des ouvrages et les éventuelles renforcements ou réparations qu'ils ont subit.

Ce paragraphe est nécessaire afin de préparer l'analyse ultérieure du système de protection existant et notamment d'en comprendre le fonctionnement et d'en présenter les limites et les dysfonctionnements.

Les différents vals :

Le mot val désignait à l'origine l'ensemble des terrains formant la plaine alluviale. L'expression entrée dans le langage populaire a été promue ensuite par les ingénieurs, aux XVIIe et XVIIIe siècles, pour désigner le territoire à défendre contre les inondations de la Loire et formaliser un découpage artificiel. Le mot val désigne depuis la partie de la plaine alluviale située derrière une digue.
La Loire entre le Bec d'Allier et le Bec de Maine a été découpé en 33 vals par l'équipe PLGN.



Extrait du document « Synthèse des propositions pour une stratégie globale de réduction des risques d'inondation par les crues fortes en Loire moyenne », Equipe PLGN, 1999

Historique du système de protection contre les crues en Loire moyenne :

Les traces les plus anciennes d'ouvrages de protection se retrouvent en Loire angevine et remonteraient au 8ème siècle. Leur unique fonction était de ralentir les courants lors des inondations et de protéger les cultures.

Le système de digues tel qu'il existe aujourd'hui sur la Loire est le produit d'un long processus de construction, d'extension et de rehaussement débuté au 12ème siècle avec la grande levée d'Anjou et qui se poursuit jusqu'au 19ème siècle. Les cités ligériennes ont contribué à l'extension des ouvrages pour faciliter la navigation à proximité de leurs ports.

Au 17ème siècle, avec la prise en main de la gestion du fleuve par le pouvoir royal, les ouvrages sont désormais pensés de manière globale et les dispositions sont identiques d'une région à l'autre. L'objectif consiste alors à parvenir à un système de protection insubmersible à l'échelle de l'ensemble de la Loire moyenne. Les crues de 1709, 1710 et 1711 empêchent le déroulement des travaux et le programme est abandonné.

Au 19ème siècle s'engage une nouvelle ère de grands travaux sur le val de Loire. Les régions où la Loire est encore peu endiguée profitent en particulier de cette nouvelle phase de construction ; les levées sont exhaussées une nouvelle fois de près de 50 centimètres sur toute la Loire moyenne, après le passage de la crue catastrophique de 1790.

Vers 1830, les ingénieurs estiment que le problème de la sécurité sur le val est définitivement résolu et se concentrent sur la réalisation d'ouvrage destinés à améliorer la navigabilité du fleuve.

Les crues exceptionnelles qui touchent de manière répétée le val de Loire en 1846, 1856, 1866 forcent à reconsidérer l'ensemble du système et aboutissent au programme de travaux de 1867 qui prévoit en particulier la création de déversoirs pour protéger les grands vals habités de la Loire moyenne.

Les ouvrages projetés ont été soumis à enquête publique et la plupart d'entre eux n'ont pas pu être réalisés. Le programme a finalement été abandonné en 1920.

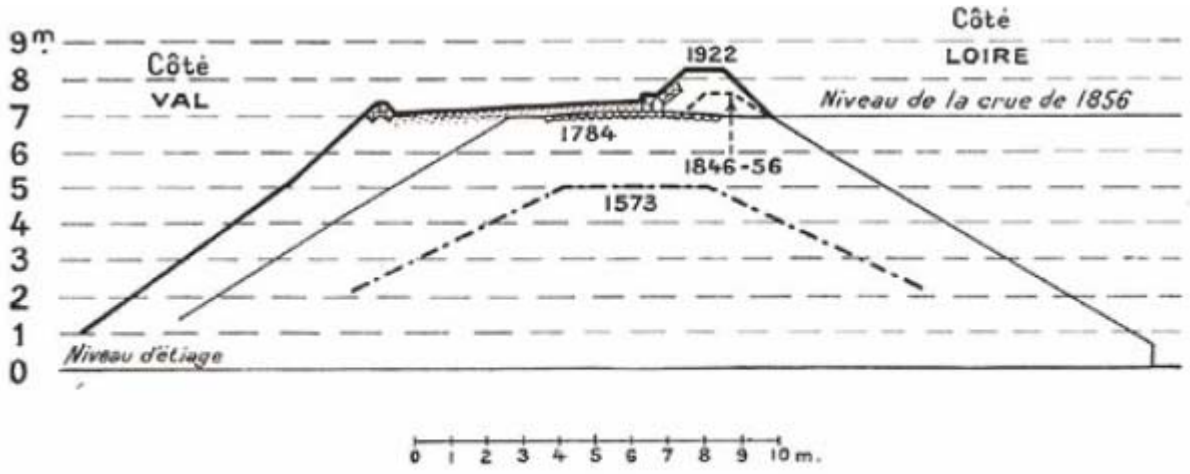
A partir des années 1960, l'aménagement des barrages en Loire amont devient la priorité et un programme général de renforcement des levées est lancé en 1970. Le barrage écrêteur de crue de Villerest est ainsi mis en service au début des années 1980. La politique évolue et les projets de Serre-de-la-Fare en Haute-Loire et Chambonchard sur le Cher sont abandonnés dans le courant des années 1990. Le projet du Veurdre sur l'Allier est mis en attente au début des années 2000.

Le système actuel est donc le résultat d'actions engagées depuis des siècles et dont les programmes n'ont pas été achevés. A cela s'ajoute l'évolution du lit qui a provoqué un dérèglement du système de protection initialement conçu.

<u>Les ouvrages de protection :</u>

- Les digues :

Les digues de la Loire sont des ouvrages en remblai de terre (allant du limon au sable, parfois même au gravier). Ce sont des ouvrages construits par étapes à plusieurs périodes de l'histoire, en fonction de l'évolution des usages du fleuve ou des besoins de protection.



Evolution du profil de la levée depuis le 16ème siècle - Roger Dion - Histoire des levées de la Loire - 1961

L'absence de moyens lourds de terrassement lors de leur construction fait que ces digues en remblais sont édifiées généralement avec les matériaux présents sur place. La variabilité des

matériaux peut donc être importante, y compris le long d'un même cours d'eau. Souvent, ces remblais ont été constitués sans dispositif particulier de drainage interne ou d'étanchéité.

L'absence de moyens lourds de compactage et de moyens d'excavation lors de la construction a conduit à des remblais de relativement faible compacité, sans ancrage particulier dans la fondation, laquelle n'a généralement pas fait l'objet de traitement particulier pour assurer son étanchéité.

Techniques de protection de ces ouvrages :

- Dans les zones les plus exposées aux affouillements, des protections parafouilles ont été parfois réalisées,
- La protection des talus est en générale assurée par un enherbement ; coté fleuve, notamment dans les secteurs urbanisés, un perré en maçonnerie peut assurer la protection des sections en contact avec le lit mineur,
- L'objectif d'assurer une certaine sécurité vis-à-vis de la surverse a conduit, sur certaines sections, à surélever la crête des digues par des rehausses étroites (les « banquettes ») constituées d'un merlon de terre ou d'une murette en maçonnerie, implantée en crête de l'ouvrage, généralement côté fleuve.

L'outil SIRS digues :

Afin d'améliorer la gestion du patrimoine d'information de leurs digues, trois gestionnaires locaux, le SYNADREM en Camargue, la DIREN Centre dans le Loiret et l'AD-IDR en Isère, ont financé le développement d'un système d'information à Références Spatiales appelé SIRS digues, avec l'appui et l'assistance du CEMAGREF. Cet outil informatique, qui associe un SIG et une base de données, permet de gérer les informations sur les différents composants du système « digue » : structure et géométrie de la digue et du lit du cours d'eau, ouvrages hydrauliques, réseaux de communication, de flux et d'énergie, désordres, historique des crues, parcellaire foncier, travaux et études, organismes et intervenants.

La base de données BarDigues :

BarDigues est une base de données recensant les ouvrages hydrauliques nationaux relevant du livre 2 du code de l'environnement dits « ouvrages loi sur l'eau », contenant les caractéristiques administratives et techniques, l'état de connaissance et d'entretien des ouvrages, et les zones inondables qu'ils sont censés protéger. Elle émane, pour les digues, d'une volonté du ministère de l'Environnement de 1994 après constatation de la situation précaire des digues de protection contre les inondations (entretien souvent insuffisant, vétusté, méconnaissance), afin d'avoir une idée précise du parc des ouvrages concernés à l'échelle nationale et d'identifier les menaces que peuvent présenter certains d'entre eux. Cette base de données n'est accessible qu'aux services de l'Etat intervenant pour le compte du ministère de l'écologie.

- Les déversoirs :

Un déversoir est une section aménagée du linéaire d'une digue conçue pour déverser avant l'occurrence d'une surverse sur le reste de la digue. Cet ouvrage permet ainsi de réduire le risque de brèche.

Les vals de Loire moyenne sont équipés de 13 déversoirs :

Secteur	Déversoir	Année de construction
Nevers - Gien	Guétin	1870
	Herry (Passy)	avant 1850
	Léré (La Madeleine)	avant 1850
	St Martin-sur-Ocre	avant 1850
Gien - Orléans	Pierrelaye	1867
	Ouzouer	1886

	Jargeau	1882
Orléans - Blois	Mazan	avant 1850
	Avaray	1887
	Montlivaut	1890
	La Bouillie	avant 1850
Tours - Langeais	La Chapelle-aux-Naux	1891
	Vieux-Cher	1891

Source : « Quelle place pour les riverains dans la gestion des inondations de la Loire – Les leçons du passé », Octobre 2008

b. L'occupation des vals

Les éléments qui suivent sont extraits du document « Synthèse des propositions pour une stratégie globale de réduction des risques d'inondation par les crues fortes en Loire moyenne », Equipe PLGN, 1999.

Population
Aujourd'hui, les vals de Loire moyenne entre Nevers et Angers abritent, sur les 110000 ha que la crue de 1856 a entièrement inondés sous des hauteurs de 1 à 4 m d'eau, 300000 personnes, habitant 240 communes recensées le long du fleuve et de ses affluents. Cette population est près de dix fois supérieure à celle du siècle dernier.

Activités économiques
13600 entreprises sont implantées en zone inondable, dont 13100 sont des PME de moins de vingt salariés. Ces implantations relativement récentes n'ont donc jamais eu l'expérience d'une crue, dans ce secteur où, en amont de la Vienne, la dernière crue décennale date de 1982 et la dernière cinquantennale de 1907.
87000 ha sont mis en valeur par l'agriculture. 10 % de cette superficie concerne des cultures spécialisées importantes pour l'économie régionale : maraîchage, horticulture, cultures semencières, verger, vigne.

Equipements publics et réseaux
Les 240 communes abritent environ 1560 équipements publics et près de 4000 transformateurs EdF inondables. A cela s'ajoute les voiries et voies SNCF, les réseaux d'eau et leurs équipements et les réseaux téléphoniques.

Environnement
Dans les vals endigués, l'Equipe a recensé 69 sites d'intérêt écologique reconnu ou potentiel, couvrant 17.250 ha, soit 12 % de la surface.
Au sein des 32.000 ha du lit endigué, les zones naturelles d'intérêt écologique, floristique, faunistique ou ornithologique (Znieff ou Zico), les réserves naturelles et les arrêtés de biotope couvrent 19.000 ha, soit 60 % de la surface. Le périmètre proposé dans le cadre de l'élaboration de Natura 2000 représente 83 % du lit endigué, soit 26.400 ha. On peut donc considérer que l'ensemble du lit majeur endigué présente un intérêt écologique reconnu ou potentiel.

Patrimoine culturel
11204 communes abritent 655 Monuments Historiques, dont 216 (soit près du tiers) sont susceptibles d'être inondés, en particulier 7 ponts, 72 édifices religieux, 44 manoirs et châteaux, 69 maisons et immeubles et 24 monuments divers. On dénombre aussi 110 cales et ports, qui seront les premiers touchés.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Les recensements d'enjeux datent pour la plupart de 15 à 20 ans. Par ailleurs, depuis 1994 une nouvelle politique a été mise en place pour limiter l'urbanisation en zone inondable. L'impact de

cette nouvelle politique et l'évolution récente de l'urbanisation en zone inondable n'est pas encore évaluée.

Point méthodologique :

Objectif
Présentation à l'échelle du secteur des grands chiffres d'occupation des sols et d'enjeux.

Les chiffres clés du territoire
Le nombre d'habitants/logements
Le nombre d'entreprises et les activités agricoles
Les équipements publics
Les milieux naturels sensibles
Les biens patrimoniaux
La structuration des réseaux

Obtenir ces chiffres
Contact avec les assurances, Chambre des métiers, de commerce et d'agriculture, INSEE, DIREN, DRIRE, etc.
Recensement par communes des enjeux, notamment lors de l'élaboration des PCS.

c. Les usages du fleuve

La navigation

Le fleuve n'est plus utilisé aujourd'hui pour la navigation commerciale. Une des raisons en est que la profondeur d'eau pendant l'étiage n'est généralement pas suffisante pour la traversée en sécurité des navires. C'est pour cette raison que des canaux comme le Canal Latéral à la Loire ont été développés. Pour la navigation de loisir, la Loire n'a été que récemment "redécouverte" : de nouvelles initiatives ont été lancées pour attirer davantage de navires de plaisance sur le fleuve.

Loisirs

Les zones humides, les lacs-réservoirs et le fleuve lui-même offrent des opportunités considérables de loisirs. Les activités populaires sont la chasse, la pêche, le camping, le canoë Kayak, les promenades et l'observation des oiseaux. Les loisirs fluviaux ont une importance considérable pour l'économie des communautés locales.
Ces dernières années, plusieurs initiatives ont été lancées afin de simuler l'utilisation récréative du fleuve et du corridor fluvial, qui n'est considérée à ce jour que comme modeste.

Production d'énergie hydraulique

Les réservoirs du haut bassin de la Loire sont utilisés pour la protection contre les crues et le stockage d'eau pour une utilisation pendant la saison sèche de l'été. Certains permettent également la production d'énergie hydroélectrique, un avantage secondaire important.
Il n'y a pas d'installation de production d'énergie hydraulique en Loire moyenne.

Alimentation en eau potable et industrielle

Le fleuve est une source d'eau potable et industrielle : eau de traitement et de refroidissement et irrigation. La quantité d'eau extraite pour ces utilisations est faible par rapport au débit fluvial

(sauf pendant les périodes sèches prolongées). Aussi longtemps que l'eau prélevée (après un traitement approprié) retourne au fleuve, cette utilisation de l'eau peut être considérée comme ayant une importance mineure dans le bilan hydrologique global du fleuve.

Élimination des déchets et de l'eau de refroidissement

Après une utilisation industrielle ou domestique, l'eau est, dans la plupart des cas déversée dans le fleuve après traitement. Ce déversement peut avoir un effet négatif au niveau local mais la qualité de l'eau du fleuve est globalement satisfaisante. Quatre centrales électriques utilisent l'eau de la Loire, à Belleville, Dampierre en Burly, St Laurent des Eaux (à proximité de Beaugency) et à Avoine entre Bourgueil et Chinon. L'utilisation de tours de refroidissement permet d'éviter le déversement de l'eau dans le fleuve à une température plus élevée.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Le SDAGE Loire-Bretagne présentera de façon détaillée les usages de l'eau à l'échelle du bassin.

Point méthodologique :

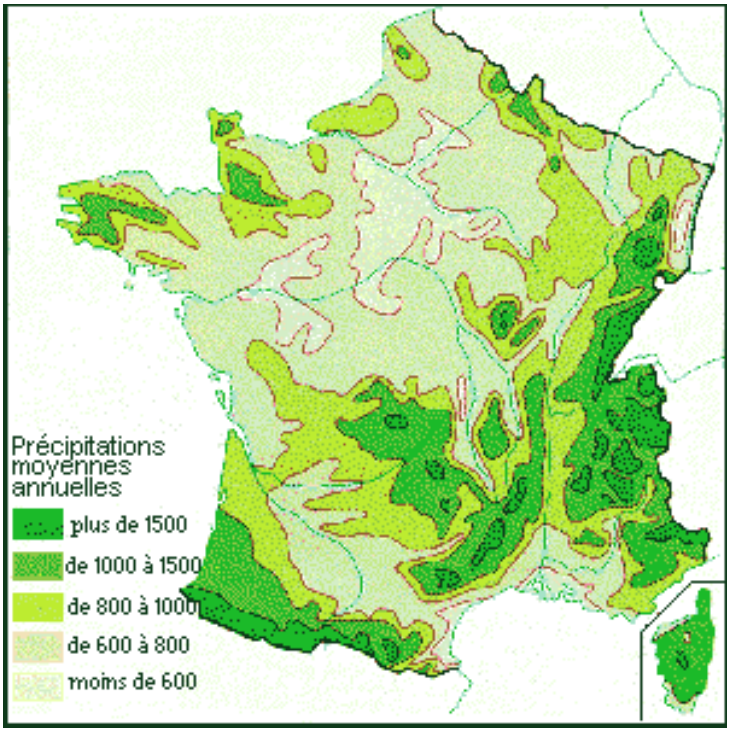
Présentation des différents usages, récréatifs ou économiques, qui pourraient être impactés en cas d'inondation.

B. Crues et inondations en Loire moyenne

1. Les crues de la Loire

a. Régime hydrologique et phénomènes météorologiques

Les pluies sur le bassin de la Loire sont essentiellement concentrées sur le massif central, le nord des Cévennes et le Morvan. Les cumuls annuels atteignent 1500 mm sur les reliefs.



Le régime hydrologique de la Loire est très contrasté. On a ainsi pu voir varier le débit du fleuve très fortement à Gien avec un débit de 11 m3/s pendant l'été 1949 et de 7000 m3/s estimés en 1856 et 1866 dans cette même ville.

La Loire moyenne débute à l'aval de la confluence entre l'Allier et la Loire amont. Les crues de Loire moyenne sont pour l'essentiel la résultante des crues de l'Allier et de la Loire amont, auxquelles s'ajoute les débits des grands affluents à l'aval de Tours (Indre, Cher, Vienne). La Loire ne reçoit que peu d'apports entre le bec d'Allier et la confluence avec le Cher en aval de Tours.
L'Allier et la Loire en amont du bec d'Allier, s'écoulent cote à cote et présentent deux morphologies et situations climatiques très proches. L'amplitude de la crue qui entre en Loire moyenne dépend fortement de la concomitance entre les débits en provenance de chacun de ces affluents.

Des volcans du Massif Central aux marais de la Grande Brière, les climats sont très contrastés. Ils engendrent trois types de crues : les crues cévenoles, les crues océaniques et les crues mixtes.

<u>Les crues cévenoles type 1980, 1996, 2008 :</u>
Ces crues sont provoquées par des orages violents et brusques et se localisent dans le haut bassin de la Loire et de l'Allier. L'Automne est une période propice aux crues cévenoles.
Des masses d'air chaud franchissent la Méditerranée et se gorgent d'eau. Elles viennent butter sur les Cévennes, puis les dépassent et restent bloquées par les Alpes. Il peut tomber près de

200 à 600 mm de pluie en 48 heures. Ces crues sont très fortes sur l'amont, mais c'est une crue faible qui arrive en Loire moyenne.

Les crues océaniques type 1982, 1995, 1998 :
Elles sont provoquées par de longues périodes de pluies océaniques et elles s'installent surtout à l'Ouest et au Nord du bassin versant.
A l'origine, une suite de dépressions vient de l'Atlantique, puis en passant au Sud provoque une crue sur la Vienne, puis sur le Cher comme en décembre 1982. Ce phénomène peut s'étendre jusqu'à l'Allier avant d'atteindre la Loire. Lors de ce type d'évènements, la pointe de crue de la Loire passe après celle de la Vienne.

Les crues mixtes, type 1846, 1856, 1866, 1907 :
Ce sont les crues les plus fortes en Loire moyenne. Elles proviennent de la conjonction des deux types d'événements cévenols et océaniques. Elles ont lieu statistiquement en mai - juin ou en octobre - novembre, voire exceptionnellement fin septembre.
Des pluies océaniques touchent l'ensemble du bassin, y compris le Nord du haut-bassin, et provoquent une petite crue océanique généralisée. Un orage cévenol survient sur le haut-bassin et engendre alors une crue qui " surfe " sur la crue océanique.
Pour ces évènements forts, les crues de l'Allier et de la Loire au Bec d'Allier sont généralement concomitantes à quelques 10 heures près.

Les études conduites par l'équipe pluridisciplinaire ainsi que les études antérieures apportent l'essentiel des éléments nécessaires à la connaissance de l'hydrologie de crue en Loire moyenne.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

De nombreuses études et observations ont mené à une connaissance très complète des processus de formation des crues en Loire moyenne et de leur propagation. Pour autant des compléments pourraient être apportés par des recherches sur les configurations météorologiques et les lames d'eau précipitées lors des grandes crues, y compris pendant les mois qui les ont précédées.

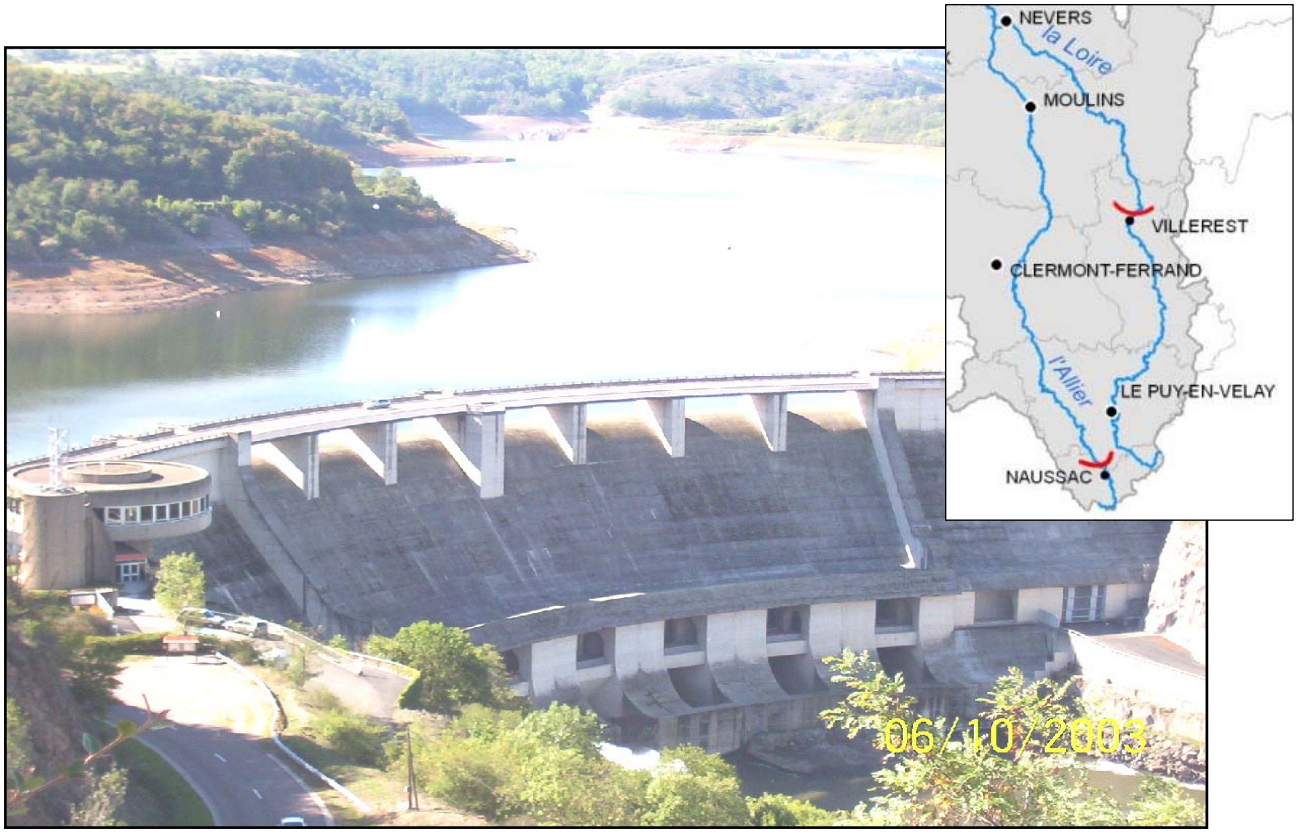
b. L'impact du barrage de Villerest

Le barrage de Villerest est opérationnel depuis 1984. Il s'agit du seul barrage ayant une fonction d'écrêtement des crues sur la Loire. Les autres barrages du bassin (dont Naussac, Grangent, etc.) ont des fonctions de soutien d'étiage ou de production hydroélectrique.

La retenue du barrage de Villerest s'étend sur 36km entre Montrond-les-Bains et Roanne. Les fonctions de l'ouvrage, définies dans le décret du 18 avril 1977 déclarant d'utilité publique les travaux de construction du barrage de Villerest, sont :

- L'écrêtement des crues de la Loire
- Le soutien d'étiage

La production d'énergie hydroélectrique est une fonction secondaire de l'ouvrage (production annuelle de 167 GWh).



Le barrage écrête les crues fortes à hauteur de 500 à 1 500 m^3/s au Bec d'Allier. La côte d'eau en Loire moyenne diminue ainsi de l'ordre de 40 à 80 cm suivant le type de crue.

Le principe de gestion du barrage consiste à contrôler le débit sortant en ouvrant plus ou moins les vannes mobiles de l'ouvrage, en fonction des débits prévus et observés à l'entrée de la retenue. Ainsi, au plus fort de la crue, le débit sortant est inférieur au débit entrant, ce qui atténue les niveaux maxima qui auraient été atteints à l'aval.

Annexe 1 : Exemples de l'effet de Villerest sur les crues de décembre 2003 et novembre 2008

c. Les crues de référence

- **<u>Les principaux évènements historiques :</u>**

Il a été relevé entre 1790 et 1960 plus de 40 crues au-dessus de 4 mètres à l'échelle de Tours, certaines ayant provoqué les inondations catastrophiques que l'on trouve relatées dans les archives.

Depuis le 19ème siècle, la Loire a connu de nombreuses crues :

- 3 crue majeures : 1846, 1856, 1866.

La crue de 1856 est la plus forte crue de Loire moyenne pour laquelle de nombreuses informations sont disponibles. Des crues plus importantes sont recensées dans le passé, mais les informations sur ces évènements sont plus disparates et donc moins exploitables.

- Plusieurs crues fortes : 1872, 1907

- Plus récemment, trois crues ont touché le haut bassin de la Loire, en 2003 et 2008. Malgré leur importance à l'amont, ces crues essentiellement cévenoles n'ont eu qu'une

amplitude limitée en Loire moyenne, en particulier grâce à l'action d'écrêtement du barrage de Villerest.

Quelques crues en Loire depuis le 19ème siècle :

Crue	Débit au bec d'Allier
Crues majeures	
1846	
1856	7 600 m^3/s
1866	
Crues fortes	
1907	5 200 m^3/s
Crues récentes	
2003	3 500 m^3/s après écrêtement
2008	2 500 m^3/s après écrêtement

- **Les débits de référence :**

Les travaux de l'Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature ont permis d'estimer les débits de pointe de crue de la Loire en entrée du secteur de la Loire moyenne au bec d'Allier, c'est-à-dire en tenant compte des apports de l'Allier, en fonction de leur probabilité d'occurrence.
En aval du bec d'Allier, les débits sont liés à l'écrêtement lié au fonctionnement des déversoirs et aux éventuelles ruptures de digues pouvant apparaître tout au long de la Loire moyenne.

Débits au Bec d'Allier en fonction de leur période de retour :

	Débit au bec d'Allier	
Temps de retour	**Naturel**	**Ecrêté par Villerest**
50 ans	5 200 m^3/s	4 200 m^3/s
70 ans	6 000 m^3/s	5 000 m^3/s
100 ans	7 000 m^3/s	6 000 m^3/s
170 ans	7 500 m^3/s	6 500 m^3/s
200 ans	8 000 m^3/s	7 000 m^3/s
500 ans	9 500 m^3/s	8 500 m^3/s

« Synthèse technique des propositions pour une stratégie globale », Equipe PLGN, 1999

Les archives montrent de nombreux cas de crues à répétitions, à l'échelle de quelques mois ou années. Après une série de 3 inondations majeures en 30ans, la Loire n'a plus subit d'évènement d'ampleur comparable depuis près de 150ans.

- **Caractéristiques de la crue :**

Les crues fortes en Loire moyenne ont des volumes d'eau très importants, de l'ordre de 2 à 3 milliards de mètres cubes écoulés en 5 à 6 jours. Ils saturent progressivement le lit endigué puis les vals.
La vitesse de propagation de l'onde de crue (pour des débits de 6 000 m^3/s à 8 500 m^3/s) est de l'ordre de 3,3 m/s, soit 80 km par jour.
Une crue se propage durant 8 jours de son arrivée au Bec d'Allier jusqu'à sa sortie aux Pont-de-Cé. Chaque site avant la confluence de la Vienne est fortement menacé pendant 3 à 4 jours. Au fur et à mesure de son écoulement, une crue, du fait de l'écrêtement, a tendance à diminuer son débit maximal tout en conservant dans le temps des débits importants. Les débits sont eux-mêmes prolongés par le retour des eaux écrêtées et par l'apport des affluents.

2. L'inondation des vals

En Loire moyenne, le type d'inondation le plus courant survient lorsque le lit habituel de la Loire ne suffit plus à écouler les eaux arrivant de l'amont (inondation par débordement). La Loire peut aussi remonter dans ses affluents lorsqu'elle est plus puissante et plus haute qu'eux (inondations par remous). Enfin l'inondation peut aussi être le fait de l'élévation de la nappe alluviale dans les vals.

Point méthodologique :

Définition de l'inondation dans la directive inondation
« Submersion temporaire par l'eau de terres qui ne sont pas submergées en temps normal. Cette notion recouvre les inondations dues aux crues des rivières, des torrents de montagne et des cours d'eau intermittents méditerranéens ainsi que les inondations dues à la mer dans les zones côtières et elle peut exclure les inondations dues aux réseaux d'égouts. » Article 2 de la directive.

Objectif
La directive européenne inondation demande de considérer les différentes natures d'inondation. Celles-ci peuvent consister en inondations par débordement direct de rivières, par crues subites, en inondations urbaines, en inondations par la mer des zones côtières, etc.
Les natures d'inondations dépendent des particularités locales et régionales.

Cas à étudier
- Les inondations par débordement ou remous
- Les inondations par défaillance des systèmes de protection
- Les autres inondations : le ruissellement et les remontées de nappes
- Les inondations par rupture d'ouvrage

a. Inondation liée aux crues de la Loire et de ses affluents

La Loire moyenne étant endigué sur une majeure partie de son linéaire, l'inondation se fait essentiellement par le fonctionnement d'un déversoir, par remous dans un affluent ou par surverse ou rupture d'une levée.

1 - Les inondations par remous

La Loire reçoit de nombreux affluents tout au long de sa traversée de la Loire moyenne. L'endiguement de la Loire provoque une concentration des eaux en cas de crue et augmente ainsi le niveau de la ligne d'eau. Les coupures dans l'endiguement au droit des secteurs de confluence ainsi que les différentielles de niveau d'eau permettent aux eaux de crue de la Loire de remonter dans les affluents, souvent sur plusieurs kilomètres. Ce phénomène concerne tous les vals hormis ceux totalement fermés tels que Saint Firmin, Briare, Bou, Sully, la Chaussée Saint-Victor, Chargé, Husseau, Tours, Luynes, Langeais, Authion et Saint-Georges.
Les secteurs inondables par remous de la Loire présentent souvent des enjeux socio-économiques importants.

Les temps de retour des inondations par remous dans les affluents de la Loire ont été estimés à l'aide du modèle hydraulique Loire moyenne par l'Equipe PLGN :

Affluent	Temps de retour
Briare - la Trézée	10 à 50 ans
Gien - la Bras	10 à 30 ans
Gien - l 'Ormette	10 à 30 ans

Canal d'Orléans	70 à 100 ans
Le Loiret	10 ans
Les Mauves	10 à 50 ans
Le Rû	10 à 50 ans
L'Ardoux	20 à 50 ans

Source : « Etudes crues Loire moyenne » Equipe PLGN, 2005

Parmi les secteurs soumis au risque d'inondation par remous, on peut citer à titre d'exemple :

- Le val d'Orléans, par remous dans le Loiret. La population vivant dans la zone de remous de la Loire dans le val d'Orléans, sur les communes de Saint-Pryvé-Saint-Mesmin, Saint-Hilaire-Saint-Mesmin et Olivet est de 5 500 personnes environ et 165 entreprises y sont implantées.

- Le val de Cisse. Dans ce val, le remous de la Loire s'étend jusqu'à Nazelles-Négron pour une crue cinq-centennale. Au total 2 500 personnes vivent dans cette partie du val et 160 entreprises y sont installées.

Ces zones sont par ailleurs souvent traversées par des voies de communication stratégiques :
- l'Autoroute A 71 dans le remous de la Loire dans le val d'Orléans
- La N 152 dans le val de Cisse.

2- L'inondation contrôlée par un déversoir

Un déversoir est un ouvrage implanté dans une levée, qui présente un niveau de crête inférieur à celui de la levée dans laquelle il est construit. Le déversoir offre ainsi un chemin préférentiel aux eaux de crues afin d'éviter l'occurrence d'une surverse sur le reste de la levée et l'apparition d'une brèche.

Il existe deux types de déversoirs le long de la Loire moyenne, les déversoirs simples et les déversoirs muni d'un fusible :
- Les déversoirs simples laissent passer les eaux lorsque que la ligne d'eau de crue atteint la crête du déversoir. Le remplissage du val se fait progressivement avec l'évolution du débit dans la Loire. Les déversoirs concernés sont : Bec d'Allier, Saint-Martin-sur-Ocre, Dampière, Mazan et la Bouillie.
- Le fusible est une surélévation du seuil du déversoir qui, lors de son effacement rapide sous la force de l'eau, déclenche le fonctionnement de l'ouvrage. En général, il y a aussi tôt prélèvement d'un grand débit en Loire. Les déversoirs concernés sont : Ouzouer, Jargeau, Avaray, Montlivault, Vieux-Cher et la Chapelle-aux-Naux.

Tous les vals de Loire moyenne ne sont pas aujourd'hui équipés d'un déversoir, en partie car les programmes historiques de mise en place de déversoirs n'ont pas été achevés. Le modèle Hydra 1998 de l'Equipe PLGN a montré que les modifications morphologiques du lit endigué de la Loire ont eu pour conséquence un dérèglement du système de déversoirs. En effet, ceux-ci peuvent entrer en fonctionnement trop tôt avant la surverse, et inonder un val plus souvent que nécessaire, ou alors fonctionner trop tard pour remplir son rôle de protection contre les brèches.

Le tableau suivant, extrait de l'étude « Crues Loire moyenne » de l'Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire, mars 2005, présente les probabilités d'occurrence d'évènements de type brèche ou surverse sur certains secteurs particuliers de la Loire :

Echelle d'annonce de crue	**Evènement prévisible**	**Période de retour au Bec d'Allier**
Givry	Apparition de brèches	200 ans
Gien	Déclenchement du déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre	- de 50 ans

	Apparition de surverses	100 ans
Orléans	Apparition de brèches Déversoir de Jargeau	200 ans 500 ans
Blois	Déclenchement du déversoir de la Bouillie Déclenchement du déversoir de Montlivault	70 ans 170 ans
Langeais	Déclenchement du déversoir du Vieux Cher Déclenchement du déversoir de la Chapelle-aux-Naux	70 ans* 500 ans*
Saumur	Apparition de brèches dans la levée du val d'Authion	500 ans*
Les Ponts-de-Cé	Apparition de surverses par-dessus la levée du val de Gohier	100 ans*

** A partir de la confluence du cher, les évènements hydrauliques dépendent non seulement de la crue de la Loire mais aussi des apports des affluents (Cher, Indre, Vienne, Thouet et Maine) qui pourraient être différents de ceux modélisés, correspondant à une crue de type 1856.*

3 - Les inondations par défaillance des systèmes de protection

Le rôle des dispositifs de protection (digues, déversoirs) peut être limité, leur mauvaise utilisation et leur manque d'entretien peuvent parfois exposer d'avantage la plaine alluviale que si elle n'était pas protégée. En effet, l'endiguement sur l'ensemble du linéaire de la Loire moyenne provoque une surélévation de la ligne d'eau en crue. En cas de rupture, les débits traversant la brèche sont très violents et les dommages liés à la vitesse d'écoulement s'ajoutent aux dommages liés à la submersion.

Le schéma suivant compare la situation naturelle et la situation actuelle, pour une crue similaire. Si le val est aujourd'hui protégé pour des crues plus fréquentes, le risque est aggravé en cas de brèche car les niveaux atteints dans le lit endigué sont plus élevés.

Les crues d'il y a deux siècles ont inondé l'ensemble des vals de Loire moyenne, en ouvrant chacune plus de 150 brèches dans les 550 kilomètres de levées. Ces brèches étaient dues pour environ un tiers à des surverses par-dessus les digues et pour un tiers à des phénomènes

d'érosion interne par renards hydrauliques dans le corps ou les fondations des levées. Les brèches ainsi formées atteignent plusieurs centaines de mètres de largeur.

En Loire moyenne, les causes de rupture de levée identifiées sont les suivantes :

- **Erosion interne / Renard hydraulique à travers la levée**

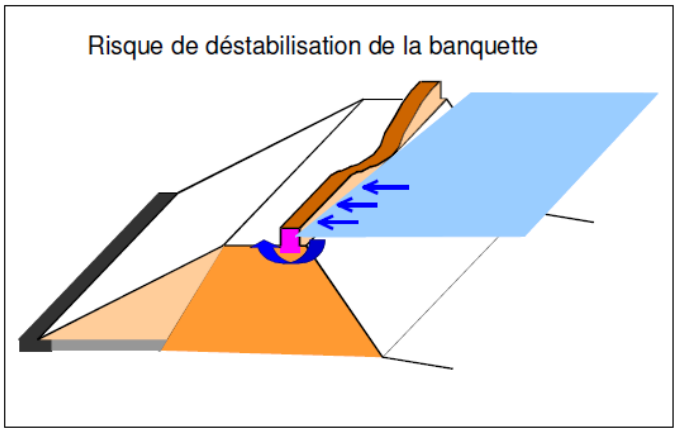
  Un renard hydraulique correspond à une circulation d'eau préférentielle dans le corps de la levée. Cet écoulement entraîne progressivement de la matière solide et créé une cavité de plus en plus importante. Cette cavité peut provoquer la déstabilisation de l'ouvrage et sa rupture. Les renards hydrauliques se produisent essentiellement près d'un point singulier de l'ouvrage : traversée d'une conduite, discontinuité des matériaux de construction, etc.
- **Circulation souterraine** préférentielle sous le corps de la levée
- **Surverse** sur un point bas de la levée

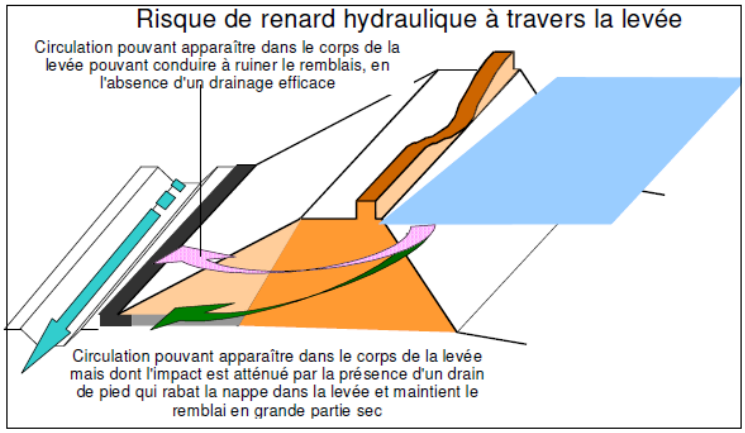
  La surverse, ou passage de l'eau au-dessus de la levée est la première cause de leur rupture. On considère qu'une levée même correctement entretenue ne peut résister à une surverse supérieure à 10 cm.
- **Déstabilisation et rupture de banquette**

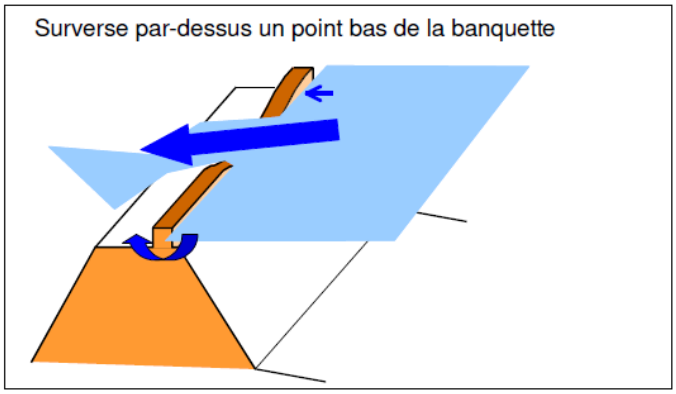
  Le terme de banquette désigne un petit ouvrage de surélévation de la levée situé à son sommet pour éviter la surverse. Ce sont des parties particulièrement sensibles de la levée et leur rupture sous la pression de l'eau provoque souvent la rupture de l'ouvrage complet.
- Effondrement interne de la levée causée par un **phénomène de karsts**

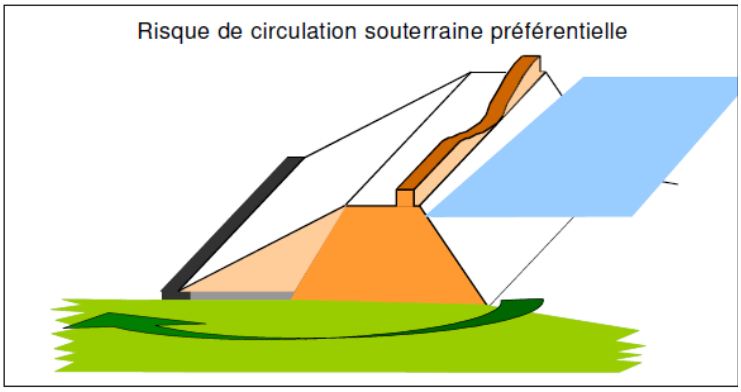
  Le phénomène de karsts correspond à la dissolution de roches carbonatées par des circulations d'eaux souterraines chargées en acide carbonique. Sur certains secteurs de la Loire, de grandes cavités peuvent apparaître dans le corps de la levée et provoquer l'effondrement de l'ouvrage.
- **Fragilisation des pieds de levées**

L'affouillement des pieds de levées lié à des effets de courants hydrauliques peuvent provoquer la rupture de la digue par glissement du talus.









Extrait du document de présentation de la « Synthèse technique des propositions pour une stratégie globale de réduction des risques d'inondation par les crues fortes en Loire moyenne » Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire, 1999.

4 - Les inondations par remontées de nappes

La nappe alluviale de la Loire circule dans les terrains perméables de la vallée dont les sables et suit, à quelques heures près, le niveau du fleuve. Plus celui-ci augmente et plus l'eau s'exhausse jusqu'à sortir au-dessus du sol. Les remontées de la nappe peuvent aussi induire des inondations localisées dans les vals, soit aux abords immédiats des levées, soit dans des zones plus basses des vals. Ces inondations entraînent de moindres hauteurs d'eau mais des submersions relativement longues.

Le niveau de la nappe est suivi au moyen d'appareils appelés piézomètres. Ce sont des tubes qui pénètrent dans la nappe et dans lesquels l'eau remonte, ce qui permet de mesurer son évolution. Il n'existe aujourd'hui aucune mesure systématique de l'évolution de cette nappe, sauf dans la ville de Tours.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Les mécanismes des relations nappes-rivières et les phénomènes de circulation de l'eau sous les digues ne sont pas identifiés et quantifiés sur l'ensemble du linéaire de la Loire moyenne. Elles ont fait l'objet d'une première étude sur le val d'Orléans en janvier 2003, sous maitrise d'ouvrage de l'Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature.

Il n'existe pas, par exemple, de cartographie généralisée à l'ensemble de la Loire moyenne des zones concernées par le risque d'inondation par remontée de nappe, en fonction d'un temps de retour de crue dans le lit endigué.

Point méthodologique :

Objectif
Caractériser les phénomènes hydrogéologiques ayant une incidence sur l'inondation où susceptibles d'avoir des conséquences sur les enjeux (alimentation en eau potable, etc.).
Identifier les secteurs à risques par type de phénomène.

Les phénomènes à considérer
Phénomènes d'infiltration et de remontée de nappe, interactions nappe/rivière.
Délai de stagnation de l'eau après le passage de la crue.

Produire cette connaissance
Témoignages suite à la montée des eaux.
Caractéristiques géologique du sol (cartes géologiques ou sondages).
Contacts avec le BRGM ou les exploitants de forages.

b. Autres causes d'inondation dans les vals

1 – Crue de petit affluent et ruissellement urbain

A notre connaissance, le risque d'inondation par crue de petits affluents ou ruissellement en zone urbaines ou sur coteaux reste très localisé, et n'a pas fait l'objet d'études globales à l'échelle de la Loire ou de la Loire moyenne.

Cas particulier du phénomène de coulées de boue :
Le phénomène de coulée de boue apparaît dans les fortes pentes, couvertes d'un sol qui se gorge totalement d'eau et devient alors instable. Les coteaux des bords de Loire peuvent présenter des coulées de boue, elles ne sont pas liées à la crue de la Loire mais plutôt aux

conditions météo locales (fortes pluies). Ce phénomène concerne certaines communes d'Indre-et-Loire et du Maine-et-Loire.

2 – Cas de rupture accidentelle du barrage de Villerest

Le barrage de Villerest est un barrage poids arqué en béton. Il surplombe le terrain naturel de près de 60 mètres pour une longueur en crête de 469 mètres. Sa capacité est de 238 hm^3 pour les plus hautes eaux exceptionnelles (cote 324mNGF).

Le risque de rupture de l'ouvrage a été étudié par EDF en 1974, puis révisé en 2001 par ISL :

- « Onde de submersion à l'aval du barrage de Villerest », EDF LNH 1974.
- « Révision et complément de l'étude de l'onde de submersion du barrage de Villerest », Etablissement Public Loire, ISL, janvier 2001.

L'objectif de ces études est de déterminer l'hydrogramme provoqué par la rupture de l'ouvrage et les conditions de propagation de l'onde de crue qui lui est associée en vue d'établir le Plan Particulier d'Intervention.

Les calculs ont été menés dans le cas d'une rupture sur front sec (débit initial faible ç l'aval du barrage) et dans le cas d'une rupture lors d'une crue forte, de type 1846. Ils ont été réalisés depuis la retenue jusqu'à 7km en aval de la confluence avec l'Allier et permettent ainsi de caractériser l'impact de la rupture de Villerest sur l'hydrologie en Loire moyenne.

Conclusions de l'étude :

L'onde de rupture sur front sec se propage en 18h entre Villerest et Nevers. Le maximum de l'onde arrive à Nevers en 36h. Le débit de pointe y est alors de 4 100 m^3/s.
Les vals situés en aval de Fourchambault sont dans l'ensemble protégés pour ces valeurs de débit.

Dans le cas d'une onde de rupture sur front humide (crue de type 1846), le maximum de l'onde se propage de Villerest à Nevers en 27h pour un débit de pointe de 10 000 m^3/s.
La sur-inondation engendrée par l'onde de submersion est en Loire moyenne largement supérieure au mètre. En particulier de grandes parties de la ville de Nevers seraient submergées par une surélévation de près de 2 mètres par rapport à la crue sans rupture (voir la cartographie de l'étude).

Une telle rupture du barrage de Villerest est cependant extrêmement peu probable. Il a été conçu de façon à résister à la crue de temps de retour 10 000 ans. Il est équipé d'un système de détection interne d'éventuelles déstabilisations, et si tel était le cas, serait vidangé avant d'atteindre le niveau de rupture.

c. *Impacts de l'évolution du lit*

Depuis le siècle dernier, le lit de la Loire a fortement évolué :

- Des travaux ont surélevé localement le sommet des levées, en particulier dans les traversées des agglomérations importantes ; un épaississement, en cours d'achèvement, des levées les plus stratégiques avec installation d'un drain côté val ou imperméabilisation côté Loire a réduit le risque de renard dans le corps de la levée.
- La chenalisation du lit engagée au siècle dernier pour améliorer la navigation, mais surtout l'extraction massive des granulats dans le lit mineur de la Loire aux abords des grandes agglomérations, ont enfoncé le lit mineur du fleuve de 1 à 2,50 m de profondeur.

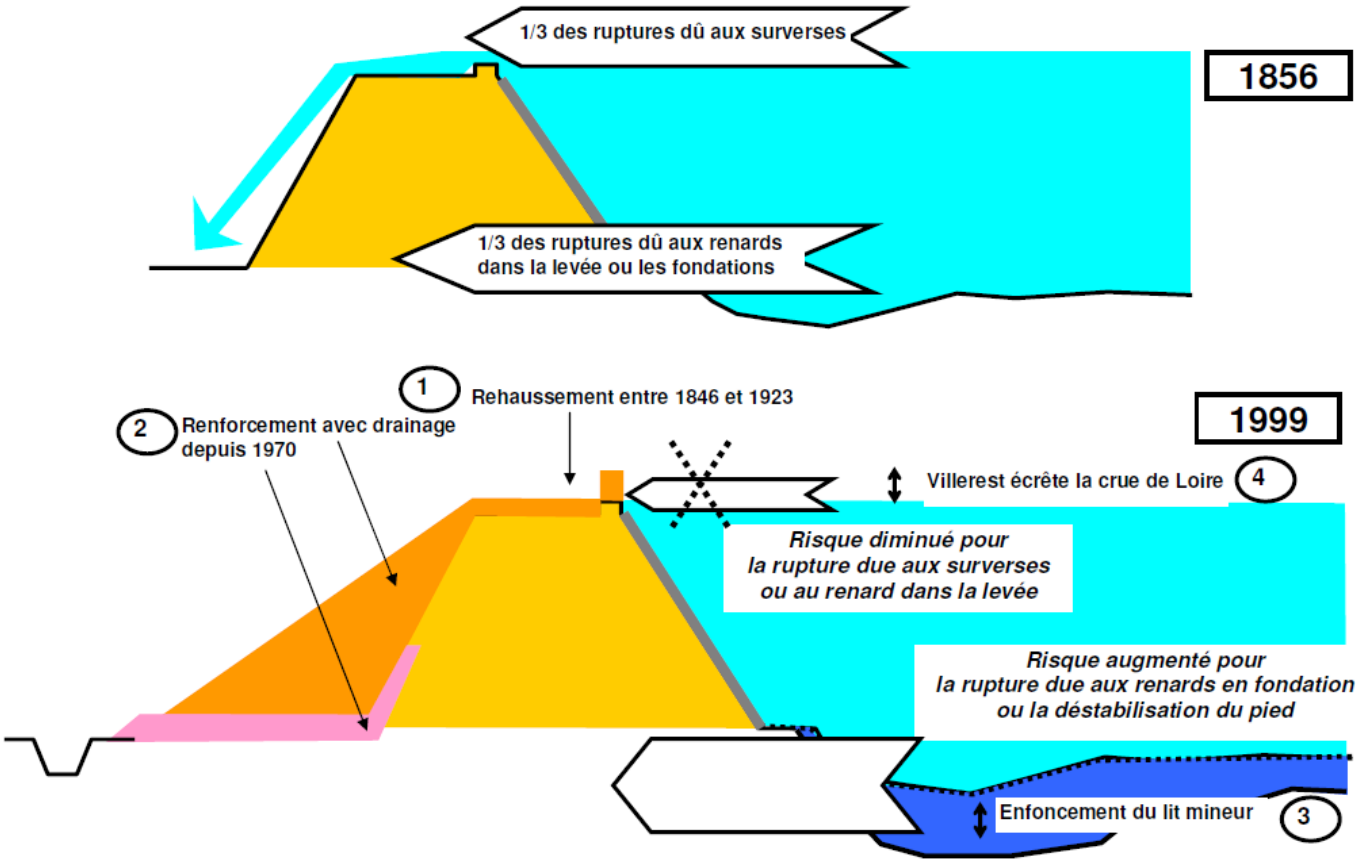
Ce phénomène a retardé et retarde les débordements de la Loire, avec un triple effet néfaste :

- la Loire a emprunté plus rarement de nombreux bras secondaires ; la végétation s'y est modifiée, y a perdu son caractère écologique intéressant de milieu humide et régulièrement renouvelé. Elle demande, pour ne pas augmenter les débordements lors des crues plus rares, un entretien régulier, que n'assure plus le fleuve ;

- un lit plus profond, aux berges plus instables, augmente le risque de déstabilisation en crue des pieds de levée qui, sur 130 km, sont en contact direct avec le lit mineur ;

- l'enfoncement n'étant pas homogène le long du cours, les débordements sont décalés depuis le siècle dernier, ce qui a déréglé le système de protection par déversoir mis au point alors. En particulier, les déversoirs de Gien, Blois, Ouzouer, Montlivault et Vieux-Cher entrent en fonctionnement pour des crues trop fréquentes, tandis que les déversoirs de Jargeau, Avaray, la Chapelle aux Naux fonctionneraient trop tard pour remplir leur rôle de protection du système d'endiguement contre la surverse.

Evolution du risque d'atteinte aux levées depuis le siècle dernier :



Extrait du document de présentation de la « Synthèse technique des propositions pour une stratégie globale de réduction des risques d'inondation par les crues fortes en Loire moyenne » Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire, 1999.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Le lit de la Loire est en constante évolution et il est impossible aujourd'hui de prévoir son état dans les années à venir.

Le fonctionnement global du système de protection actuel par levées et déversoirs est aujourd'hui déréglé et devrait être réétudié à l'occasion des études de vals qui vont être menées dans le cadre du Plan Loire 2007-2013.

Point méthodologique :

Objectif
Description des évènements liés à l'évolution naturelle ou anthropique qui constituent des facteurs aggravants ou réducteurs et ont un rôle fondamental dans la formation et l'augmentation ou la limitation des débits des cours d'eau.

Phénomènes à considérer
- Modification du profil en long (incision ou élévation, apparition d'îles, etc.)
- Obstacles et encombrement du lit (ouvrages d'art, développement de la végétation, etc.)
- Urbanisation et implantation de zones d'activités dans les zones inondables. Toute modification de l'occupation du sol (déboisement, suppression des haies, pratiques agricoles, imperméabilisation) empêchant le laminage des crues et la pénétration des eaux, favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux. En parallèle, la valeur des biens et la vulnérabilité du territoire augmentent.
- Diminution des champs d'expansion des crues. Cette diminution a pour conséquence de réduire l'effet d'écrêtement des crues, bénéfique aux secteurs situés à l'aval.
- Aménagement du cours d'eau (suppression de méandres, endiguement, seuils, ouvrages de ralentissement dynamique, barrages, etc.)

d. Les zones inondables par les crues de la Loire

Deux documents présentent les aléas d'inondations en Loire moyenne :

- L'atlas des zones inondables de la vallée de la Loire :

Cet atlas règlementaire a été réalisé par la DIREN Centre en janvier 1995 et révisé en 2003. Il est basé sur l'observation des crues historiques (PHEC : Plus Hautes Eaux Connues).

- L'atlas de l'extension prévisible des inondations pour les crues fortes en Loire moyenne

L'atlas de l'extension prévisible des inondations pour les crues fortes en Loire moyenne est issu des résultats d'un modèle hydraulique (données calculées et non observées) et n'a pas de valeur réglementaire. L'atlas a été réalisé par l'Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire grandeur Nature d'après les résultats du modèle hydraulique Hydra Loire moyenne.
Il présente une cartographie des plus niveaux d'eau maximum atteint pour les crues modélisées de temps de retour 50, 70, 100, 170, 200 et 500 ans. Les résultats sont présentés par val au 1/50 000 entre le Bec d'Allier et Montjean-sur-Loire.

Les cartographies des résultats de l'étude Loire moyenne et des PHEC sont disponibles sous forme papier et numériques. Les couches cartographiques géo-référencées de ces études sont diffusées librement sur le site portail Loire du risque inondation : www.inondations-loire.fr.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Le modèle Hydra mis en œuvre par l'Equipe Pluridisciplinaire pour la modélisation des crues de la Loire comporte quelques limites :
- Le modèle ne prend pas en compte l'éventualité de brèches accidentelles autres que par surverse (phénomène estimé à l'origine d'environ un tiers des brèches historiques).

- Les remontées de la nappe alluviale, auxquelles sont exposés certains vals avant d'atteindre le niveau de surverse.
- Les embâcles végétaux lors de la crue, susceptibles de créer des écoulements tourbillonnaires en pied de levée et de conduire à leur rupture.
- Les embâcles aux ponts.
- Le modèle ne prend pas en compte les rehausses de niveaux dans les courbures du fleuve. Leur effet peut être de près de 10 cm.
- Les effets de vent. Un vent d'Ouest persistant accompagnant les précipitations océaniques peut entraîner des variations de cote de près de 20cm en amont sur certains secteurs linéaires de la Loire comme le val de Cisse.
- La précision du modèle est de +/- 15 à +/- 25 cm suivant l'importance de la crue. Cette amplitude de 50 cm peut être déterminante, par exemple pour la détermination des sites de premières surverses ou le calage d'un déversoir. A cette précision s'ajoute les imprécisions dues à l'effet du vent, des embâcles, des brèches accidentelles en amont, etc.

Une nouvelle connaissance des aléas devrait être produite à l'occasion des études de vals qui vont être menées dans le cadre du Plan Loire 2007-2013.

Point méthodologique :

Paramètres principaux nécessaires pour qualifier l'aléa

- La période de retour de crues
- La hauteur et la durée de submersion
- La vitesse du courant
- Le volume de matière transporté

Chacun de ces paramètres a plus ou moins d'importance selon les caractéristiques morphodynamique de la rivière. Par exemple, l'aléa inondation d'une rivière, dont la pente en long est faible sera surtout caractérisée par la hauteur et la durée de submersion. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse de courant élevée et un fort transport solide.

3. Evénements passés, évolutions futures et scénarios

a. Les crues historiques de la Loire

Le tableau ci-dessous présente les hauteurs d'eau aux échelles de 6 villes de la Loire moyenne pour les 4 dernières crues majeures connues et les hauteurs d'eau calculées par l'Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire à l'aide du modèle Hydra pour les crues types de temps de retour 50, 100 et 500 ans.

	Observé				Simulé		
Echelle	**1846**	**1856**	**1866**	**1907**	**50ans**	**100ans**	**500ans**
Givry	-	6,02 m	5,89 m	5,13 m	5 m	6,04 m	6,35 m
Gien	7,12 m	7,19 m	7,19 m	-	5,19 m	6,10 m	7,52 m
Orléans	6,79 m	7,10 m	6,92 m	5,25 m	4,16 m	5,45 m	6,49 m
Blois	6,60 m	6,78 m	6,70 m	5,63 m	4,82 m	5,61 m	6,35 m
Tours	7,15 m	7,52 m	7,20 m	5,60 m	4,49 m	5,61 m	6,89 m
Montjean-sur-Loire	-	6,26 m	-	-	6,16 m	6,91 m	7,20 m

Source : « La Loire – Histoire des protections contre les crues » DIREN Centre, 1996

Les grandes crues du 19ème siècle et leurs conséquences (*Source : « La Loire, histoire des protections contre les crues », DIREN Centre, 1996)* :

1846
Cette crue a touché l'ensemble des grandes villes de Loire moyenne. Les dommages estimés sont de l'ordre de 70 millions d'euros.
De nombreuses digues et ponts ont été intégralement détruits, dont 25 brèches pour 3,6km dans la Nièvre. 30 km de chemin de fer ont été emportés entre Orléans et Tours, et la gare d'Amboise a été détruite.

1856
Il s'agit de la crue de référence en Loire moyenne. Tours et Saumur ont été intégralement atteintes. Roanne, Nevers, Gien, Orléans, Blois, Amboise et Chinon ont été très fortement atteintes. 160 brèches ont été recensées pour un linéaire de 23 km de levées détruites.
100 000 ha de terres ont été inondées et les récoltes sur pied entièrement perdues par ensablement, submersion ou érosion.
La ligne de chemin de fer a été emportée en plusieurs endroits entre Orléans et Tours et la circulation a été interrompue pendant 22 jours, 38 jours entre Tours et Nantes.
Les dégâts sont importants : églises, ponts et maisons écroulées, routes et bétail emporté, voies ferrées arrachées, etc. L'ampleur du désastre se chiffre alors à 26 000 sinistrés dans 85 communes et à 150 millions d'euros pour le val de Loire.

1866
Il s'agit de la plus forte crue jamais enregistrée à Nevers. En Loire moyenne, la crue a atteint des niveaux semblables à la crue de 1856, sauf entre Blois et Tours qui ont été épargnées.
De nombreuses ruptures de levées ont été recensées, notamment à Sermoise, à Nevers, Jargeau, Montivault ou Saint-Lambert-des-Levées.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Une recherche et une analyse des crues du passé pourrait être entreprise, notamment pour la crue de 1790, réputée très forte sur l'Allier, et mal connue sur la Loire.

Point méthodologique :

Extraits de la directive inondation
« La description des inondations survenues dans le passé et ayant eu des impacts négatifs significatifs sur la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique, pour lesquelles il existe toujours une réelle probabilité que se produisent des évènements similaires à l'avenir, y compris la description de l'étendue des inondations et des axes d'évacuation des eaux, et une évaluation des impacts négatifs qu'ont induits les inondations considérées. »

« Description des inondations significatives survenues dans le passé, lorsqu'il est envisageable que des évènements similaires futurs aient des conséquences négatives significatives. »

Sources d'information
Archives nationales ou locales, enquêtes, retour d'expérience, etc.

b. Conséquences du changement climatique sur le régime des crues

Une démarche d'adaptation aux impacts du changement climatique pour les régimes d'inondation et de sécheresse dans le bassin de la Loire a été initiée en début d'année 2007 dans le cadre de la plate-forme Recherche Données Information du Plan Loire 2007-2013. Sa maîtrise d'ouvrage est assurée par l'Etablissement Public Loire et elle bénéficie de l'expertise du Conseil scientifique du plan Loire.

Elle a pour objectifs d'évaluer les impacts à attendre du changement climatique sur l'hydrologie et la qualité de l'eau pour le bassin de la Loire, et fait suite à la proposition du MEEDDAT, en fin d'année 2006, de retenir le bassin de la Loire comme site pilote au niveau national pour une démarche de ce type.

Un groupe de suivi de la démarche a été constitué, comprenant des représentants du MEEDDAT, de l'EP Loire, de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, de Météo France, d'EDF, du CEMAGREF et de la Zone Atelier Loire.

Un état des lieux initial des connaissances et projets concernant l'observation des impacts éventuels du changement climatique déjà perceptibles sur le bassin de la Loire, et les éventuelles stratégies ou mesures d'adaptation déjà mises en oeuvre sur le bassin a été réalisé. Les principales conclusions de l'état des lieux initial sont les suivantes :

- <u>Faiblesses des connaissances sur les impacts actuels du changement climatique :</u>
  Bien que le changement climatique soit avéré et caractérisé au niveau mondial, l'état des lieux a fait ressortir la difficulté à déterminer ses conséquences pour un niveau plus local comme le bassin de la Loire. Ce dernier souffre donc de faiblesses dans les connaissances des processus aujourd'hui à l'œuvre et des impacts multiples pouvant en résulter.
  Les seuls impacts commençant à être observés sur le bassin de la Loire et pour lesquels on dispose d'une relative certitude sont :
  - un adoucissement général et un renforcement des extrêmes des températures,
  - des variations plus contrastées des pluies au cours de l'année.

- <u>Incertitude sur les éventuels impacts futurs du changement climatique :</u>
  Si l'état des lieux montre qu'il existe peu de connaissances sur les impacts actuels, celui-ci a mis toutefois en lumière un large éventail d'impacts pouvant déjà être à l'œuvre ou apparaître dans le futur pour le bassin. Ceux-ci se répartissent entre impacts directs (découlant des variations probables du climat) et impacts indirects (découlant en cascade des impacts précédents).
  Ces impacts sont à considérer avec beaucoup de nuance et de prudence car une incertitude forte les entoure :
  - impacts sur les paramètres de la ressource en eau (débits, températures, hauteurs, qualité..),
  - impacts sur la biodiversité (milieux aquatiques, distribution des communautés, mortalité, perturbations des comportements…),
  - impacts sur des secteurs économiques…

<u>Données à approfondir en Loire-moyenne :</u>

Comme ailleurs il conviendrait de pouvoir apprécier l'effet du changement climatique sur la fréquence et l'importance des crues. Cela est du domaine de la recherche et plusieurs actions sont en cours, notamment dans le cadre du plan Loire.
Il convient de suivre les travaux engagés et d'en intégrer les résultats.

Deux projets de recherche sur le changement climatique ont plus particulièrement été sélectionnés, dans le cadre de l'appel à projet 2008, dont les résultats sont attendus mi-2010 :

- Evaluation de la vulnérabilité de la biodiversité et des zones bâties inondables du corridor ligérien, pour une meilleure anticipation des effets du changement climatique sur les régimes hydrologiques de la Loire (Université François RABELAIS de Tours UMR CITERES)
- Impact du Changement Climatique sur l'hydrosystème Loire : hydrologie, régime thermique, qualité des eaux (Université François RABELAIS de Tours UMR 6113 ISTO)

Point méthodologique :

Ce qui a été dit pour la Loire moyenne vaut pour la plupart des rivières intérieures. En revanche, une première prise en compte du changement climatique peut être intégrée très rapidement pour ce qui concerne les rivières côtières et les estuaires en tenant compte des élévations potentielles du niveau des mers.
Les démarches pilotes de recherche menées en Loire ont vocation à servir d'exemple pour le reste du Pays.

c. *Les scénarios de référence au sens de la directive*

Les trois scénarios indiqués par la directive inondation sont les suivants :
- La crue de forte probabilité
- La crue de moyenne probabilité (période de retour >= 100 ans)
- La crue extrême

Il serait nécessaire de mener une réflexion sur la définition des scénarios de crues retenus pour la réalisation du plan de gestion du risque inondation au sens de la directive européenne, se qui pourrai dépendre du secteur/bassin considéré.
En Loire moyenne, la prise en compte d'une crue décennale, dont les eaux sont contenues entre les digues tout au long de son parcours, risque d'être peut utile, contrairement à une crue de temps de retour 50 ans, par exemple, pour laquelle survienne les premiers débordements importants.
Par ailleurs, le système de protection de la Loire moyenne est basé sur les levées et les déversoirs. En fonctions l'ampleur de la crue considérée, trois situations peuvent se présenter :
- la crue est contenue entre les digues
- la crue atteint le niveau des premiers points bas et les déversoirs entrent en fonctionnement. L'eau remonte par remous le long de certains de ces affluents
- la crue surverse sur une majorité du linéaire et provoque de nombreuses ruptures de levées.

Ce qui n'exclue pas des cas de ruptures de digues accidentelles ainsi qu'un écrêtement défectueux ou non fonctionnement du barrage de Villerest.

C'est dans ce contexte que devrait être défini le scénario de crue extrême.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Point méthodologique :

Les méthodes de détermination des fortes crues susceptibles d'affecter une vallée sont connues. La valeur des résultats est liée aux données disponibles et notamment à l'étendue des séries chronologiques, de hauteurs, de débits et de précipitations.

L'exercice a déjà été conduit pour une grande partie des rivières pour déterminer le niveau et l'étendue de la crue centennale pour la réalisation des atlas de zones inondables et des PPRI.

La détermination de la crue extrême peut s'avérer plus délicate.

La définition de la crue extrême peut être basée sur une valeur de durée de retour : 200, 500, 1000 ans… Mais cela n'a de sens que si l'on dispose de longues chroniques, ce qui est rarement le cas.

Elle peut être basée sur des modélisations pluie – débit dans lesquelles on considère des événements de pluies extrêmes, mais là aussi il faut disposer de données.

D'autre part comme en Loire moyenne, il faut probablement dans les secteurs modifiés (digues, barrages) considérer plutôt que la crue extrême, l'événement extrême qui associe à la très forte crue une aggravation due au dysfonctionnement des ouvrages. Faut-il aller jusqu'à intégrer l'effet d'une rupture de barrage ?

C. Conséquences potentielles des inondations

1. Des enjeux exposés de plus en plus nombreux

a. Les enjeux

Les enjeux exposés aux inondations en Loire moyenne ont été étudiés par l'Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire. Cette étude a mené à la publication du document « Atlas des enjeux socio-économiques exposés au risque d'inondation en Loire moyenne », en Février 2000. Les enjeux sont étudiés par thème et par localisation. Les thèmes d'enjeux étudiés sont « Population et logements », « Activité économique », « Activités agricoles ». L'année de référence moyenne des données présentées dans l'Atlas est 1997.

Sur la base de ce document, l'université de Tours (CITERES) et le CEPRI mènent actuellement des travaux de recherche afin de développer une méthodologie de mise en perspective des dommages économiques à l'échelle du bassin fluvial de la Loire. Ce travail pourrait permettre, à terme, une réactualisation des données de ce document.

Les enjeux recensés et dommages calculés pour les crues cinquantennale, centennale et cinq-centennale correspondent à des inondations simulées dans les hypothèses du modèle Hydra de l'Equipe pluridisciplinaire sans ouverture de brèche accidentelle ni remontée de nappe et après écrêtement par le barrage de Villerest. « L'inondation maxi » correspond à une submersion totale des vals inondables, comme lors de la crue de 1856, et comme décrit dans les Atlas des zones inondables.

Par ailleurs, de nombreuses études de recensement ou de diagnostiques d'enjeux ont été menées, en particulier sur les thématiques environnementales, des réseaux, des enjeux socio-économiques, des équipements publics ou du patrimoine.

Les chiffres présentés ci-dessus ont été établit par dépouillements de fichiers et visites de terrain qui ont permis d'analyser les enjeux exposés en zone inondable dans les 240 communes riveraines du fleuve dont 50 sont inondables en totalité.

<u>Les sources de données :</u>

Gaspar est une base de données communale sur les risques naturels et technologiques, gérée par le Meeddat. Elle recense l'ensemble des communes soumises à un ou plusieurs risques majeurs, les arrêtés de catastrophes naturelles depuis 1982 et les plans de prévention des risques mis en place. Les risques majeurs sont identifiés d'après les dossiers départementaux des risques majeurs établis par les préfets. Ils se caractérisent par des événements ponctuels d'une très grande gravité et d'une faible probabilité.

Cartorisque est l'outil d'information mis en œuvre par le Meeddat et les préfectures pour publier l'ensemble des cartes des risques naturels et technologiques majeurs.

Les bases de données **CORINE Land Cover** est une base de données qui représente l'occupation du sol européen. Elle représente les éléments géographiques de plus de 25 ha y sont présents (eau, bois, zone urbanisée, terres agricoles, zones humides, etc.). Une première version a été réalisée sur la base de photos prises entre 1987 et 1994, et une deuxième version a été réactualisée sur la base de photos de 2000.

<u>Données à approfondir en Loire-moyenne :</u>

Suivre les démarches en cours de recensement des activités économiques, réseaux, etc.
Un recensement est effectué à l'échelon communal pour l'élaboration des PCS. Ces informations sont-elles exploitables au niveau national ?

Point méthodologique :

Définitions
L'enjeu est l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

Objectif

Citer les outils et les bases de données de référence.
Sont-elles suffisantes ? Quels sont les données manquantes ou pas suffisamment actualisées ?
Quelles sont les démarches dont il est possible de s'inspirer ?
Recommandations pour outils systématiques à mettre en place.

Habitants et habitat en zone inondable :

D'après les études de l'Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire, il y a dix ans sur l'ensemble de la Loire Moyenne étaient exposés 292 700 habitants et 114 600 logements au risque d'inondation selon l'Atlas des zones inondables. Ces habitants sont répartis dans 240 communes. Ce chiffre inclut des grandes villes (comme Orléans) qui ont un niveau élevé de sécurité contre les inondations.

Crue de référence	Nombre d'habitants	Nombre de logements
Cinquantennale	22 600	9 250
Centennale	35 000	14 550
Cinq-centennale	121 700	48 000
Atlas	292 700	114 600

Source : Atlas des enjeux socio-économiques exposés au risque d'inondation en Loire moyenne, Equipe PLGN

Le RIL : Le répertoire des immeubles localisés, développé par l'Insee dans les communes de France ayant atteint 10 000 habitants en 1999, est une base d'adresses géo-référencées incluant les immeubles d'habitation. Le RIL a été actualisé en juillet 2006. Les comparaisons entre 1999 et 2006 permettent d'estimer l'évolution de l'habitat en zone inondable dans les villes moyennes et grandes riveraines de la Loire moyenne.

Le RP99 : Le dernier recensement général de la population et des logements date de 1999.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Ces chiffres n'ont pas été réactualisés depuis près de 15 ans, et l'impact de la mise en place de la politique de 1994 n'est pas encore très bien connu. Une réactualisation de ces données serait utile afin de mieux cerner les enjeux humains sur le territoire de la Loire moyenne.

Point méthodologique :

Définitions
La vulnérabilité de la population est provoquée en partie par sa localisation en zone inondable. Sa mise en danger survient lorsque les délais d'alerte et d'évacuation sont trop courts ou inexistants.

Le danger se traduit par le risque d'être emporté ou noyé, ainsi que par l'isolement sur des îlots coupés de tout accès.
L'interruption des communications peut gêner, voire empêcher l'intervention des secours. Par ailleurs, les dommages indirects (perte d'activité, chômage technique, dépressions, etc.) ont des effets importants sur la population, au même titre que les dommages directs occasionnés aux biens mobiliers et immobiliers.

Equipements publics :

Les équipements publics et notamment les ERP (Equipements Recevant du Public) comprennent les établissements scolaires, les campings et centres de loisirs ou vacances, les maisons de retraite, les crèches, les services de santé et les hôpitaux, les gares ferroviaires, les casernes de pompier, etc.

Il s'agit d'enjeux particulièrement sensibles et importants dans la gestion de crise et la gestion post-crise en cas d'inondation majeure.

Les études de l'Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire ont estimé le nombre de ces équipements à 1560.

A notre connaissance, il n'existe pas de recensement et de cartographie de ces établissements sur la Loire moyenne.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Prévision d'un diagnostique des bâtiments publics de la ville d'Orléans par un bureau d'études.

Point méthodologique :

Enjeux environnementaux et sites sensibles :

Dans les vals endigués, l'Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire grandeur Nature a recensé 69 sites d'intérêt écologique reconnu ou potentiel, couvrant 17.250 ha, soit 12 % de la surface, répartis ainsi entre les départements :

	Nièvre	Cher	Loiret	Loir-&-Cher	Indre-&-Loire	Maine-&-Loire	Total
Nombre de sites	5	8	22	8	13	13	69
Superficie	650	700	4 500	600	3 500	7 350	17 250

Au sein des 32.000 ha du lit endigué, les zones naturelles d'intérêt écologique, floristique, faunistique ou ornithologique (ZNIEFF ou ZICO), les réserves naturelles et les arrêtés de biotope couvrent 19.000 ha, soit 60 % de la surface. Le périmètre proposé dans le cadre de l'élaboration de Natura 2000 représente 83 % du lit endigué, soit 26.400 ha. On peut donc considérer que l'ensemble du lit majeur endigué présente un intérêt écologique reconnu ou potentiel.

La superficie des zones humides en lit majeur a progressivement diminué depuis quelques siècles. Les zones humides ont été converties en terres agricoles et dans une mesure moindre, converties pour une utilisation résidentielle et industrielle. Actuellement, les zones humides ne représentent qu'un pourcentage relativement faible (selon les estimations 10 % environ) de la

plaine d'inondation du Bassin de la Loire. Cette proportion est encore relativement importante pour Europe de l'Ouest ; le long des affluents du Rhin aux Pays-Bas, il ne reste aujourd'hui que 2 % de zones humides. Depuis le début des années 1970, la valeur des zones humides est de plus en plus reconnue, donnant lieu à des législations et à des réglementations relatives à la protection des zones humides restantes. Dans le futur, le nombre et la qualité des zones humides devraient même augmenter.

En raison de la fréquence d'inondation des vals, l'écosystème dans ces réserves ressemble davantage aux écosystèmes des 'terres sèches' (hautes terres), plutôt qu'aux écosystèmes de zones humides vierges.

Sur les 150 000 hectares de plaines d'inondation au total, 36 000 environ sont identifiés comme ayant un potentiel de valeurs écologiques ou comme étant réellement reconnus en tant que valeurs écologiques.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Existe-il des ENS : Espaces Naturels Sensibles, gérés par les départements ?
Natura 2000 ?

Point méthodologique :

Installations à risque environnemental :

Les installations à risque environnemental en Loire moyenne sont classées en déclaration ou autorisation suivant les quantités d'éléments stockés ou le risque qu'elles présentent.
Les installations classées en régime d'autorisation sont recensées et cartographiés par la DRIRE Centre. Les installations en régime de déclaration sont recensées en préfecture.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Il n'existe pas aujourd'hui de cartographie d'ensemble des installations à risque environnemental en zone inondable de la Loire. Cependant, les installations soumise à autorisation sont géo référencées et devraient pouvoir être représentées.

Point méthodologique :

Quelles sont les installations que l'on considère et que l'on étudie dans le cadre de la démarche Plan de Gestion ?

Activités économiques :

Les entreprises exposées au risque inondation :

A proximité directe des villes, les industries occupent une petite partie de la plaine inondable. Traditionnellement, ces emplacements offrent à l'industrie l'avantage d'un accès immédiat au transport par voies navigables intérieures pour amener des matières premières et transporter des produits finis, et un accès immédiat à l'eau de refroidissement et de traitement. La plupart des 13 600 entreprises (Ref. 5) (dont 500 ont plus de 20 employés) situées dans la plaine inondable de la Loire moyenne n'ont actuellement pas de lien direct au fleuve.

70% des entreprises et emplois exposés sont concentrés sur les 5 pôles majeurs d'agglomération de Tours, de l'agglomération d'Orléans, du val d'Authion, de Saumur et de l'agglomération d'Amboise.

Crue de référence	Nombre d'emplois	Nombre d'entreprises
Cinquantennale	7 400	1 680
Centennale	11 600	2 620
Cinq-centennale	28 800	5 910
Atlas	71 400	13 590

Source : Atlas des enjeux socio-économiques exposés au risque d'inondation en Loire moyenne, Equipe PLGN

L'étude « Analyse statistique de l'exposition des établissements riverains de la Loire et de ses affluents », de la Mission risques naturels publiée en décembre 2007 a croisé la base de données SIRENE de l'INSEE sur les activités économiques et l'atlas des zones inondables afin d'obtenir un information récente et actualisée sur les établissements et entreprises en zone inondable le long de la Loire. Les établissements sont classés par type d'activité et par département ou région.

Cas des activités agricoles :

L'agriculture est la principale utilisatrice des plaines inondables le long de la Loire. Sur les 150 000 ha de plaines inondables au total, 85 000 sont utilisés pour la production agricole. Environ 10% de cette surface agricole est utilisé pour des cultures spécialisées de valeur élevée. Ces cultures incluent l'horticulture, les vergers, etc.
Deux secteurs ont une surface agricole exposée supérieure à 10 000 ha : le secteur du val d'Authion (19 800 ha) et Orléans Amont (10 400 ha). On retrouve ensuite trois secteurs avec une surface agricole exposée comprise entre 5 000 ha et 7 000 ha : Vienne (6 700 ha), Ouzouer (6 500 ha) et Cisse (5 200 ha).

Crue de référence	Surface agricole inondée	Part de la surface en culture spécialisée inondée
Cinquantennale	24 900 ha	1,7 %
Centennale	36 900 ha	1,9 %
Cinq-centennale	62 700 ha	8,1 %
Atlas	86 800 ha	9,4 %

Source : Atlas des enjeux socio-économiques exposés au risque d'inondation en Loire moyenne, Equipe PLGN

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Une démarche de « Création d'un environnement favorable – information et sensibilisation » a été initiée en décembre 2008 et se déroulera jusqu'en avril 2009. Elle a pour objectifs d'informer et sensibiliser les acteurs économiques situés en zone inondable sur les moyens disponibles pour réduire leur vulnérabilité, et les convaincre de l'intérêt d'une démarche de réduction de la vulnérabilité de leur activité fondée sur un diagnostic permettant la mise en œuvre de mesures de adaptées. En préalable sont réalisés **la qualification d'une base de données des acteurs économiques en zone inondable** et la conception de supports de communication dédiés. (http://www.plan-loire.fr/plate_forme_prevention_des_inondations-52-cp.html)

Point méthodologique :

Réseaux :

Différents types de réseaux, interdépendants dans leur fonctionnement, sont présents en zone inondable et susceptibles d'être impactés par une inondation :

- Réseaux d'énergie (électricité, gaz, hydrocarbures)
- Réseaux de transport (routier, ferroviaire, fluvial, aérien)
- Réseaux de télécommunication (fixe, mobile, internet)
- Réseaux d'eau (eau potable, assainissement)

Le détail des enjeux en Loire moyenne de ces différents réseaux est présenté dans « l'étude préalable à la réduction de la vulnérabilité des réseaux liée aux inondations en Loire moyenne », engagée par l'Etablissement Public Loire en partenariat avec les services de l'Etat et l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, et publiée en mars 2006.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Une étude a été lancée dans le cadre du Plan Loire 2007-2013 et devrait se dérouler entre les mois de décembre 2008 et février 2010. Cette étude intitulée « Création d'un environnement favorable – animation en direction des gestionnaires de réseaux et des collectivités » et conduite par GSC a pour objectifs de renforcer la connaissance du comportement des réseaux face à l'inondation, de susciter une dynamique de coopération, de mutualisation des informations et des moyens et de faciliter l'accès de la maîtrise d'ouvrage unifiée à l'information. (http://www.plan-loire.fr/plate_forme_prevention_des_inondations-55-cp.html)

Point méthodologique :

Patrimoine culturel :

Les plaines d'inondation le long de la Loire comprennent de nombreux sites archéologiques et historiques. Ces sites incluent des trésors architecturaux historiques comme les nombreux châteaux, forts, carrières et lieux de sépulture. Ils incluent également des réalisations techniques et des ouvrages d'art comme l'aqueduc de Briare (1896) qui mène le Canal de Briare sur la Loire vers le Canal Latéral à la Loire. Pour illustrer son importance, la vallée de la Loire a été inscrite en 2000 à la Liste du Patrimoine Mondial de l'UNESCO pour ses propriétés naturelles et culturelles de valeur universelle exceptionnelle.

En 2003, l'Etablissement Public Loire a fait réaliser un « Inventaire du patrimoine inondable de la Loire moyenne. Cette étude a permis :

- Le recensement des enjeux (en l'occurrence les monuments et objets protégés au titre du Code du patrimoine 2002) en fonction de l'aléa hydraulique tel qu'il a été modélisé par l'Equipe pluridisciplinaire du Plan Loire : 698 monuments et objets protégés ont été recensés dans la zone dite « Plus hautes eaux connues » telle qu'elle apparaît dans l'*Atlas des zones inondables de la Loire moyenne*.

- L'évaluation de l'exposition des biens patrimoniaux, situés dans la zone inondable, aux crues fortes de la Loire moyenne : pour chacun des 450 biens patrimoniaux recensés, une fiche décrivant leur situation et leur degré d'exposition au risque a été établie.

Parmi les enjeux patrimoniaux identifiés, on peut citer 7 ponts, 72 édifices religieux, 44 manoirs et châteaux, 69 maisons et immeubles et 24 monuments divers. On dénombre aussi 110 cales et ports, qui seront les premiers touchés en cas d'inondation.

Données à approfondir en Loire-moyenne :

Point méthodologique :

b. L'évolution des enjeux

A notre connaissance, il n'existe pas d'étude ou de réactualisation des bases de données d'enjeux à l'échelle de la Loire moyenne depuis les études de l'équipe Pluridisciplinaire. Cependant, des démarches sont en cours dans ce sens, en particulier sur les thématiques des activités économiques ou des réseaux.

L'étude de bases de données comme Corine Land Cover, ou le RIL (Répertoires des immeubles localisés), et la comparaison de leurs différentes versions (allant de 1990 à 2006 suivant les bases) peut permettre d'évaluer l'évolution des enjeux du bassin. Corine Land Cover s'accompagne notamment d'une version 1990-2000 qui identifie et localise les changements d'occupation du sol intervenus entre 1990 et 2000.

2. Un territoire plus large potentiellement impactés

a. Secteurs impactés non inondés

L'inondation peut avoir des conséquences sur des territoires bien plus vastes que les seuls terrains submergés, notamment en raison des perturbations éventuelles des réseaux, des activités et des services.

L'étendue de ces zones indirectement impactées n'est pas connue à l'heure actuelle, ainsi que l'estimation des dommages indirects.

b. Fonctionnement des réseaux et phénomène d'interdépendance

L'Etablissement Public Loire, en partenariat avec les services de l'Etat et l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, a engagé une démarche sur le thème de la vulnérabilité des réseaux en Loire moyenne à travers une « étude préalable ». Cette prestation a été confiée aux bureaux d'études SOGREAH et ASCONIT Consultants et réalisée entre octobre 2004 et septembre 2005.
Cette démarche revêt un caractère novateur car la question de la prise en compte des conséquences d'une inondation sur le fonctionnement des réseaux, ainsi que du rôle des réseaux dans la diffusion de la catastrophe et l'accroissement des impacts, reste récente et peu abordée.

Cette étude a eu pour objectif de rassembler les éléments d'information nécessaires à la compréhension du fonctionnement structurel et organisationnel de chaque réseau et des réseaux entre eux à l'échelle du territoire, afin d'appréhender les désordres multiples et complexes qu'engendrerait une grande crue de la Loire. Ce travail a aussi visé à apprécier le niveau de sensibilité des acteurs concernés par cette problématique et à identifier les actions qu'ils ont déjà engagées pour réduire le risque.

Les réseaux pris en compte sont ceux relatifs :
- Aux transports (routier, ferroviaire, fluvial),
- A la fourniture d'énergie (électricité, gaz, hydrocarbures, réseaux de chaleur),
- Aux télécommunications (téléphonie fixe et mobile, Internet),
- Aux services d'eau (eau potable, assainissement).

Enfin, cette étude a permis de dégager des pistes d'actions, locales ou globales, à mettre en place pour accélérer la réduction de la vulnérabilité des réseaux liée au risque d'inondation.

3. Les conséquences prévisibles de l'inondation

Au cours des précédents Plan Loire, les travaux de l'Equipe Pluridisciplinaire ont permis de caractériser avec plus ou moins de précision les conséquences potentielles de l'inondation sur les enjeux. En effet, pour certains types d'enjeux, le travail n'a pas pu dépasser une phase exploratoire souvent pilote en la matière.
Depuis, certaines de ces études ont été ou sont en voies d'être complétées.

Point méthodologique :

Définitions
La vulnérabilité exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux. Différentes actions peuvent la réduire en atténuant l'intensité de certains aléas ou en limitant les dommages sur les enjeux.

Extrait de la directive inondation
« l'évaluation des conséquences négatives potentielles d'inondations futures en terme de santé humaine, d'environnement, de patrimoine culturel et d'activité économique, en tenant compte d'autant que possible d'éléments tels que la topographie, la localisation des cours d'eau et leurs caractéristiques hydrogéologiques et géomorphologiques générales, y compris les plaines d'inondation en tant que zones de rétention naturelle, l'efficacité des infrastructures artificielles existantes de protection contre les inondations, la localisation des zones habitées, les zones d'activité économique ainsi que les évolutions à long terme parmi lesquelles les incidences des changements climatiques sur la survenance des inondations. »

Objectif

a. Santé humaine

A notre connaissance, le sujet de l'impact de l'inondation sur la santé humaine à court et long terme est peu connu, et l'on ne dispose pas d'études de référence sur le sujet.
Il est intéressant de connaître les impacts de l'inondation en terme de santé (maladies, atteintes psychologiques), sur les conditions de vie (dégradations des logements, etc.) ainsi que sur l'accès de la population aux services de santé, de scolarité, aux services administratifs et autres services publics.

b. Environnement

Phénomènes de pollution liée à la crue :

Une étude préliminaire a été menée sur la Loire moyenne afin d'étudier le phénomène de pollution en lien avec l'inondation.

L'objectif de cette étude intitulée « Etude préliminaire des risques et des impacts de pollution dans le cadre de la stratégie de réduction des risques d'inondation par les crues fortes en Loire moyenne » est d'évaluer la réalité d'un risque de pollution en forte crue sur la Loire moyenne. Il s'agit à partir des expériences sur d'autres bassins et des enjeux socio-économiques sur la Loire moyenne de définir les différents types de pollutions, les cibles potentielles. Il s'agit aussi de définir à partir des résultats hydrauliques les différents modes de transport des pollutions et la concentration probable de ces pollutions.

Un retour d'expérience succinct sur les crues de 1997 en Pologne, de 1995 en Bretagne et de 1993 au Mississipi a permis de répertorier les différents risques de pollution en crue.
A partir des enjeux socio-économiques de la base de données Loire moyenne et de la bibliographie, différents types et sources de pollutions ont été définis ainsi que pour les impacts.
A partir d'un raisonnement sur les volumes d'eau et les différentes sources de pollution, une concentration critique d'apparition des premières conséquences par type de polluant a été évaluée pour trois niveaux de crue. Un classement sur le risque de pollution et les impacts a été réalisé par secteur et par niveau de crue, pour différents types de pollution.

<u>Atteintes à craindre des crues fortes à très fortes sur les milieux naturels sensibles :</u>

Si les crues fortes ont un effet bénéfique sur les milieux naturels et la morphologie du fleuve, il n'en est pas de même pour les crues fortes à très fortes.
L'Equipe PLGN a conduit une étude prospective pour caractériser et éventuellement hiérarchiser les atteintes à craindre de ces crues sur les milieux naturels sensibles.

Le tableau ci-dessous propose de quantifier les impacts d'une crue forte sur les milieux à l'aide d'une échelle à 5 niveaux :

++	impact positif	Reconstitution du milieu avec sa structure d'origine rajeunie
+	impact favorable	Reconstitution du milieu en cours
0	impact nul	Maintien du milieu en l'état
-	impact négatif	Destruction partielle du milieu ou destruction complète mais locale du milieu
- -	Impact très négatif	destruction totale du milieu sur l'ensemble du périmètre d'étude

	Milieux / Critères d'appréciation	Impact direct des crues l'année N	Impact des crues au cours des années suivant l'année N (avec retour au rythme normal de crues et d'étiages) 1-5 ans	6-25 ans	> 25 ans
LIT MINEUR	Communautés des vases et sables humides	- -	+	0	0
	Communauté des basses vaseuses du lit mineur	- -	+		
	Communauté des hauts de grèves à *Hieracium peleterianum subsp. ligericum* et *Corynephorus canescens*	- -	+		
	Communautés d'hélophytes, Mégaphorbiaies	de - à 0 selon les endroits	+		
	Saulaies arbustives		+		
	Saulaie - Peupleraie		+	+	
LIT MAJEUR ENDIGUÉ	Friche herbacée sèche	-	+	0	0
	Pelouses et Lande à Armoise champêtre	-	0	+	
	Prairies naturelles	de - à 0 selon les endroits	0 ou +	+	
	Landes à Genêts		0	+	
	Fruticée (arbustes épineux)		0	+	
	Frênaie - Ormaie		0	0	+
	Chênaie à chêne pédonculé		0	0	+
	Robineraie		+	0	+
	Cultures	-	dépend d'interventions humaines		
	Prairies mésophiles semi-naturelles	de - à 0 selon les endroits			
	Peupleraies plantées				

Impacts des crues fortes et exceptionnelles sur les milieux naturels et anthropisés présents dans le lit endigué en Loire moyenne

La capacité de régénération des milieux à la suite de très fortes crues n'est pas bien connue à l'heure actuelle et mériterait des compléments d'étude, qui permettraient également d'envisager des techniques de prévention de ces milieux.

c. *Patrimoine culturel*

Les dégâts causés par les inondations sont particulièrement graves pour les biens patrimoniaux étant donné :

- Leur caractère unique, ce qui exclut leur remplacement,
- Leur état souvent précaire étant donné leur ancienneté et le coût de leur entretien,
- La difficulté d'évaluer leur valeur marchande, ce qui rend leur assurance difficile.

Une inondation présente des conséquences directes et indirectes sur les biens patrimoniaux, qui ne se limitent pas à un simple débordement d'eau :

- Les eaux d'inondation ne sont pas propres mais elles transportent toutes sorte de produits en suspension (boues, détritus mais aussi produits chimiques et surtout, en surface, hydrocarbures). Ces produits se répandent avec l'eau de crue et restent piégés.
- Les eaux d'inondation surgissent souvent à des endroits imprévus : du sol (remontée de nappe) ou par les canalisations d'évacuation d'eaux usées (refoulement). Une cure peut se manifester dans la cave ou les sanitaires avant l'expansion en surface attendue.
- Les eaux d'inondation peuvent avoir une dynamique : soit par le courant de la crue, qui peut être augmenté en cas de surverse ou de rupture de levée, soit par la pression exercée sur les ouvertures des bâtiments et leur rupture éventuelle ?
- Les eaux d'inondation créent une atmosphère humide qui perdure très longtemps après leur retrait (plusieurs mois) et l'humidité remonte dans les murs bien au-delà du niveau atteint par la crue.

On peut attendre des dommages au patrimoine architectural difficiles à évaluer en l'absence de description précise des travaux qu'il faudrait conduire pour réhabiliter les cales, quais, ponts et autres maisons et immeubles atteints. Des œuvres d'art pourraient être endommagées ou détruites, sans que l'on puisse en estimer les conséquences sociales et financières.

d. Activités économiques

La diversité des activités économiques, de l'entreprise à l'exploitation agricole rend l'étude des conséquences potentielles de l'inondation et de leur vulnérabilité particulièrement complexe. Cependant, celle-ci a fait l'objet de nombreuses études sur le bassin de la Loire ou à l'échelle nationale (Cf. annexe).

e. Evaluation des dommages

Une évaluation des dommages par inondation a été réalisée pour plusieurs temps de retour sur la Loire par l'Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire. Les résultats de ces évaluations sont présentés dans l' « Atlas des enjeux socio-économiques exposés au risque d'inondation en Loire-moyenne » publié en février 2000.
Aucune estimation des dommages n'a été réalisée à l'échelle du bassin depuis.

D. Glossaire

Aléa :
L'aléa est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité donnée. Il est lié à l'intensité de la crue et au comportement du système de protection.

Bassin hydrographique :
Un bassin versant ou bassin hydrographique (terme retenu par la directive-cadre sur l'eau) est une portion de territoire délimitée par des lignes de crête, dont les eaux alimentent un exutoire commun : cours d'eau, lac, mer, océan, etc. La ligne séparant deux bassins versants adjacents est une ligne de partage des eaux. Chaque bassin versant se subdivise en un certain nombre de bassins élémentaires (parfois appelés « sous-bassin versant ») correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal.
DCE : «bassin hydrographique»: toute zone dans laquelle toutes les eaux de ruissellement convergent à travers un réseau de rivières, fleuves et éventuellement de lacs vers la mer, dans laquelle elles se déversent par une seule embouchure, estuaire ou delta;

Brèche :

Une brèche est une rupture « brutale » de la digue en crue, provoquant une vague de submersion dans la plaine inondable que l'ouvrage était censé protéger.

Crue :
Une crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans le cours d'eau. Son importance dépend de la hauteur d'eau, de la vitesse d'écoulement et de la durée.

Déversoir :

Les déversoirs sont des ouvrages aménagés dans la digue qui contrôlent l'inondation des vals. Ils ne fonctionnent qu'à une certaine hauteur d'eau en Loire et évitent pour la levée toute surverse en aval pour les débits égaux ou supérieur.

Digue :
Une digue est un ouvrage longitudinal qui n'a pas fonction de retenir l'eau mais plutôt de faire obstacle ç sa venue. Réglementairement, il faut comprendre par « digue » l'ensemble cohérent du point de vue du fonctionnement hydraulique et de la protection contre les crues. Elle est donc constituée de l'ouvrage longitudinal et de ses annexes.
Circulaire du 8 juillet 2008 relative au contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques au titre des dispositions mises en place par le décret 2007-1735 du 11 décembre 2007.

Directive cadre sur l'eau :
Directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire de l'eau, communément appelée directive cadre. Abréviation : DCE. Elle fixe des objectifs et des échéances, dont le « bon état » des eaux en 2015, et établit une procédure pour les atteindre : réalisation d'un état des lieux, définition d'un programme de surveillance, consultation et participation du public à l'élaboration des plans de gestion du bassin, adoption d'un programme de mesures, récupération des coûts, etc.

Dommage :
Traduction monétaire des conséquences d'une inondation.

District hydrographique :
Au sens de la Directive cadre sur l'eau, dans l'union européenne, un District hydrographique est une « *zone terrestre et maritime, composée d'un ou plusieurs bassins hydrographiques ainsi que des eaux souterraines et eaux côtières associées, identifiée comme principale unité aux fins de la gestion des bassins hydrographiques* »,
Le **District hydrographique** ne doit pas être confondu avec le *« Bassin hydrographique »* qui est définit comme l'échelle géographique inférieure.

Enjeux :
Les enjeux peuvent être de trois ordres : sociaux, économiques ou environnementaux.

Inondation :
« Submersion temporaire par l'eau de terres qui ne sont pas submergées en temps normal. Cette notion recouvre les inondations dues aux crues des rivières, des torrents de montagne et des cours d'eau intermittents méditerranéens ainsi que les inondations dues à la mer dans les zones côtières et elle peut exclure les inondations dues aux réseaux d'égouts. » Extrait de la directive Inondation :

Risque d'inondation :

Le risque est le résultat du croisement des prévisions de submersion (l'aléa) par la vulnérabilité des enjeux. Lorsque l'un des paramètres varie, le produit évolue dans le même sens. Rechercher une réduction des risques correspond à un objectif de réduction de l'aléa et de réduction de la vulnérabilité des enjeux.

Temps de retour de crue :
Il s'agit de la moyenne statistique de la durée de l'intervalle séparant deux occurrences consécutives d'une crue de caractéristiques semblables (souvent calculé sur la valeur du débit de pointe).
Dans le cas d'un évènement rare, le temps de retour correspond à l'inverse de la probabilité d'occurrence de l'évènement considéré au cours d'une année quelconque.
Ainsi un phénomène ayant une période de retour de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se produire ou d'être dépassé chaque année. Cela est vérifié à condition de considérer une très longue période. Mais il peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années, parfois une seule), se répéter plusieurs fois.

Vulnérabilité :
La vulnérabilité représente la sensibilité des enjeux en fonction de l'aléa. Elle varie aussi en fonction de la capacité collective et individuelle à anticiper les dangers et les dégâts.

E. Bibliographie

Titre	COMMANDITAIRE	AUTEUR	ANNEE
Crues historiques			
Recherches historiques sur les inondations du Rhône et de la Loire		M.Champion	1856
Inondations du département d'Indre-et-Loire 1846-1856		Rouillé-Courbe	1858
Quand la Loire était en colère		Jean-Marie Flonneau, Christine Joux, Christian Poitou	Nov-93
Les crues de la Loire et de l'Allier et affluents du 1e au 11 décembre 2003		La Loire et ses terroirs	Janv-04
Retour d'expérience sur la crue de décembre 2003, Cartographie des zones inondées et des conséquences de la crue	EP Loire	Saunier Environnement	Mai-06
Reconstitution et simulation de la crue de décembre 2003 entre Nevers et Tours, avec et sans l'action du barrage de Villerest.	EP Loire	Hydratec	Juin-04
Hier, la crue de 1856… - Colloque organisé par l'agglomération de Nevers les 23 et 24 novembre 2006	ADN	Etudes Ligériennes n°14	Nov-06
Colère de Loire en 1907		Jean Rivier	Sept-07
Indomptable Loire Mémoire des crues (édition limitée pour le centenaire de la crue)		Fabien Genet	Déc-07
Documents d'archives sur la crue de 1856 : collecte, mise en forme et mise en valeur des articles de journaux existant dans les archives	Equipe pluridisciplinaire	Loire et Terroirs	2005
Recueil des données hydroclimatologiques pour les crues de 1846 et 1866	Agence de l'Eau Loire Bretagne	Ginger Environnement	Déc-06
Système de protection			
Histoire des levées de la Loire		Dion R.	1961
La Loire - Histoire des protections contre les crues	DIREN Centre	DIREN Centre	Sept-96
Etude ethno-historique sur la mise en place des ouvrages de protection contre les inondations de la Loire dans les deux derniers tiers du XIXe siècle sur deux sites du Loiret: Sully/Cuissy et Jargeau		Equipe Pluridisciplinaire	2001
Actualisation du risque de rupture dans les levées de la Loire	Equipe pluridisciplinaire	Halbecq	1997
Atlas et aléas			
Atlas des zones inondables de la vallée de la Loire	DIREN Centre	DIREN Centre	Janv-95

Les enseignements du modèle Loire	Equipe Pluridisciplinaire	MINEA, Hydratec	Févr-98
Atlas de l'extension prévisible des inondations pour les crues fortes en Loire moyenne	Agence de l'Eau Loire-Bretagne	SOGREAH	Août-02
Etude des Vals de Bréhémont et du Vieux Cher-Modélisation Bidimensionnelle	DDE Indre-et-Loire	SOGREAH	Févr-06
Réalisation d'une base de données sur les vals inondables de la Loire moyenne et cartographie du sol en zone inondable	Equipe pluridisciplinaire	Florent EUSEBE	1995
Méthodologie de cartographies des ZI	Equipe pluridisciplinaire	Intervenance	1997
CD Rom crues Loire moyenne	Equipe pluridisciplinaire	Multimages	2005
Crues de la Loire et hydrologie			
Etude Loire moyenne : Synthèse des connaissances hydrologiques		Jean-Noël GAUTIER	2001
La Loire en crue	Equipe Pluridisciplinaire	MINEA, Hydratec	Juin-97
Diagnostic de la propagation des crues dans la situation actuelle	Equipe Pluridisciplinaire	MINEA, Hydratec	Janv-98
Analyse de la cohérence des données hydrométriques sur la Loire moyenne	Equipe pluridisciplinaire	HYDRATEC	1997
Transfert entre Roanne et Nevers des hydrogrammes crues fortes	Equipe pluridisciplinaire	Horizons	1997
Analyse du régime hydrologique des cours d'eau	Equipe pluridisciplinaire	Gwenaëlle MENEZ Guillaume BONTRON	1997
Analyse de l'hydrologie des affluents majeurs de la Loire à l'aval de Tours	Equipe pluridisciplinaire	INTERVENANCE	1998
étude précipitations extrêmes sur la Loire amont bec d'Allier	Equipe pluridisciplinaire	Epteau	1998
Exploitation de données sur la concomitance Loire-Vienne pour déterminer la période de retour de ce phénomène et de ses conséquences	Equipe pluridisciplinaire	Nidhal BEN ALI	1999
Recherche des données hydro climatologiques sur le bassin de la Loire	Equipe pluridisciplinaire	Acthys	2004
Morphologie			
Etude de la dynamique de la vegetation de la plaine alluviale de la Loire - Essai de caractérisation du fonctionnement écologique des groupements végétaux de la Loire et la Saône et Loire	Equipe Pluridisciplinaire	ADESVV	1996
Suivi de l'évolution morphologique du lit de la Loire entre Orléans et Tours	Equipe Pluridisciplinaire	Emmanuel PREVOTEAU	1996
Morphologie du lit fluvial et analyse du transport solide sur la Loire moyenne du Bec d'Allier à Angers	Equipe Pluridisciplinaire	Benoît DUJOLS - Philippe GINESTET	1996
Evolution morphologique du lit de la Loire entre Tours et le Bec de Vienne	Equipe Pluridisciplinaire	Sébastien CRUYPELINCK	1996
Définition des applications géomorphologiques du SI sur l'évolution du lit	Equipe Pluridisciplinaire	Université de Tours	1997
Diagnostique du fonctionnement géomorphologique de la Loire moyenne	Equipe Pluridisciplinaire	EPTEAU	1997
Mesure de paramètres géomorphologiques du lit de la Loire par traitement d'images	Equipe Pluridisciplinaire	Luis Manuel LOUREIRO	1997

Analyse géomorphologique de l'évolution du lit de la Loire	Equipe Pluridisciplinaire	Jean-René Malavoi	1998
Analyse du transport solide en Loire moyenne	Equipe Pluridisciplinaire	Jean-Jacques Peters	1998
Méthode d'utilisation des informations contenues dans la banque sous sol pour l'appréciation de l'épaisseur de sédiments remobilisable (Sophie Gaultier)	Equipe Pluridisciplinaire	ADESVV	1998
Impact de la végétation sur la sédimentation et réciproque	Equipe Pluridisciplinaire	Stéphane RODRIGUES	1999
Remontée de nappes			
Etude technique sur le risque de percolation dans les levées et de remontée de nappe dans les vals de Loire moyenne - Application au val d'Avaray	Equipe Pluridisciplinaire	BRGM - SGR Centre	1998
Caractérisation du risque d'inondation par remontée de nappe sur le Val d'Orléans	Equipe Pluridisciplinaire	BRGM	2001
Villerest et ouvrages			
Onde de submersion à l'aval du barrage de Villerest	EP Loire	EDF – LNH	1974
Révision et complément de l'étude de l'onde de submersion du Barrage de Villerest	EP Loire	ISL	Janv-01
Reconstitution et simulation de la crue de décembre 2003 entre Nevers et Tours avec et sans l'action du barrage de Villerest	EP Loire	Hydratec	Juin-04
Méthode de caractérisation des dommages	Equipe Pluridisciplinaire	ENPC	1995
Analyse de l'écrêtement de crues exceptionnelles de l'Allier par l'ouvrage du Veurdre	Equipe Pluridisciplinaire	SAFEGE	1997
Transfert entre Roanne et Nevers des hydrogrammes des crues fortes écrêtées par le barrage de Villerest	Equipe Pluridisciplinaire	HORIZONS	1998
Enjeux et dommages			
La population et les activités exposées au risque d'inondation par la Loire dans les communes de plus de 10 000 habitants de la Région Centre		INSEE Centre	2007
Enjeux et dommages dans le lit de la Loire	Equipe Pluridisciplinaire	MINEA, Hydratec	Juin-99
Atlas des enjeux socio-économiques exposés au risque d'inondation en Loire moyenne	Equipe Pluridisciplinaire	MINEA, Hydratec	Févr-00
Le coût du risque…l'évaluation des impacts socio-économiques des inondations	MEDD, Agence de l'eau Seine Normandie	GLS	Nov-99
Etude définition de critères dommages directs et indirects liés aux inondations	Equipe Pluridisciplinaire	LAMSADE Université Paris IX Dauphine	1997
Evaluation des dommages potentiels à l'habitat et aux équipements sur les vals ruraux de la Loire moyenne	Equipe Pluridisciplinaire	Urbi & Valley	1997
Evaluation dommages potentiels pour vals Orléans, Tours et Authion	Equipe Pluridisciplinaire	Sophie Clerc	1997

Etude sur l'évaluation des dommages indirects liés aux inondations en Loire moyenne	Equipe Pluridisciplinaire	Bruno Ledoux Consultant/Alitec Sarl	1997
Automatisation du calcul des dommages à partir des scénarios de la modélisation hydraulique	Equipe Pluridisciplinaire	William HALBECQ	1997
Evaluation du coût des secours en cas de crue de la Loire moyenne à partir d'une étude de cas (crue de la Vilaine de 01.95)	Equipe Pluridisciplinaire	ECODECISION	1997
Méthode d'évaluation des enjeux	Equipe Pluridisciplinaire	BLC	1997
Etude des conséquences potentielles engendrées par les inondations de la Loire sur le val d'Authion	Equipe Pluridisciplinaire	Vincent LAMBERT	1997
Evaluation des dommages potentiels à l'habitat et aux activités économiques	Equipe Pluridisciplinaire	Urbi et Valley	1998
Les enjeux liés au risque d'inondation d'une crue forte en Loire Moyenne : Etude prospective - la cas du val d'Ouzouer - rapport et synthèse	Equipe Pluridisciplinaire	Jean-Philippe PERCHERON	1998
Localisation fine des enjeux exposés au risque d'inondation dans 30 communes riveraines de la Loire	Equipe Pluridisciplinaire	Romuald COLIN	1999
Risque d'inondation sur les vals de Bréhémont et du Vieux-Cher	Equipe Pluridisciplinaire	Ingrid HERMITEAU	1999
Habitat et santé humaine			
Estimation des populations et des logements en zone inondable – 1ère phase	MEDAD	IFEN	2008
Croissance du nombre de logements en zones inondables	MEEDAT	Commissariat général au développement durable	2009
Analyse de la perception des risques d'inondation par les populations concernées	Equipe Pluridisciplinaire	Laboratoire de Psychologie Environnementale	2003
Vulnérabilité de l'habitant au risque inondation	Equipe Pluridisciplinaire	Laboratoire de Psychologie Environnementale - CNRS	2003
Réseaux			
Méthode d'évaluation des enjeux et des dommages directs potentiels pour les scénarios de gestion des crues de la Loire moyenne	Equipe Pluridisciplinaire	Ecodécision	Oct-97
Diagnostic de la vulnérabilité aux inondations des services d'eau	Equipe Pluridisciplinaire	Ecodécision	Mars-01
Etude sur les conséquences potentielles d'une inondation sur les réseaux d'eau potable et d'assainissement	Equipe pluridisciplinaire	ECODECISION	1997
Evaluation des conséquences d'une inondation sur les réseaux EDF, France Telecom et SNCF en Loire moyenne	Equipe Pluridisciplinaire	R.Colin	Mai-98
Bilan sur les crues de la Loire du 4 au 11 décembre 2003	Conseil Général du Loiret	Direction des Routes Départementales	Déc-03
Le réseau électricité face à une crue majeure de la Loire	EDF Délégation régionale Centre	EDF Délégation réginale Centre	Févr-04
Etude préalable à la réduction de la vulnérabilité des réseaux liée aux inondations en Loire moyenne	EP Loire	SOGREAH, ASCONIT Consultants	Mars-06
Risques et réseaux techniques urbains	INGU, METL	CERTU	Sept-98

Vulnérabilité des réseaux urbains et gestion de crise	Ministère, Agence de l'eau Seine Normandie	CERTU	Oct-02
Etude conséquences inondations sur équipements et réseaux	Equipe Pluridisciplinaire	Association EDA	1997
Les couts de dommages pour les réseaux EDF et les routes	Equipe Pluridisciplinaire	Marie-Pierre NERARD	1997
Evaluation des conséquences des inondations sur les réseaux de Loire moyenne	Equipe Pluridisciplinaire	Romuald Colin	1998
Méthode pour réaliser un diagnostic de la vulnérabilité des équipements des services d'eau	Equipe Pluridisciplinaire	Ecodécision	2000
Activités économiques			
Guide de diagnostic des vulnérabilités aux inondations pour les entreprises	MATE-Equipe Pluridisciplinaire	Bruno Ledoux Consultants, SAGERIS	2001
Caractérisation pour une zone d'activité du couple enjeu-vulnérabilité face au risque	Equipe Pluridisciplinaire	TGE - Engref	1995
Conséquences économiques d'une inondation de la Loire sur le secteur agricole du val d'Orléans et du Val de Tours	Equipe Pluridisciplinaire		1996
Appui méthodologique pour l'évaluation dommages aux activités économiques	Equipe Pluridisciplinaire	Bruno Ledoux	1997
Vulnérabilité des entreprises aux inondations - Martine BOUVIER	Equipe Pluridisciplinaire	ASCA	1997
Evaluation des enjeux et dommages directs potentiels pour les activités économiques situées en zone inondable de la Loire moyenne	Equipe Pluridisciplinaire	ASCA	1997
Evaluation de l'altération du dynamisme économique des communes atteintes en crue centennale	Equipe Pluridisciplinaire	STRATES	1998
Enjeux écologiques			
Potentialités écologiques des vals inondables en Loire moyenne	Equipe Pluridisciplinaire	CDPNE	1997
Risque de pollution en crue			
Risques de pollution chimique et mécanique lors des crues fortes	Equipe Pluridisciplinaire	SAFEGE	1998

F. Annexes

Courrier de la DIREN Centre du 25 avril 2008

Carte du bassin Loire-Bretagne (DIREN)

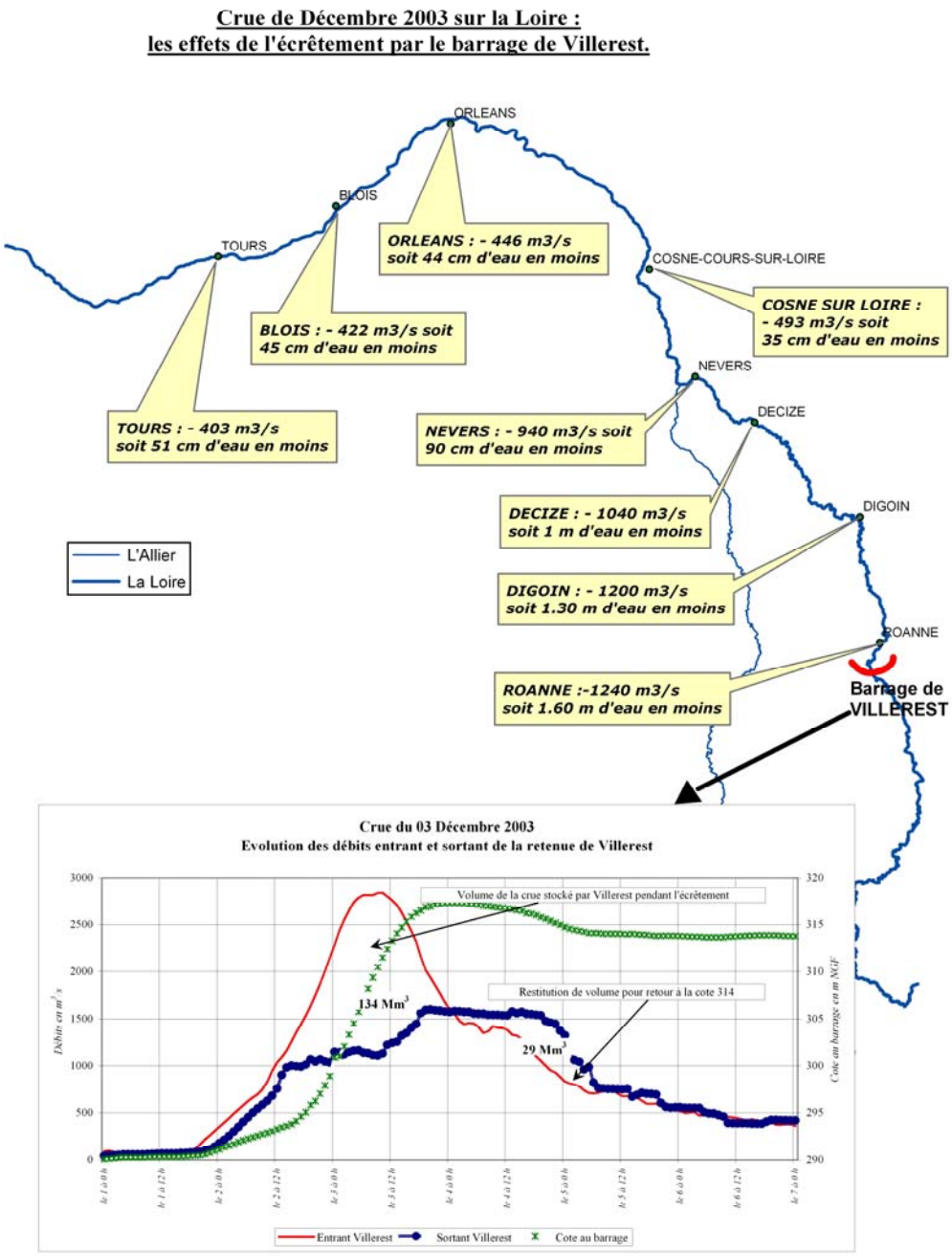
Effet du barrage de Villerest sur les crues de décembre 2003 et novembre 2008

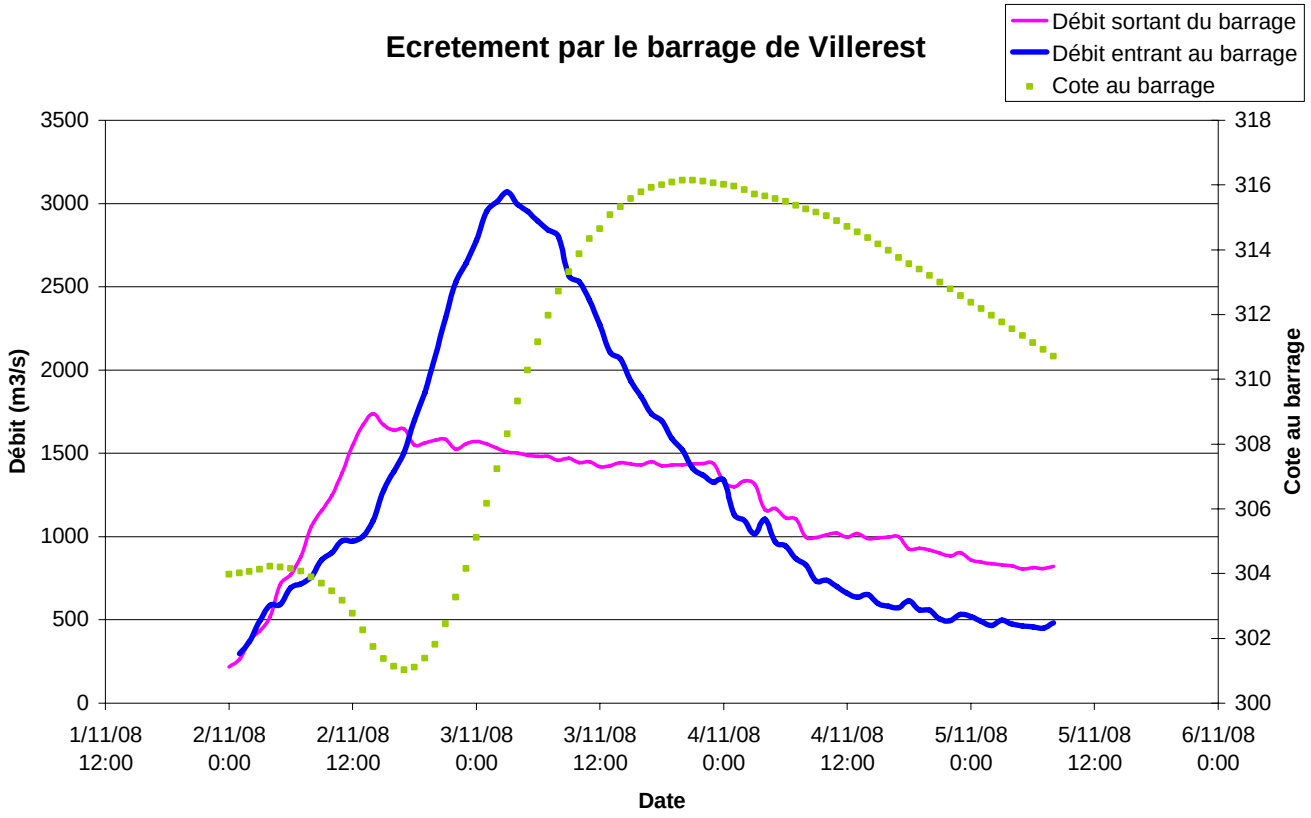
A compléter

Annexe – Effet du barrage de Villerest sur les crues de décembre 2003 et novembre 2008

La crue de décembre 2003 :

Il s'agit de la plus forte crue connue à Villerest depuis 1907. L'action du barrage de Villerest a permis de réduire son débit de 2900 m3/s à 1600 m3/s.
Les schémas suivant présentent l'impact du barrage de Villerest sur l'hydrogramme de crue et sur la ligne d'eau de la Loire. Le gain en ligne d'eau du barrage sur la Loire moyenne est de 35 à 90 cm suivant les secteurs.



La crue de novembre 2008 :

Lors de la crue de novembre 2008, le débit entrant était de 3 100 m3/s au maximum, le débit sortant maximum a été de 1 750 m3/s. La pointe de crue a ainsi été stockée dans la retenue, entraînant par ailleurs une élévation du niveau d'eau d'environ 12 m à l'amont de la retenue.