

SOMMAIRE

1. CONTEXTE GENERAL ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	2
2. CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS BASSINS VERSANTS	4
2.1 GENERALITES	4
2.2 LE BASSIN DE LA MAYENNE (HORS OUDON)	4
2.3 LE BASSIN DE L'OUDON	5
2.4 LE BASSIN DE LA SARTHE EN AMONT DE L'AGGLOMERATION MANCELLE	5
2.5 LE BASSIN DE L'HUISNE EN AMONT DE L'AGGLOMERATION MANCELLE	6
2.6 LA CONFLUENCE SARTHE-HUISNE AU DROIT DE L'AGGLOMERATION MANCELLE	6
2.7 LE BASSIN DE LA SARTHE EN AVAL DU MANS	6
2.8 LE BASSIN DU LOIR	7
2.9 LA MAINE AVAL : L'AGGLOMERATION D'ANGERS	7
3. PREVISIONS	9
3.1 ETAT DES LIEUX EN HYDROLOGIE	9
3.1.1 Analyse des crues	9
3.1.2 Analyse des étiages	13
3.2 PREVISIONS	13
3.2.1 Elaboration de schémas de prévision de crue (modèles de première génération)	13
3.2.2 Elaboration de schémas de prévision des étiages	14
3.2.3 Méthodologie en vue de la réalisation de modèles de deuxième génération	15
3.2.4 Utilisation opérationnelle des radars météorologiques	16
3.3 PRECONISATIONS POUR LA DEFINITION D'UN RESEAU OPERATIONNEL DE GESTION DES CRISES	
HYDROLOGIQUES	17
3.3.1 Annonce de crue	17
3.3.2 Prévision des étiages	18
3.3.3 En résumé	19
3.3.4 Préconisations pour une nouvelle organisation de l'annonce de crue	21
4. PREVENTION	24
4.1 GENERALITES	24
4.2 PROPOSITIONS EN VUE DE L'HOMOGENEISATION DES PLANS REGLEMENTAIRES POUR LA PREVENTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN DE LA MAINE	24
5. PROTECTIONS	27
5.1 ANALYSE DES DOMMAGES	27
5.1.1 Coût de la crue de janvier 1995 par sous-bassins	28
5.1.2 Coûts annuels moyens pour les agglomérations	30
5.1.3 Les coûts annuels moyens par sous-bassins	31
5.2 SYNTHESE DES PROTECTIONS	31
5.2.1 Protections intermédiaires	32
5.2.2 Protections éloignées	34
5.2.3 Protections locales	38
6. PRECONISATIONS DU CHARGE D'ETUDE	41
6.1 PREVISIONS	41
6.2 PREVENTIONS	42
6.3 PROTECTIONS	42
6.3.1 Retenues de stockage	42
6.3.2 Levées de terre transversales	43
6.3.3 Protections locales	44

1. Contexte général et objectifs de l'étude

Le bassin de la Maine s'étend sur une superficie de 22 020 km² et représente le premier sous-bassin de la Loire.

Son bassin concerne sept départements (Orne, Sarthe, Mayenne, Eure-et-Loir, Loir-et-Cher, Maine-et-Loire, Indre-et-Loire) et trois régions (Pays de la Loire, Basse Normandie, Centre).

L'intérêt des usagers et riverains des cours d'eau du bassin de la Maine s'est nettement manifesté ces dernières années, par la prise en compte d'aspects aussi divers que la prévention contre les crues, la préservation d'un débit minimum et de la qualité de l'eau, la remontée des poissons migrateurs, le développement du tourisme fluvial ou du tourisme vert.

Toutes ces actions s'inscrivent dans la logique du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Loire-Bretagne.

C'est dans ce souci de cohérence globale que, suite aux crues très importantes de janvier 1995 sur l'ensemble du bassin, une réflexion concertée entre les différents partenaires intéressés a présidé au lancement d'une importante étude des crises hydrologiques du bassin de la Maine. Etude également dénommée "étude 3P", car concernant les trois volets "Prévision", "Prévention" et "Protection" et intégrant non seulement les difficultés des crues, mais également celle de la gestion des étiages.

Cette étude devant déboucher en premier lieu sur la définition, pour le bassin de la Maine, du réseau de stations de télémessures CRISTAL (Centre Régional Informatisé par Système de Télémessures pour l'Aménagement de la Loire), l'EPALA (Etablissement Public pour l'Aménagement de la Loire et ses Affluents) en a assuré la maîtrise d'ouvrage.

La DIREN de Bassin est conducteur d'opération de cette étude dont le pilotage est assuré par un important Comité rassemblant la plus large représentation des Collectivités Locales (élus des Conseils Généraux des six départements concernés, ville d'Angers), des Services de l'Etat (Préfectures, DIREN des trois régions concernées, DDE et MISE des six départements), ainsi que l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, les Commissions Locales de l'Eau déjà constituées sur ce bassin et le Conseil Supérieur de la Pêche.

Compte tenu de l'importance des enjeux et de la vision globale au niveau du bassin avec laquelle cette étude doit être conduite, il a été décidé par ce Comité de Pilotage de créer des Commissions Géographiques au niveau des trois entités Maine-Mayenne-Oudon, Sarthe-Huisne et Loir.

En ce qui concerne le suivi du déroulement technique de l'étude, celui-ci est assuré par un Comité Technique rassemblant, outre le maître d'ouvrage et le conducteur d'opération, des représentants techniques des Collectivités Locales, des services de l'Etat et de l'Agence de l'Eau.

L'étude est organisée en deux phases successives :

◆ **Une première phase couvrant l'ensemble des objectifs de l'étude**

D'une durée initiale de six mois (1er semestre 1998), consiste à rassembler et synthétiser l'état de la connaissance et des difficultés du bassin, et la compléter pour réaliser les actions suivantes :

- * analyser les situations de crises hydrologiques (crues et étiages) de façon à définir les méthodes et outils destinés à comprendre, prévoir et gérer les événements à venir, en particulier par l'équipement en télétransmission et le raccordement au réseau CRISTAL des stations de mesures qui auront été préconisées ;
- * fournir aux services d'annonce de crue une première génération de méthodes de prévision des crues, directement opérationnelles et aussi simples d'emploi que possible, méthodes pouvant être enrichies au gré des évolutions et travaux, ainsi que de l'expérience acquise ;
- * décrire et évaluer les moyens à mettre en oeuvre pour définir une deuxième génération de méthodes de prévision tirant parti de l'ensemble du réseau prévu à terme ;
- * décrire et évaluer l'ensemble des éléments techniques et des méthodes restant à mettre en oeuvre pour réaliser la totalité des documents de prévention nécessaires, dans un cadre hydrologique nécessaire et suffisant, défini de façon homogène à l'échelle du bassin ;
- * identifier les options de protections envisageables pour les agglomérations sensibles, soit au niveau de protections locales (tout en veillant aux conséquences sur l'amont et l'aval), soit au niveau d'une modification possible des consignes de gestion des ouvrages existants soit enfin au niveau d'options de protections éloignées à l'échelle du bassin ou de la vallée (par exemple : augmentation du rôle des champs d'expansion des crues, voire réalisation d'ouvrages écrêteurs de crue). Cette identification (faisabilité et cadrage) débouche sur une hiérarchisation des actions à entreprendre, dans une logique à la fois de protection optimale des agglomérations et de cohérence de bassin.

◆ **Une deuxième phase constituée d'approfondissements localisés d'options de protection**

Dont la définition précise interviendra après discussions et concertation globale (fin 1998) relatives aux conclusions de la phase I. Elle visera à affiner techniquement et financièrement (étude préalable) certaines des options de protection, au vu de l'examen de ces conclusions, de façon à permettre un choix définitif puis le passage aux études d'exécution.

La durée globale de cette deuxième phase est de l'ordre de 9 mois, jusqu'à l'automne 1999.

◆ **Extension du réseau CRISTAL**

Sur la base des éléments rassemblés en première phase pourra être élaboré, un plan de financement de l'extension du réseau CRISTAL au bassin versant de la Maine (finalisation automne 1999). La mise en place des centraux et des stations principales est prévue dans le courant des trois premiers trimestres de l'an 2000. L'équipement global complémentaire (autres stations) est envisagé vers la fin de l'an 2001.

2. Caractéristiques des différents bassins versants

2.1 Généralités

Ce bassin, comme le souligne aisément la structure du réseau hydrographique, est constitué de trois rivières :

- la Mayenne et son principal affluent l'Oudon,
- la Sarthe et son principal affluent l'Huisne,
- le Loir.

Elles présentent chacune leur particularité au niveau de la formation et de la propagation des crues et convergent en amont d'Angers pour constituer la rivière Maine proprement dite, drainant au droit de sa propre confluence avec la Loire un bassin versant de 22 020 km² (voir carte).

Chacune de ces rivières réagit, lors des crues, en fonction de la répartition spatio-temporelle des précipitations, et naturellement en fonction des caractéristiques topographiques (longueur de rivière, pente, présence ou non de champs d'inondation importants), et des conditions de concomitance des différents affluents qui peuvent constituer un facteur aggravant.

Les cartes "vulnérabilité aux crues" et "vulnérabilité aux étiages" synthétisent les éléments présentés ci-après.

2.2 Le bassin de la Mayenne (hors Oudon)

◆ Crues

La rivière Mayenne, vu l'étroitesse de sa vallée, ne présente pas, hormis sur son cours supérieur, de champs d'inondations particulièrement développés, et se caractérise plutôt par des phénomènes rapides de propagation des crues. A la traversée des principales agglomérations (Mayenne, Laval, Château-Gontier), la rivière présente une capacité du lit mineur (de par les protections réalisées) ne conduisant à des débordements qu'à partir de valeurs de débit sensiblement décennales et non pas récurrentes. Sur l'ensemble de cette rivière, les difficultés liées aux crues résident davantage sur l'information qu'il convient d'améliorer pour la connaissance et la prévision du déroulement des crues sur la rivière principale et ses affluents, que sur la recherche de solutions visant à l'amélioration des conditions de protection de ces agglomérations.

◆ Etiages

En ce qui concerne les étiages, la faiblesse des ressources en eaux souterraines (du fait de la présence des roches imperméables du socle armoricain à une faible profondeur) ne permet pas, lors d'épisodes de basses eaux, de satisfaire les objectifs de quantité et de qualité liés à une activité socio-économique globalement acceptable pour l'ensemble des acteurs sur le bassin. C'est dans ce but que des aménagements importants de soutien d'étiage ont été réalisés (St Fraimbault) ou sont à l'étude (St Calais du Désert).

2.3 Le bassin de l'Oudon

Ce bassin présente une situation particulièrement critique vis à vis des crues et des étiages :

◆ Crues

Le bassin de l'Oudon a subi récemment une succession exceptionnelle de crues fortes qui a ravivé la sensibilité des riverains , notamment en ce qui concerne non seulement les agglomérations de Craon et de Segré, mais également bon nombre de villages et hameaux le long de la rivière Oudon ou de ses affluents. Hormis l'étude des possibilités de protection localisées ou éloignées (aménagement des amonts de la rivière et de ses affluents), il convient de s'interroger sur l'intérêt d'une modification des consignes de gestion (abaissement préventif) de la chaîne de retenues (ouvrages agricoles ou de navigation). Un système d'annonce de crue opérationnel fait cruellement défaut sur le haut bassin ;

◆ Etiages

En basses eaux, les nombreux prélèvements notamment agricoles, accentuent très fortement la faiblesse du soutien des étiages par les nappes affleurantes, et conduisent parfois à des "à-secs" prolongés ce qui fut le cas lors des étés 1989 à 1992, et 1996.

Dans ce cas, l'apparition des étiages est étroitement liée à celle des besoins en eau de la profession agricole, et pour lesquels des projets d'aménagement de sites de soutien d'étiage, ou de réalisation de retenues collinaires ont déjà été étudiés.

2.4 Le bassin de la Sarthe en amont de l'agglomération mancelle

Le bassin de la Sarthe amont se trouve concerné de façon modérée par les crues et les étiages qui peuvent néanmoins se traduire avec une certaine acuité au niveau de l'agglomération d'Alençon :

◆ Crues

Cette agglomération ne connaît de dommages importants qu'à partir de crues sensiblement décennales, hormis certains bas quartiers (dont celui de Courteille) concernés par des problèmes de saturation et de refoulement des réseaux d'assainissement. Par contre, et cela d'une façon générale sur ce bassin, ont souvent été évoquées les améliorations possibles au niveau d'une information générale sur le déroulement des crues de la Sarthe et de certains de ses affluents.

◆ Etiages

En étiage, les problèmes d'alimentation en eau potable deviennent importants lorsque le débit moyen de la Sarthe descend en dessous de 500 l/s (cas des années 1991, 1992 et 1996) ; de plus, certains affluents du haut bassin connaissent quelques à-secs lors de ces épisodes sévères.

2.5 Le bassin de l'Huisne en amont de l'agglomération mancelle

D'une manière générale, ce bassin, de par sa structure géologique particulière (alimentation par la nappe du Cénomaniens), ne connaît pas de problèmes d'étiage particuliers sur la rivière principale. Seuls quelques à-secs peuvent apparaître sur les amonts de certains affluents.

Les crises hydrologiques concernent davantage les crues, pour lesquelles des agglomérations importantes comme Rémalard, Nogent le Rotrou, la Ferté Bernard et naturellement le Mans (voir ci-après) peuvent subir des dommages importants.

Les options de protection étudiées à l'occasion d'étude récente (étude BRL 1997) ont conduit à préconiser d'une part des protections locales pour Rémalard, Nogent le Rotrou et la Ferté Bernard, d'autre part la réalisation de trois retenues (Mauves/s/Huisne, Margon sur l'Huisne, et sur le ruisseau de Boiscorde en amont de Rémalard) permettant ainsi d'atténuer les hauteurs de submersions au droit de ces agglomérations de 22 cm à Rémalard, 44 cm à Nogent le Rotrou, 15 cm à la Ferté Bernard, et moins de 5 cm au Mans.

Les difficultés au niveau du Mans ne se trouvent donc pas résolues par ces seules préconisations d'où la recherche de solutions complémentaires, évoquées ci-après.

2.6 La confluence Sarthe-Huisne au droit de l'agglomération mancelle

Cette importante agglomération a connu des inondations très dommageables lors des fortes crues de 1966 et très récemment en 1995 ; il convient, tout en demeurant dans une logique de cohérence à l'échelle des bassins de la Sarthe et de l'Huisne, de rechercher l'ensemble des préconisations susceptibles d'atténuer au maximum les conséquences de telles crues.

L'étude récente évoquée ci-dessus a été poursuivie par un examen des possibilités qu'offre le lit majeur de l'Huisne en amont du Mans (et plus précisément entre Nogent le Rotrou et la Pécardière), pour atténuer de façon significative les hauteurs de submersion dues aux crues dans l'agglomération mancelle.

De ce fait, l'étude sommaire de la réalisation d'une cinquantaine de levées transversales de 1 m de hauteur en moyenne sur ce secteur, conduit à estimer à 10 cm le gain obtenu en hauteur (10 % en débit), tout en décalant (ralentissant) l'hydrogramme de crue de l'Huisne de l'ordre de 24 heures.

Ces aménagements seront étudiés dans le chapitre "Protection", dans un cadre de préfaisabilité, sur le bassin amont de la Sarthe, sous réserve de l'analyse des risques de concomitance des deux rivières Sarthe et Huisne au Mans, et des décalages (et donc des possibilités de resynchronisation) des pointes de crue.

2.7 Le bassin de la Sarthe en aval du Mans

En aval du Mans, les problèmes liés aux crues concernent essentiellement l'information sur le comportement des affluents au voisinage immédiat de l'agglomération de Sablé sur Sarthe (les rivières la Vègre, l'Erve et la Vaige), comme ce fut le cas lors de la crue de 1995.

En ce qui concerne les basses eaux, les problèmes se posent sur les bassins versants des affluents (Vègre notamment), sur lesquels les nombreux pompages agricoles contribuent à accentuer la sévérité des étiages. Par contre, du fait de l'alimentation essentiellement en provenance du bassin de l'Huisne, la rivière Sarthe elle-même ne présente pas de problèmes particuliers.

2.8 Le bassin du Loir

Sur le bassin du Loir, les inconvénients liés aux crues et aux étiages peuvent revêtir, selon les secteurs, un aspect particulièrement critique :

◆ Crues

Les crues, par leur soudaineté, affectent le haut bassin du Loir et ses affluents comme l'Ozanne ou l'Eggonne, provoquant ainsi d'importants dommages sur les communes ou agglomérations comme Alluyes, Bonneval ou Chateaudun. Les agglomérations situées en aval peuvent être concernées également par des apports brutaux d'affluents comme l'Yerre (en amont de Cloyes/s/Loir, Vendôme ou Montoire) ou la Brayé (en amont de La Chartre, Le Lude, La Flèche et Durtal).

Ces agglomérations sont susceptibles de subir actuellement des dégâts importants pour des crues de temps de retour compris entre 5 et 10 ans (pour Vendôme, La Flèche et Durtal) et entre 10 et 25 ans (Bonneval, Chateaudun, Cloyes, Montoire, Le Lude). Une importante étude, réalisée en 1986-1987, avait préconisé la réalisation de travaux localisés au niveau de ces agglomérations, complétés par la réalisation de retenues (3 sur le Loir amont et 1 sur la Brayé, avec le double objectif d'écêtement des crues et de soutien des étiages, et une sur l'Yerre destinée uniquement à l'écêtement des crues).

◆ Etiages

Les étiages sont très sévères sur les affluents rive gauche du Loir amont (la Conie, l'Aigre), du fait du très fort abaissement général des niveaux de la nappe de Beauce depuis quelques années : dans la moyenne vallée du Loir, les problèmes d'eutrophisation peuvent affecter en certains endroits la qualité hydrobiologique de la rivière.

2.9 La Maine aval : l'agglomération d'Angers

Les inconvénients majeurs au niveau de l'agglomération angevine résident dans le fait que les inondations et submersions sont étroitement liées non seulement aux débits en provenance du bassin de la Maine mais également aux débits de la Loire. En effet, du fait de la configuration topographique relativement "plate" de l'ensemble du secteur (comprenant l'agglomération d'Angers) situé entre la Pointe de Bouchemaine à l'aval, et les confluences amont (Mayenne-Oudon, Sarthe-Loir), le niveau de la Maine à Angers (référence l'échelle du pont de Verdun) est extrêmement lié, par effet de remous, à la somme des débits Maine+Loire amont.

Outre quelques aménagements de protection locaux envisageables, les options d'études s'orientent :

- d'une part sur les conséquences des aménagements proposés en amont, que ce soit à l'échelle locale d'agglomérations (mais les conséquences pour Angers seront très réduites), ou que ce soit plutôt à l'échelle des sous-bassins ou vallées (ralentissement dynamique des crues, ouvrages ...), tout en considérant que le débit de la Maine ne constitue qu'une partie assez faible du débit total enregistré à Montjean
- d'autre part sur l'élaboration de schémas de prévision de l'évolution des niveaux à Angers, en intégrant les prévisions en débit sur le bassin de la Maine et sur la Loire amont (Saumur) et l'évolution des niveaux à Angers en fonction des débits de l'ensemble Maine + Loire.

3. Prévisions

3.1 Etat des lieux en hydrologie

La description générale du bassin versant de la Maine, de son réseau hydrographique et de l'implantation des réseaux de mesures existants ont permis de faire un bilan global de la situation actuelle précisant le degré de vulnérabilité du bassin.

3.1.1 Analyse des crues

L'importance des crues sur le bassin est directement liée à celles des précipitations. Ainsi, la crue de 1995 a suivi une succession d'épisodes pluvieux assez étalés dans le temps, correspondant à une succession de passage de fronts froids. Ce type de situation est d'ailleurs très fréquent pendant la période "hivernale" de novembre à mars.

L'analyse de la pluviométrie montre également une répartition spatiale liée au caractère océanique, à l'altitude et à la situation des bassins par rapport aux reliefs environnants ainsi qu'une répartition saisonnière des précipitations sur le bassin.

Le régime pluvial général est caractérisé, en cours d'année et sur l'ensemble du bassin par un automne et un hiver pluvieux (novembre à mars-avril), suivis d'un printemps plutôt sec. La courbe des régimes des débits pour l'ensemble du bassin (Sarthe, Mayenne, Loir) confirme cette tendance.

De plus, une crue donnée n'a pas nécessairement la même période de retour d'amont en aval des sous-bassins, en fonction de la répartition pluviométrique.

La description de la genèse des crues (notamment la crue exceptionnelle de janvier 1995) montre l'importance de la prise en compte de l'évolution d'un "indice de débits antérieurs" représentant de façon synthétique l'état de "saturation" du bassin versant à partir d'une certaine valeur (selon les bassins).

Par ailleurs, la réaction des bassins aux événements pluvieux reste assez rapide tandis que les vitesses de propagation des crues varient sensiblement en fonction du bassin et de l'importance de la crue.

Débits caractéristiques de crue

Le tableau T1 récapitule les résultats des ajustements statistiques au droit des stations hydrométriques suivies par les DIREN.

Les estimations des débits de période de retour 5 ans, 10 ans, 50 ans, 100 ans et 200 ans serviront de données de base pour la prévention et les protections.

Ces estimations permettent de définir la période de retour des principales crues récentes sur les trois principaux cours d'eau du bassin de la Maine : la Mayenne, la Sarthe et le Loir (voir tableau).

Le tableau T2 récapitule les principales crues des dernières décennies ainsi que la période de retour associée.

Concomitance de crues

En ce qui concerne la concomitance des crues sur les sous-bassins, l'analyse des hydrogrammes sur 12 des crues les plus récentes montre :

- Sarthe et Huisne :

La Sarthe est par 6 fois en avance sur l'Huisne d'environ 5 heures (entre 2 et 11 heures), et l'Huisne est par 6 fois en avance sur la Sarthe d'environ 11 heures (entre 5 et 21 heures). On ne peut donc conclure à une coïncidence systématique des crues, mais, compte tenu de la configuration habituelle des hydrogrammes, ces décalages sont peu significatifs, leur traduction en hauteur par rapport à une coïncidence parfaite étant de l'ordre de 10 cm.

- Maine (Mayenne, Oudon, Sarthe et Loir) :

En règle générale, les débits de pointe apparaissent le même jour sur la Mayenne (à Chambellay) et sur l'Oudon (à Port aux Anglais), alors que les débits maxima apparaissent à Sablé-Beffes sur la Sarthe plutôt 1 à 2 jours après, et à Durtal sur le Loir 3 jours après.

Le temps de propagation entre ces stations et Angers est de même ordre de grandeur, sauf pour la station de Beffes, où il convient d'ajouter environ 12 heures par rapport aux trois autres stations.

En résumé, un observateur placé à la confluence des trois rivières (Mayenne, Sarthe, Loir) verra arriver la pointe de crue de la Mayenne grossie de l'Oudon le jour J, celle en provenance de la Sarthe 1,5 à 2,5 jours plus tard et celle du Loir encore 1 ou 2 jours plus tard.

- Maine et Loire

Le risque majeur de concomitance de crues sur les bassins de la Loire et de la Maine provient des crues d'origine océanique. Ces crues sont habituellement consécutives à la persistance d'une circulation atmosphérique d'origine atlantique avec des trains successifs de perturbations pouvant s'étaler sur des durées de 1 à 3 mois (cas de la crue de 1995).

La probabilité de la concordance d'une crue de type 1995 sur la Maine (1 800 m³/s, valeur quasiment centennale) avec une crue centennale sur la Loire amont (débit de 6 400 m³/s) est de l'ordre de 1 à 2x10⁻³ (correspondant à un temps de retour d'au moins 500 ans).

T1 --- DEBITS CARACTERISTIQUES DE CRUE ---

STATIONS HYDROMETRIQUES	Période disponible	Surface (km2)	Débit de crue de période de retour 10 ans (m3/s)	Débit de crue de période de retour 20 ans (m3/s)	Débit de crue de période de retour 50 ans (m3/s)	Débit de crue de période de retour 100 ans (m3/s)	Débit de crue de période de retour 200 ans (m3/s)
LA SARTHE							
Moulin du désert (la Sarthe)	1973-96	908	100	115	135	180*	220*
Chiantin (le Merdereau)	1984-97	118	19	22	25	35*	45*
Moulin Neuf (l'Orne Saosnoise)	1967-97	510	50	55	65	90*	120*
Montreuil (la Sarthe)	1973-96	2716	250	285	335	410*	480*
Nogent le Rotrou (l'Huisne)	1972-97	827	70	80	95	110	150*
la Pécardière (l'Huisne)	1984-97	1890	125	145	170	200	280*
St Mars la Brière (le Narais)	1983-97	167	6	7	8	9	10
Parente (la Vive Parente)	1983-96	185	12	13	15	21	23*
Spay (la Sarthe)	1970-96	5285	330	385	450	540*	680*
Asnières/Vègre (la Vègre)	1980-97	401	50	55	70	90*	110*
Moulin la Roche (l'Erve)	1972-96	380	70	80	90	125*	160*
Bouessay (la Vaige)	1980-97	233	40	45	50	70*	90*
Beffes (la Sarthe)	1970-96	7380	425	490	575	690*	870*
LA MAYENNE							
Couterne (la Mayenne)	1970-96	521	100	120	170*	210*	250*
Domfront (la Varenne)	1980-97	198	45	50	70*	80*	100*
St Fraimbault (la Mayenne)	1863-1997	1851	250	290	370*	470*	570*
Moulay (l'Aron)	1974-97	188	25	30	45*	50*	60*
Ernée (l'Ernée)	1970-97	115	15	17	20	30*	40*
Vaugeois (l'Ernée)	1968-97	375	55	60	70	100*	130*
Ecluse de Bonne (la Mayenne)	1863-1997	2893	370	425	540*	670*	800*
Forcé (la Jouanne)	1968-97	410	60	70	100	120	140
Nuillé/Vicoïn (le Vicoïn)	1973-97	235	50	60	85*	105*	120*
Pont d'Ouette (l'Ouette)	1985-97	119	14	15	23*	28*	35*
Château Gontier (la Mayenne)	1863-1997	3906	485	560	720*	920*	1120*
Chambellay (la Mayenne)	1863-1997	4158	510	590	760*	970*	1180*
Cossé le Vivien (l'Oudon)	1988-97	133	20	22	30*	40*	50*
la Boissière (le Chéran)	1971-97	85	12	14	20*	25*	35*
Marcillé (l'Oudon)	1973-97	734	85	100	140*	175*	210*
Basse Rivière (l'Argos)	1982-97	153	30	35	45*	60*	70*
Port aux Anglais (l'Oudon)	1969-97	1409	165	200	265*	330*	390*
LE LOIR							
Trizay (l'Ozanne)	1974-97	268	55	65	75	95*	115*
St Maur (le Loir)	1967-97	1160	100	120	145	205*	270*
Villavard (le Loir)	1969-97	4545	185	220	270	340*	410*
la Caboche (la Braye)	1969-97	270	35	45	50	70*	90*
le Petit Brives (la Veuve)	1982-97	156	25	35	40	55*	70*
Moulin à Tan (l'Aune)	1972-97	224	15	17	20	30*	40*
Durtal (le Loir)	1970-96	7925	310	360	440	590*	740*
LA MAINE							
Angers (La Maine)	1969-96	22020	1260	1450	1710	1900	2100

* valeurs extrapolées par la méthode du GRADEX (méthode utilisant l'information pluviométrique)

T2 --- PRINCIPALES CRUES RECENTES ---

**Estimations des périodes de retour
à partir des débits moyens journaliers maximaux**

Dates des crues	LA MAYENNE à CHAMBELLAY		LA SARTHE à SPAY		LE LOIR à DURTAL	
	Qjmax 5 ans = 400 m ³ /s Qjmax 10 ans = 475 m ³ /s Qjmax 50 ans = 710 m ³ /s Qjmax 100 ans = 910 m ³ /s		Qjmax 5 ans = 270 m ³ /s Qjmax 10 ans = 320 m ³ /s Qjmax 50 ans = 430 m ³ /s Qjmax 100 ans = 510 m ³ /s		Qjmax 5 ans = 240 m ³ /s Qjmax 10 ans = 300 m ³ /s Qjmax 50 ans = 430 m ³ /s Qjmax 100 ans = 580 m ³ /s	
	débit maxi journalier (m ³ /s)	période de retour (année)	débit maxi journalier (m ³ /s)	période de retour (année)	débit maxi journalier (m ³ /s)	période de retour (année)
janvier 1961	\		200	2	450	50
janvier 1966	320	2,5	460	60	270	7
octobre 1966	800	70	480	75	90	1
novembre 1966	\		470	70	180	2
février 1970	407	5	213	2	178	2
novembre 1974	770	65	160	1	61	1
février 1977	410	6	199	2	230	4
février 1978	416	6	192	2	224	4
février 1979	258	1,5	326	10	279	8
février 1980	298	2	228	3	260	7
décembre 1982	517	15	299	7	228	4
avril 1983	241	1	229	3	377	20
novembre 1984	247	1	181	2	286	8
avril 1985	319	2,5	325	10	206	3
février 1988	374	4	261	4	285	9
février 1990	444	8	225	2	122	1
janvier 1993	468	10	290	7	201	3
janvier 1994	305	2	257	4	145	2
janvier 1995	668	45	457	60	426	50
février 1996	477	10	233	3	97	1

3.1.2 Analyse des étiages

Le recensement des épisodes de basses eaux au droit des stations représentatives des points nodaux définis dans le cadre du SDAGE démontre des périodes d'étiage assez sévères où les valeurs de débits critiques ont été atteints :

- le DSA, débit de seuil d'alerte (débit en deçà duquel une des activités utilisatrice d'eau, ou des fonctions du cours d'eau est compromise) a souvent été souvent atteint ces dix dernières années en plusieurs points du bassin versant,
- le DCR, débit d'étiage de crise (débit en deçà duquel il est considéré que l'alimentation en eau potable, la sauvegarde de certains moyens de production ainsi que la survie des espèces les plus intéressantes du milieu ne sont plus garanties) a déjà été atteint au droit du point nodal de la Conie.

Un certain nombre de dispositions réglementaires ont été prises dans tous les départements en vue d'une meilleure préservation des différents usages, des milieux aquatiques et de la ressource pour l'alimentation en eau potable.

On peut citer les arrêtés préfectoraux pris dans les départements du bassin de la Maine au cours des étés 1996, 1997, 1998. Ces arrêtés définissent les zones d'alerte et les mesures à prendre : restrictions des prélèvements pour l'irrigation, voire interdiction totale des prélèvements pour certaines rivières.

3.2 Prévisions

3.2.1 Elaboration de schémas de prévision de crue (modèles de première génération)

Ces modèles présentent l'avantage de pouvoir être mis en oeuvre par les services d'annonce de crue immédiatement. En effet, ils sont conçus pour utiliser les informations déjà disponibles sans équipement complémentaire :

- des hauteurs d'eau aux échelles d'annonce de crue relevées par les observateurs,
- des débits enregistrés aux stations hydrométriques déjà télétransmises par les DIREN.

Dans un premier temps, on établit dans la plupart des cas des formules de prévision **débits-débits** (relations de propagation), entre stations hydrométriques amont-aval, avec prise en compte des débits aux affluents représentatifs principaux.

Les équations de prévisions sont élaborées prioritairement à partir des données hydrométriques aux stations gérées par les services hydrologiques des DIREN. Ces données proviennent d'enregistrements en continu et sont donc disponibles pour la totalité d'un épisode de crue. Elles sont analysées a posteriori par le gestionnaire et sont en général de bonne qualité.

Les relevés aux échelles d'annonce de crue sont plus disparates, ils sont souvent absents la nuit, et fréquemment pour une crue, seulement quelques points sont disponibles. Ils ne permettent donc pas de reconstituer avec précision un véritable limnigramme (hauteurs-temps) de crue et sont plus difficilement exploitables pour établir des corrélations.

L'échéance pour une prévision fiable est très dépendante des temps de propagation entre stations amont et aval.

Dans le cadre d'un modèle de première génération, il n'est pas nécessaire de multiplier les informations en provenance des affluents si celles-ci ne sont pas significatives.

La présente étude a permis de rassembler l'ensemble des données disponibles ; toutefois, elle n'a pas pu déboucher à ce stade sur une première génération d'équations opérationnelles.

3.2.2 Elaboration de schémas de prévision des étiages

L'analyse des courbes de tarissement, effectuée dans le cadre de l'état des lieux sur l'hydrologie du bassin, conduit à rechercher les possibilités d'établir des relations simples, à horizon de plusieurs semaines, permettant à partir d'un débit de début de période de basses eaux, de prévoir le délai au bout duquel un débit donné (débit critique, seuil d'alerte) sera atteint.

On aboutit ainsi à des expressions permettant d'estimer le nombre N de semaines au terme desquelles partant d'un débit initial Q_0 , on atteindra le débit-seuil d'alerte.

Ces schémas de prévisions des étiages ont été réalisés aux points suivants :

◆ **Bassin versant de la Mayenne:**

→Couterne, Saint Fraimbault, Chambellay.

◆ **Bassin versant de l'Oudon**

→Marcillé, Port aux Anglais

◆ **Bassins versants de la Sarthe et l'Huisne**

→Moulin du Désert, Montreuil, La Pécardière, Beffes

◆ **Bassin versant du Loir**

→La Braye, Durtal

3.2.3 Méthodologie en vue de la réalisation de modèles de deuxième génération

Les modèles de deuxième génération pourront être mis en oeuvre après automatisation de la mesure des hauteurs aux échelles d'annonce de crues. La mesure en continu de ces hauteurs d'eau permettra d'améliorer la précision des modèles de première génération par constitution d'échantillons de données supplémentaires.

De plus, l'élaboration de modèles pluie-débit permettra d'améliorer le délai de prévision avec une précision meilleure.

A moyen terme, la fiabilisation de l'annonce de crue sur le bassin de la Maine passe par la mise en place d'un réseau automatisé de stations de mesure des niveaux et des débits relié au réseau CRISTAL. La définition d'un tel réseau est décrite dans le paragraphe 3.3 avec le phasage de la modernisation.

L'amélioration des méthodes de prévision et de leur utilisation pourra également passer par l'information transmise par les radars météorologiques ainsi que des procédures multi-modèles du type SOPHIE en cours d'implantation au sein de différents services d'annonce de crue en France.

Les modèles de prévision de deuxième génération sont basés sur les éléments suivants :

◆ Recueil des données et constitution d'échantillons représentatifs

- * collecte et constitution d'échantillons de crue, à pas de temps maximum de 6 heures, au droit des stations hydrométriques, des échelles d'annonce de crue, et des stations pluviométriques
- * analyse et critique de ces données avant toute utilisation opérationnelle, soit en calage de modèles, soit en réalisation de prévisions en temps réel
- * en particulier, vérification de la mise à jour et des domaines d'extrapolation des courbes de tarage.

◆ Modèles de propagation

Les modèles de propagation pourront être étoffés, après constitution d'échantillons fiables et suffisamment nombreux, à partir des considérations suivantes :

- * calculs régressifs d'amont en aval, portant sur l'explication des variations de débit aval en fonction des variations de débit amont, plus ou moins décalées dans le temps
- * calculs assortis de possibilité de recalage en temps réel, au moyen de techniques de traitement des erreurs en temps réel, telles que le filtre de Kalman...
- * possibilité d'utiliser plusieurs modèles de régression (ou autre modèle de type MUSKINGUM) en parallèle (comme c'est le cas dans la procédure multi-modèles SOPHIE).

En ce qui concerne la basse vallée de la Maine et plus particulièrement Angers, pour améliorer les prévisions, les modèles de propagations ne seront pas suffisants. Il faudra réaliser une modélisation mathématique de la partie aval des quatre affluents (Oudon, Mayenne, Sarthe et Loir) jusqu'à la pointe de Bouchemaine sur la Loire.

◆ Modèles pluies-débits

Ce type de modélisation est beaucoup plus délicat à mettre en oeuvre car basé sur des phénomènes hydrologiques fortement non linéaires (l'influence du facteur "état de saturation du sol" est en effet très importante, surtout pour expliquer et prévoir le démarrage de la crue).

Une technique comme la DPFT (Différence Première de la Fonction de Transfert) présente l'avantage de conduire, par itérations successives, à une estimation simultanée de la "pluie efficace" et de la "fonction de transfert" permettant de passer, via l'hypothèse de l'hydrogramme unitaire, de cette "pluie efficace" aux variations de débit à prévoir à l'exutoire du bassin versant. Cette technique s'applique sur des bassins versants de quelques dizaines à quelques milliers de km², sous réserve que la pluviométrie soit relativement homogène sur l'ensemble de ce sous-bassin, et que la topographie du bassin ne conduise pas à la constitution de fonction de transfert propre à chacune des vallées composant le bassin.

Dans le cas des hauts bassins de la Maine, sur chacun desquels il sera possible de chercher à appliquer cette méthode, ces hypothèses paraissent largement vérifiées.

3.2.4 Utilisation opérationnelle des radars météorologiques

En ce qui concerne l'utilisation opérationnelle des images radar, trois radars couvrent, chacun partiellement, le bassin de la Maine. La portée hydrologique de ces radars, qui peut être estimée à 100 km, ne se recouvre quasiment pas d'un radar à l'autre. Il reste donc entre chaque radar des zones, relativement étendues, hors de portée pour une exploitation quantitative optimale dans toutes les conditions de précipitations.

Cependant l'ensemble de l'amont des bassins est couvert par les trois radars de Falaise, Trappes et Trellières. Ainsi, si le bassin de la Maine ne dispose pas d'une couverture optimale et complète pour l'exploitation quantitative des données radar de pluie, la couverture actuellement existante devrait permettre une exploitation hydrologique des données radar de pluie, au moins sur la majorité des sous-bassins amont de la Maine.

Cette conclusion reste bien entendu provisoire, et elle devra être adaptée en fonction des résultats de l'exploitation des données radar de pluie.

Un autre point sera à prendre en compte, qui aura surtout des conséquences pratiques : ce n'est pas un seul, mais plusieurs radars qui couvrent le bassin de la Maine. Il y aura donc une réflexion à mener sur l'aspect exploitation opérationnelle des données de plusieurs radars sur une seule entité hydrologique.

Ce dispositif pourra également être étoffé par l'installation d'un radar dans la région du Mans.

3.3 Préconisations pour la définition d'un réseau opérationnel de gestion des crises hydrologiques

3.3.1 Annonce de crue

La crue de 1995 avait mis en évidence des dysfonctionnements entre services d'annonce de crue. Les enseignements ont été tirés et, aujourd'hui, ces derniers bénéficient d'une coordination meilleure (voir carte "organisation de l'annonce des crues").

En outre, au plan technique, des améliorations notables ont été réalisées comme la possibilité pour les services d'accéder à une trentaine de stations de mesures d'hydrométrie générale par téléphone ou minitel, le raccordement au réseau CRISTAL des 4 stations aval des affluents de la Maine, l'utilisation du serveur METEO-FRANCE pour les SAC (voir carte "principales stations hydrométriques").

Cette amélioration initiée depuis la crue de 1995 doit être poursuivie et amplifiée. Elle passe en particulier par la mise en place d'un réseau opérationnel de gestion des crises hydrologiques communes à l'ensemble du bassin de la Maine. Compte tenu de l'interdépendance de la partie aval avec la Loire, le parti a été retenu de l'intégrer au réseau CRISTAL déjà en place sur le bassin de la Loire.

C'est une cinquantaine de stations qu'il conviendrait d'intégrer au réseau CRISTAL y compris les stations nécessaires pour la prévision des étiages. La modernisation de l'ensemble de ces stations en une seule fois paraît souhaitable au plan technique :

- pour réaliser sur le bassin de la Maine des prévisions de qualité,
- pour une meilleure cohérence technique,
- pour une gestion plus claire et plus efficace du dossier au plan administratif et financier avec les entreprises (une tranche conditionnelle est prévue au marché CRISTAL actuel),
- pour gagner du temps globalement,

Voir carte "projet de réseau CRISTAL".

Parmi ces stations, s'il s'avère nécessaire d'échelonner les investissements, on peut mettre en évidence des degrés d'urgence dans la modernisation :

➤ Les échelles d'annonce de crues pour lesquelles des modèles sont élaborés :

Compte tenu des résultats des modèles de prévisions des crues et des préconisations faites en vue de l'élaboration de modèles de deuxième génération, le réseau de mesures automatisées du bassin de la Maine relié au réseau CRISTAL doit être structuré autour de 24 échelles d'annonces de crue pour lesquelles des modèles de prévisions sont élaborés.

En effet, ce sont pratiquement les seuls points de mesures de niveau, utiles pour l'annonce de crue sur le bassin de la Maine qui ne sont pas télétransmis. De plus, au cours de l'étude et notamment pour l'élaboration des modèles de prévision, on a pu constater que des informations de bonne qualité et en continu au droit des échelles d'annonces de crues faisaient défaut.

Par conséquent, l'automatisation de ces sites permettra de constituer une base de données complémentaire aux stations hydrométriques. Ainsi, les prévisions simples

élaborées à partir de seulement 4 ou 5 échantillons, du fait de l'absence d'informations en continu au droit des échelles d'annonce de crue, pourront être précisées par ces données complémentaires.

Ces stations pour la plupart serviront uniquement pour l'annonce de crue. Cependant dans un souci de bonne connaissance de l'ensemble des phénomènes hydrologiques ainsi que le maintien en permanence des stations en phase opérationnelle, celles-ci devront être suivies avec la même rigueur tout au long de l'année.

- Dans un deuxième temps, voire un troisième, ce réseau serait complété comme indiqué ci-après :

Seront reliées au réseau CRISTAL les stations principales du réseau qui sont déjà télétransmises et qui seront fiabilisées par leur raccordement au réseau CRISTAL.

Enfin seront également reliées au réseau CRISTAL les stations qui serviront pour améliorer les prévisions et pour les modèles de deuxième génération (stations sur les affluents).

Les étapes de modernisation de ce réseau sont récapitulées dans le tableau T3.

3.3.2 Prévision des étiages

En **priorité**, dans le cadre d'une prévision des étiages, les stations à intégrer dans le réseau CRISTAL sont les points nodaux (pour lesquels il y a des objectifs de quantité):

- sur le bassin de la Mayenne = St Fraimbault et Chambellay
- sur le bassin de l'Oudon = Maingué
- sur le bassin du Loir = La Conie au Pont de Bleu et Durtal.

Ensuite seront reliées au niveau CRISTAL les stations utiles pour la connaissance du flux lié aux aspects qualité :

- sur le bassin de la Sarthe : Montreuil et Beffes
- sur le bassin de l'Huisne : la Pécardière
- sur le bassin du Loir : la Brayé aval.

Et enfin, les stations complémentaires pour lesquelles, il existe un arrêté de définition de zones d'alerte et de seuils d'alerte :

- sur le bassin du Loir : Saumeray, St Maur, Cloyes, l'Ozanne, l'Yerre
- sur le bassin de l'Huisne : Nogent-le-Rotrou.

Ces priorités sont compatibles avec le phasage de modernisation pour la prévision de crue.

3.3.3 En résumé

Il apparaît fortement souhaitable pour des raisons techniques et administratives d'installer l'infrastructure nécessaire à l'extension du réseau CRISTAL en une fois. Cela représente une cinquantaine de stations.

S'il fallait phaser la réalisation des stations locales :

- Dans un premier temps, il conviendrait de raccorder les 24 échelles d'annonce de crue pour lesquelles des modèles de prévision sont élaborés ainsi que la station de Rémalard sur l'Huisne (pour la prévision à Nogent le Rotrou), la station d'étiage sur la Conie (point très sensible) et la station de Beffes sur la Sarthe (pour disposer des débits sur les quatre affluents en amont d'Angers).

Ce qui porte à 27 le nombre de stations à intégrer au réseau CRISTAL en première urgence.

- L'ordre de modernisation des stations hydrométriques dans un deuxième temps serait à affiner en fonction des priorités qui seront établies par le maître d'ouvrage.

Il faudra alors se poser la question de relier à CRISTAL, sur la Braye, La Caboche et Sargé ou une seule des deux sachant que les modèles de prévisions des crues de première génération sont élaborés à partir de la station de la Caboche. Lorsque l'historique de données à la station de Sargé sera plus important, une prévision pourra être testée pour établir le délai de prévision envisageable à la Chartre.

T3 - PROJET DE RESEAU CRISTAL

<i>Station (Rivière)</i>	<i>objet</i>	<i>1ère urgence</i>	<i>Finalisation</i>
LA MAYENNE			
Madré ou Couterne	HY-PL		X
la Varenne	HY		X
Saint Fraimbault	HY		X
Mayenne	AC	X	
l'Ernée	HY		X
Laval	AC	X	
Bonne	HY		X
la Jouanne	HY		X
Château Gontier-le Pendu	HY-AC	X	
Chambellay	HY-AC	X	
L'OUDON			
Cossé le Vivien	HY-PL		X
Craon	AC		X
la Verzée	HY		X
Segré	HY-AC	X	
LA SARTHE			
Le Mêle/Sarthe	HY		X
Alençon	AC-PL	X	
Moulin du désert	HY		X
le Merdereau	HY		X
Beaumont	AC	X	
Montreuil	HY		X
Le Mans-les planches	AC	X	
Spay	HY		X
La Suze	AC	X	
la Vègre ou l'Erve	HY		X
Sablé	AC	X	
Beffes	HY	X	
L'HUISNE			
Réveillon	HY-PL		X
Remalard	AC	X	
Nogent le Rotrou	HY-AC	X	
la Mème	HY		X
La Ferte Bernard	AC	X	
Connerre	AC	X	
La Pécardière	HY		X
Le Mans-Pontlieue	AC	X	
LE LOIR			
Saumeray ou station amont	HY-PL		X
l'Ozanne	HY		X
Bonneval	AC	X	
St Maur	HY		X
La Conie (Pont de Bleuet)	HY	X	
Chateaudun	AC	X	
l'Yerre (Bêchereau)	HY		X
Cloyes	AC	X	
Vendome	AC	X	
Montoire-Villavard	HY-AC	X	
la Braye (La Caboche)	HY		X
la Braye aval	HY		X
La Chartre	AC	X	
Port Gautier	HY		X
Le Lude	AC	X	
La Flèche	AC	X	
Durtal	HY	X	
LA MAINE			
Angers (La Maine)	AC	X	
Nombre de stations :		27 stations	25 stations

HY : stations hydrométriques utilisables pour l'annonce de crue et les étiages PL : stations pluviographiques pour les modèles 2ème génération

AC : stations spécifiques à l'annonce de crue

Suite aux entretiens avec le gestionnaire du réseau CRISTAL, pour intégrer tous les paramètres liés à la modernisation de ce réseau, les solutions techniques suivantes sont proposées :

- un réseau composé de 52 stations d'acquisition télétransmises, à la norme PLQ2000 (norme définie par le Ministère de l'Environnement pour la collecte et la transmission des données) qui seront fiabilisées pour garantir un fonctionnement optimal en période de crues (abris adaptés, alimentation électrique secourue par batteries, protections parafoudre...). La maintenance d'un tel réseau nécessite 2 techniciens
- un système de collecte et de traitement des données. Ce système serait composé de deux concentrateurs qui interrogent les stations d'acquisitions et qui transmettent ces informations aux unités de collecte et de traitement. Le matériel sera également fiabilisé par une alimentation électrique de secours.

A partir de l'ensemble des éléments techniques, le montant de l'investissement pour l'extension du réseau CRISTAL au bassin de la Maine (stations de mesures et équipements des services d'annonce de crue) peut être évalué à **13 MF TTC**.

Le coût de fonctionnement d'un tel réseau serait de **2,5 MF TTC** (y compris frais de personnel et mesure des débits nécessaires pour la connaissance des crues).

En se référant à la répartition actuelle des dépenses du réseau CRISTAL, la participation de l'état serait de 50 %, celle de l'Agence de l'Eau de 23 %. La part des collectivités serait donc de 27 % soit :

- **3,5 MF TTC** pour les investissements
- **0,7 MF TTC** pour les frais de fonctionnement.

3.3.4 Préconisations pour une nouvelle organisation de l'annonce de crue

Les entretiens avec les responsables de l'annonce de crue sur le bassin versant de la Maine, l'analyse des cotes relevées aux échelles d'annonce de crue et des "hauteurs-seuils" de début des dommages, conduisent à formuler des modifications concernant les seuils de vigilance, de pré-alerte et d'alerte .

L'analyse du fonctionnement actuel de l'annonce de crue sur le bassin de la Maine est proposée suivant plusieurs scénarii :

- **Scénario 1 : Maintien des quatre services d'annonce de crue**

Dans un souci d'adéquation des moyens aux besoins, on peut envisager de localiser les deux concentrateurs et deux techniciens de maintenance dans deux des quatre services d'annonce de crue actuels.

Chaque centre d'annonce de crue aurait accès aux données et réaliserait les prévisions au droit des stations d'annonce de crue qui le concerne. Le fonctionnement administratif actuel serait maintenu.

- **Scénario 2 : Deux services d'annonce de crue**

Compte tenu de la répartition des Centres d'Annonce de crue actuels sur le bassin de la Maine et de leur domaine de compétence, cette option consisterait à maintenir les centres du Mans (pour l'annonce de crue sur l'Huisne, la Sarthe et le Loir) et d'Angers (pour l'annonce de crue sur la Maine, la Mayenne et l'Oudon).

Une telle réorganisation implique une "refonte" du fonctionnement administratif actuel qui maintiendrait en tout état de cause la diffusion de l'alerte et de l'information au niveau des préfectures de chaque département et un engagement de chacun des partenaires (communes, préfectures ...). L'ensemble des aspects de cette refonte devrait être discuté au préalable avec la prise en compte des besoins et des contraintes de chacun. Ces échanges permettront également de résoudre des problèmes rencontrés actuellement à savoir :

- lenteur de transmission de l'information du fait de nombreux intervenants,
- sollicitation directe des SAC par les riverains, les entreprises, ...,
- organisation pratique des SAC : charge de travail, heures supplémentaires, ...,
- optimisation des objectifs de l'annonce de crue : protection des biens et des personnes.

D'autres scénarii peuvent être envisagés :

- **Scénario 3 : Un seul service d'annonce de crue**

Un seul service d'annonce de crue avec une équipe dont l'effectif serait adapté et dont l'unique fonction serait la mission d'annonce des crises hydrologiques et de suivi du réseau hydrométrique.

Ce centre pourrait être rattaché à une DDE ou à la DIREN Pays de Loire ou à la DIREN Centre. Il assurerait la totalité des tâches liées à l'annonce de crue (depuis la collecte des données jusqu'à la diffusion de l'information auprès des préfectures du bassin de la Maine).

- **Scénario 4 : - Un centre de collecte de données et d'élaboration des prévisions
- 4 centres d'annonce de crue**

Comme dans l'option précédente, la collecte des données et l'élaboration des prévisions seraient réalisées par un service "central" puis cette information serait transmise aux quatre centres d'annonce de crue de Laval, le Mans, Bonneval et Angers.

◇ Propositions en vue d'un choix

Dans une recherche d'efficacité de l'annonce des crises hydrologiques sur le bassin de la Maine, avec un souci d'économie et de valorisation des ressources humaines, les scénarii 2 et 3 sont les solutions préférables pour une réorganisation.

Le scénario 2 présente l'avantage de maintenir le cadre administratif actuel avec une extension du caractère interdépartemental des Services d'Annonce de crue.

Le scénario 3 présente l'avantage d'utiliser et de renforcer des équipes dont les compétences sont déjà liées à l'hydrologie.

Dans tous les cas, les structures chargées de l'annonce des crises hydrologiques sur le bassin de la Maine devront avoir des effectifs adaptés à leur mission. En première analyse, ils peuvent être chiffrés pour le scénario 1 à 3 ou 4 personnes supplémentaires à temps partiel, essentiellement pour la maintenance mais aussi pour la prévision elle-même (2 techniciens de maintenance + 2 autres prévisionnistes).

Pour le scénario 2, ce renforcement pourrait être, moyennant une certaine concentration des effectifs actuels, de l'ordre de 2 à 3 personnes supplémentaires à temps plein de même que pour les scénarii 3 et 4.

La mission d'annonce des crises hydrologiques devra être la mission principale des personnes concernées tant en période de crises qu'après (pour l'analyse des données et les réunions post-crisis).

De plus, tous les aspects organisationnels (diffusion efficace de l'information du prévisionniste à l'utilisateur, fonctionnement des services en dehors des heures ouvrables, et prise en considération des heures supplémentaires) devront être pris en compte avant la mise en place des nouvelles structures.

4. Prévention

4.1 Généralités

La lutte contre les risques d'inondation s'élargit désormais plus clairement à d'autres champs de préoccupation : la maîtrise de l'urbanisme, l'aménagement des zones à risque qui constituent les volets d'une politique globale d'aménagement de l'espace et de gestion des eaux, dont l'objectif est de prévenir ou de limiter les dégâts potentiels.

Ces démarches viennent, avec une meilleure prévision des crues, en complément des moyens de lutte plus traditionnels tels que la réalisation de digues, de barrages de retenues, dont certains peuvent s'avérer d'un coût prohibitif et qui plus est, lors des situations extrêmes risquent de ne pas offrir une protection complète.

La relance de la politique de prévention en matière de prise en compte des risques naturels dans l'aménagement du territoire s'est traduite par la création d'une mesure unique qui est le Plan de Prévention des Risques Naturels (P.P.R.) par refonte des procédures existantes P.S.S. (Plan de Surfaces Submersibles) et les P.E.R. (Plan d'Exposition aux Risques).

L'objectif de la partie prévention de cette étude est double :

- dresser l'inventaire des documents réglementaires existants ou en cours d'élaboration et des documents techniques pouvant les compléter,
- proposer un plan de travail pour la prévention du risque d'inondation sur l'ensemble du bassin de la Maine.

En s'appuyant sur les résultats de l'étude hydrologique (notamment estimation des débits centennaux), le plan de travail distingue :

- parmi les documents existants :
 - ceux qui n'appellent pas d'observation particulière
 - ceux qui justifient un complément ou une révision.
- parmi ces derniers et pour les secteurs non couverts actuellement :
 - ceux pour lesquels une crue historique récente peut servir de référence
 - ceux qui nécessiteront la reconstitution d'une crue de référence.

4.2 Propositions en vue de l'homogénéisation des plans réglementaires pour la prévention du risque inondation sur le bassin de la Maine

Le chargé d'étude a réalisé une analyse des documents réglementaires en limitant celle-ci aux hypothèses hydrologiques et hydrauliques, notamment en ce qui concerne les valeurs des crues de référence.

Il résulte de cette analyse les éléments suivants :

- ◇ **La rivière le Loir** est couvert par des documents réglementaires à Alluyes, Bonneval, Chateaudun, Montigny le Gannelon, dans l'ensemble des départements du Loir-et-Cher et du Maine-et-Loire. Un PPR couvrant l'agglomération fléchoise a été approuvé le 16/7/98. Un PPR est en cours de réalisation pour le Loir dans le Loir-et-Cher.

Les PPR de la Flèche et Chateaudun n'appellent pas d'observation particulière. Le PPR en cours couvrant le Loir dans le Loir-et-Cher est cohérent avec la présente étude.

Pour le Loir en dehors de Chateaudun et du Loir-et-Cher, il est proposé de réaliser des PPR ou de réviser les documents existants (PSS du Maine-et-Loire, de Bonneval, Alluyes et Montigny) :

- par modélisation mathématique pour Bonneval et Cloyes/Loir. Un examen plus approfondi des secteurs permettra de s'assurer de la nécessité de la modélisation.
- par reconstitution des lignes d'eau par référence à la crue de 1995 pour le reste de la rivière.

- ◇ **La rivière la Sarthe** fait l'objet de documents réglementaires à Alençon, au Mans, à Sablé/Sarthe et dans l'ensemble du département du Maine-et-Loire. Des PPR sont en cours de réalisation à Alençon et au Mans. La prise en compte d'un aléa centennal justifie la révision du document réglementaire concernant Sablé/Sarthe par modélisation mathématique. Pour la Sarthe en dehors de ces trois agglomérations, il est proposé de réaliser des PPR, de réviser les documents existants, en reconstituant les lignes d'eau par référence à la crue de 1995.

- ◇ **La rivière l'Huisne** ne dispose pas de plans réglementaires dans l'état actuel. Des PPR sont en cours de réalisation à Nogent et La Ferté Bernard. Les études du PPR de Nogent-le-Rotrou mériteraient d'être complétées par une carte d'aléa. Pour l'Huisne en dehors de ces deux agglomérations, il est proposé de réaliser des PPR :

- par modélisation mathématique pour Rémalard en s'assurant de la pertinence de celle-ci par un examen approfondi de la topographie du secteur.
- par reconstitution des lignes d'eau par référence à la crue de 1995 pour le reste de la rivière.

- ◇ **La rivière la Mayenne** fait l'objet de documents réglementaires à Laval, Château-Gontier et entre Montreuil-sur-Maine et Angers. Des PPR sont en cours de réalisation à Mayenne, Laval et Château-Gontier. La présente étude hydrologique justifie de compléter ces trois PPR pour prendre en compte un aléa centennal réajusté, en s'appuyant sur une modélisation mathématique.

Ainsi pour la Mayenne, il est proposé de réaliser des PPR ou réviser les documents existants :

- par modélisation mathématique à Mayenne, Laval et Chateau-Gontier en s'assurant de la nécessité d'une modélisation par un examen plus approfondi de la topographie des secteurs concernés
- par reconstitution des lignes d'eau par référence aux crues de 1995 et 1974 pour le reste de la rivière.

◇ **L'Oudon** ne dispose d'aucun plan réglementaire. Il est proposé de réaliser des PPR :

- par modélisation mathématique pour Craon et Segré en s'assurant de la nécessité d'une modélisation par un examen plus approfondi de la topographie des secteurs concernés
- par reconstitution des lignes d'eau par référence à la crue de 1995 pour le reste de la rivière.

◆ En résumé

La réalisation de ces PPR passe par une bonne connaissance de la topographie du terrain naturel à l'échelle du 1/10 000 ou mieux, du 1/5 000 et le levé de profils en travers des rivières lorsqu'une modélisation mathématique est nécessaire.

Les agglomérations importantes à doter en priorité d'un PPR précis, qui pour certaines est déjà en cours d'élaboration, sont :

- le Mans,
- Alençon
- Angers.

Les documents réglementaires existants ou approuvés avec une crue de référence qui n'est pas centennale devront être révisés pour prendre en compte une crue de référence qui sera la centennale ou une crue historique au moins aussi forte.

5. Protections

Sur le bassin de la Maine, les crues sont du type plaine : les eaux montent progressivement et les rivières débordent assez lentement sur le lit majeur.

La lutte contre les inondations peut se traduire par deux types de mesures :

- mesures qui visent à limiter ses effets, objet de la prévision et de la prévention des risques en faisant en sorte que se trouve un minimum de personnes dans les zones les plus exposées,
- mesures qui tendent à la réduction de l'amplitude des phénomènes et des dommages qu'ils provoquent.

Après avoir élaboré une stratégie de réalisation de Plan de Prévention des Risques sur le bassin de la Maine et des outils de prévision de crue, l'objet de cette partie est d'étudier de manière globale, à l'échelle du bassin, ce troisième type de mesures.

Ces actions de protection, en complément de la prévision et la prévention des crues, font partie des solutions possibles pour améliorer la situation.

Les actions étudiées sont de trois types :

- localisées (sur le secteur à protéger),
- éloignées (en amont du secteur à protéger),
- intermédiaires.

L'étude des protections s'appuie sur une analyse des dommages des crues et un diagnostic des risques (pour chaque agglomération citée au cahier des charges), qui a pour but de mettre en évidence les secteurs à plus forte vulnérabilité.

5.1 Analyse des dommages

Les données concernant les dommages sont à manipuler avec prudence.

En effet certaines **données fournies ont un caractère départemental ou régional et ne concernent qu'un tronçon de rivière et non l'ensemble du bassin**. Deux sources d'erreurs sont alors possibles :

- les doubles comptes (certains dommages sont comptés deux fois)
- les données incomplètes.

La non superposition des bassins au découpage administratif par département impose donc une grande vigilance. Ainsi, il s'avère parfois difficile voire impossible d'utiliser certaines données ne concernant qu'un département et s'appliquant sans distinction à l'ensemble des rivières.

La méthode des coûts unitaires moyens est aussi à utiliser avec prudence. La préfecture de la Sarthe évalue à environ 43 000 F le coût unitaire des dommages aux habitations, tandis que le Plan Loire Grandeur Nature estime quant à lui, le coût unitaire des dommages par habitation à 145 000 F sur la base d'enquêtes précises sur plusieurs bassins dont la Maine, et d'un travail conjoint avec plusieurs experts d'assurance.

La non-homogénéité des données rend également très difficile les estimations. En effet, parfois, la frontière entre biens publics, privés et entreprises n'est pas toujours rigoureusement respectée.

En outre, l'absence de données est d'une interprétation difficile ; s'agit-il d'un manque d'information ou d'une absence de dommages ?

Un recensement cartographique a été effectué pour pallier l'absence d'information concernant les dommages des crues par sous-bassin. Cette méthode même si elle apporte de précieuses informations n'est pas exhaustive : l'absence de carte du champ d'inondation sur certaines sections de rivières ne permet pas le recensement des biens dans les zones inondables.

Concernant les dommages aux activités économiques, seules les données chiffrées de quelques entreprises contactées directement ont pu être intégrées au calcul. Les entreprises repérées de manière cartographique mais pour lesquelles aucune précision de secteur d'activité et de taille n'a pu être recueillie, ne sont pas intégrées au calcul. D'où une sous-évaluation probable des dommages aux activités économiques.

Pour lever les incertitudes qui pèsent sur certaines données, il aurait fallu des investigations plus poussées que la présente étude ne prévoyait pas.

5.1.1 Coût de la crue de janvier 1995 par sous-bassins

Le chargé d'étude a transmis aux préfectures des départements concernés des tableaux où étaient identifiés les dommages de la crue de 1995, pour obtenir le montant des dommages pour chaque secteur (voirie, entreprises).

D'après les données fournies par les préfectures, le coût de la crue de 1995 est estimé à environ 493 MF. Cependant, dans les informations transmises, on constate de nombreuses valeurs manquantes. Le chargé d'étude a reconstitué une grande partie des valeurs manquantes pour estimer le montant des dommages occasionnés par la crue de 1995.

Il ressort que le coût des dommages de la crue de 1995 se situe plutôt aux environ de 800 MF que de 493 MF. C'est ce nouveau montant, 800 MF, que nous proposons de retenir pour l'analyse des éléments suivants :

➤ Estimation CNR (en kF)

	Voirie*	Equipements collectifs**	Biens privés**	Agriculture**	Entreprises***	TOTAL
Le Sous-bassin du loir...						
en Eure-et-Loir (Le Loir dunois)	594	1 045	10 629	1 093		13 361
dans le Loir-et-Cher (Le Loir vendômois)	1 200	5 000	45 245	2 468		53 913
dans la Sarthe (Le Loir flechois)	3 199	3 007	16 730	3 906		26 842
en Maine-et-Loire (Le Loir dans le remous de la Maine)		2 900	17 255	2 071		22 226
TOTAL	4 993	11 952	89 859	9 538		116 342
Le sous-bassin de la Sarthe...						
dans l'Orne (La Sarthe normande)		410	18 800	972		20 182
dans la Sarthe (Haute-Sarthe mancelle)	996	285	58 870	1 442		61 593
dans la Sarthe (Sarthe aval)	2933	3 390	189 413	1 368	70 000	267 104
en Maine-et-Loire (Sarthe à l'aval de Varennes)		3 112	94 960	2 545	40	100 657
TOTAL	3 929	7 197	362 043	6 327	70 040	449 536
Le sous-bassin de l'Huisne...						
dans la Sarthe	1446	5 000	32 182	1 700	42 100	82 428
en Eure-et-Loir			8 600	269		8 869
dans l'Orne		320	2 150	902		3 372
TOTAL	1 446	5 320	42 932	2 870	42 100	94 668
Le sous-bassin de la Mayenne...						
en Maine-et-Loire		482	6 815	708		8 005
en Mayenne		1 130	6 000	952	19 535	27 617
TOTAL	6 916	1 612	12 815	1 660	19 535	42 538
Le sous-bassin de l'Oudon...						
en Maine-et-Loire	550	525	11 890	396		13 361
TOTAL	550	525	11 890	396		13 361
Le sous-bassin de la Maine...						
en Maine-et-Loire	2 492	2 700	43 000	20 649		68 841
BASSIN VERSANT DE LA MAINE	20 326	29 306	562 539	41 440	131 675	785 286

* Données fournies par les Préfectures et le Conseil Général de la Sarthe

** Données établies à partir d'un repérage cartographique CNR. Estimation établie à partir des sources préfecture de la Sarthe ou du plan Loire Grandeur Nature.

*** Données fournies par les préfectures ou par contact téléphonique direct.

L'absence de carte du champ d'inondation sur certaines sections de rivières empêche le recensement des dommages. C'est le cas pour l'Huisne dans l'Orne et en Eure-et-Loir. Par ailleurs, les dommages dans les agglomérations de Chateaudun, Cloyes, Vendôme, Montoire, Nogent, Remalard et Angers qui n'ont pas pu être estimés de manière cartographique, ont fait l'objet d'approximations.

On peut estimer de manière réaliste que le coût des dommages de la crue de 1995 s'insérerait dans une fourchette de 800 millions à 1 milliard de francs.

5.1.2 Coûts annuels moyens pour les agglomérations

L'estimation des coûts annuels moyens est fondée sur le calcul suivant :

- C : coût d'une crue donnée
- T : temps de retour de la crue
- N = 1/T : la fréquence.

Dès que l'on dispose de quelques couples (coût de la crue, temps de retour de celle-ci), il est possible de bâtir un graphique représentant le coût de la crue en fonction de la fréquence N de celle-ci (N=1/T). Le coût moyen annuel est déduit de ce graphique.

Agglomérations	Coût annuel moyen issu du calcul CNR (en KF, valeur 1997)	Coût annuel moyen issu des études antérieures (en KF, valeur 1997)
Segré (1)	31	
Le Lude (2)	40	33
Durtal (3)	52	79
Cloyes (4)	102	277
Craon (5)	114	
Chateau Gontier	151	
Chateaudun	156	184
Bonneval	156	277
Montoire	177	171
Laval	369	
Alençon	506	674
Sablé	659	
Vendôme	718	830
La Fleche	966	1 185
Angers	2 677	
Le Mans	5 500	1 286

* Etude Hydratec 1987 et BCEOM 1968

(1), (2), (3), (4), (5), informations partielles qui ne prennent pas en compte la totalité des dommages.

Les agglomérations qui subissent le plus fortement le coût des crues sont Angers et Le Mans. Cela s'explique principalement par un tissu urbain et économique dense sur lequel les impacts des crues génèrent des coûts élevés.

Pour le Mans, l'écart entre les coûts annuels moyens (5 500 KF et 1286 KF) s'explique sans doute par la prise en compte de la crue de 1995, qui a été particulièrement forte dans l'agglomération.

5.1.3 Les coûts annuels moyens par sous-bassins

Il a été réalisé un graphique intégrant les couples :

- coût de la crue 1995 associé à son temps de retour
- coût zéro de la crue de début de dommage associé à son temps de retour.

L'exploitation de ces informations permet d'estimer le montant annuel des dommages produits lors des crues.

Sous-bassins	Coût annuel moyen en KF	Linéaire de rivière en km
Sarthe	27 110	260
Huisne	5 702	123
Mayenne	3 540	176
Loir	7 101	267
Maine	3 820	11
Oudon	797	80

5.2 Synthèse des protections

Les actions de protection sont de trois types :

- localisées.
 - éloignées
 - intermédiaires,
- Les actions localisées concernent, soit un abaissement local des lignes d'eau par amélioration locale de l'écoulement, soit une protection locale de certains secteurs par endiguement.
- Les actions éloignées (situées en amont des secteurs à protéger) sont des levées de terre transversales à la rivière ou des retenues d'écrêtement.
- Les actions intermédiaires concernent le mode de gestion des ouvrages et le mode d'entretien des rivières pouvant conduire à de meilleures conditions d'écoulement des crues.

5.2.1 Protections intermédiaires

Elles concernent le mode de gestion des rivières pouvant conduire à de meilleures conditions d'écoulement des crues (entretien des rives, gestion des ouvrages hydrauliques).

◆ Abaissement préventif des biefs

- Les ouvrages hydrauliques, ceux des moulins en particulier construits par le passé, ont déterminé un nouvel équilibre hydrologique et écologique (qui n'est pas forcément le meilleur sur le plan qualitatif) dans les tronçons de rivière situés immédiatement en amont, ainsi qu'une modification des usages et de la sensibilité des riverains même s'ils ont, du même coup, créé une rupture dans la continuité hydraulique des rivières. Sur nombre de rivières, le rétablissement de cette continuité est un objectif souhaitable, voire nécessaire, moyennant un certain nombre de précautions.
- Lorsque ces ouvrages sont en bon état, ils peuvent empêcher le passage des poissons migrateurs, ce qui concerne notamment les grandes rivières du bassin de la Maine.

La question de l'abaissement préventif de ces ouvrages est souvent évoquée dans le public, dans un dessein de lutte contre les crues ; ils ne jouent pas de rôle sensible, en réalité, dans ce domaine en raison des faibles volumes mis en jeu. Les avantages et inconvénients de cet abaissement préventif sont les suivants :

- *avantages* :

- . favorise un peu plus l'évacuation des sédiments déposés dans le bief amont que s'il n'y a ouverture que lors des crues ;
- . garantit l'ouverture des ouvrages manuels en cas de forte crue, lorsque leur manœuvre est difficile ou dangereuse, compte tenu de la montée des eaux ;
- . psychologique : bien ressenti par une partie du public, même si cet aspect est basé sur une fausse appréhension de l'influence hydrologique de l'ouverture des vannages ;
- . permet un passage plus facile des poissons.

- *inconvénients* :

- . modifie l'équilibre mentionné ci-dessus (hydrologique, écologique, sociologique) ;
- . ne change rien à la coupure hydraulique lors des basses ou moyennes eaux et à ses inconvénients (dépôts de sédiments, eutrophisation...) ;
- . ne permet pas de répondre efficacement à l'attente du public en matière de diminution de l'impact des crues puisqu'il est pratiquement sans effet sur l'écrêtement des crues gênantes ou dommageables.

En conclusion, l'abaissement préventif des ouvrages hydrauliques est, moyennant une concertation locale, vraisemblablement à réserver aux ouvrages situés en aval de zones habitées soumises à des risques d'inondation, lorsqu'on est sûr que la fermeture de ces ouvrages présente un caractère aggravant.

◆ Ouverture des portes des écluses en crue

L'ouverture des portes d'écluse n'est pas recommandée ; elle pourrait conduire à une mise en vitesse de l'écoulement dans les canaux éclusiers qui ne résisteraient pas à ces contraintes.

◆ **Maintien des barrages sur le bassin versant**

Dans le cas où ces ouvrages seraient en mauvais état, leur restauration ne doit pas être posée comme un principe d'action ; il apparaît plutôt très souhaitable, moyennant une concertation préalable avec les usagers intéressés (pas seulement locaux), de rendre à la rivière concernée sa continuité hydraulique.

Dans le cadre de cette concertation, on examinera les divers choix possibles :

- effacer les ouvrages en mauvais état, en n'effectuant, éventuellement, que le minimum de travaux nécessaires à la conservation de leurs appuis ou à la restauration du lit ;
- réaménager les ouvrages sous une forme qui, à la conception, garantit le transit du débit minimum biologique et de la faune piscicole ;
- enfin, reconstruire les ouvrages à l'identique du point de vue de leur fonction, sans permettre le passage des poissons en permanence ; dans ce cas, on peut se demander si des subventions doivent être accordées au titre de l'Environnement.

◆ **Entretien du lit d'écoulement**

Une coordination des travaux d'entretien entre les différents intervenants (riverains, syndicats, services de l'Etat) est recommandée. Elle ne peut se faire sans regrouper les différents acteurs de la rivière (collectivités territoriales, riverains, services techniques de l'Etat) au sein de structures de concertation. Ces actions permettront d'impliquer et responsabiliser les riverains privés qui, dans la majorité des cas, n'entretiennent pas les rives et ouvrages hydrauliques des rivières. En revanche, les rivières entretenues par les syndicats ou les services de l'Etat le sont en général correctement. Elles permettront également d'aider et encadrer les riverains pour l'exploitation des ouvrages et la mise en oeuvre de l'entretien en tenant compte des préconisations du SDAGE.

L'entretien du lit, pour les zones à forte vulnérabilité et où les enjeux sont importants, permettra d'améliorer l'écoulement et d'éviter l'exhaussement des niveaux.

Pour les zones où les enjeux sont faibles, l'entretien du lit de la rivière est aussi préconisé pour assurer la tenue des berges et l'équilibre de l'écosystème.

◆ **Audit des ouvrages**

Il existe sur l'ensemble du bassin un nombre important de petits ouvrages. Chaque ouvrage a un mode de fonctionnement et d'exploitation spécifique.

Il conviendra de réaliser une analyse plus fine des fonctionnements des ouvrages dans le cadre des pouvoirs de police de l'Etat, pour déterminer les améliorations à apporter au point de vue gestion de l'ouvrage ou modification de celui-ci.

◆ En résumé

Il y a lieu de noter qu'en ce qui concerne les protections intermédiaires, il n'est pas possible de tirer une conclusion générale. C'est au cas par cas qu'il convient d'examiner pour tel ou tel ouvrage la politique à mettre en place.

5.2.2 Protections éloignées

Les préconisations ci-après compte tenu de la complexité des phénomènes sont des premières estimations qu'il conviendra d'affiner par des investigations plus poussées dans les domaines suivants :

- hydrauliques (modélisation mathématique des phénomènes)
- fluviomorphologiques (transport solide de la rivière)
- géologiques
- environnementales (faune, flore ...)
- gestion des ouvrages (gestion manuelle, automatisée, passive)
- ...

L'événement hydraulique de référence retenu est une crue centennale.

Pour mémoire, l'étude des concomitances des crues Mayenne-Oudon-Sarthe-Loir à Angers a montré :

- Les crues de la Mayenne et de l'Oudon apparaissent en moyenne le même jour
- La pointe de crue de la Sarthe apparaît entre 1.5 et 2.5 jours après celle de la Mayenne
- La Sarthe est en avance de 1 à 2 jours par rapport au Loir.
- L'étude des concomitances de la Sarthe et l'Huisne au Mans, conclut à une quasi coïncidence des crues.

◆ Retenue d'écrêtement de crue

➤ *Le Loir*

L'étude Hydratec propose dans l'étude du Loir de 1987, 4 retenues (d'une capacité de stockage de 14.6 Mm³) situées sur le bassin supérieur du Loir. L'effet des retenues a été calculé sur modèle mathématique pour la crue de 1983 et les gains escomptés en niveaux sont :

- 55 cm à Bonneval
- 30 cm à Vendôme
- 8 cm à la Flèche
- 15 cm à Durtal

Les retenues proposées ne conduisent pas à un retardement de la crue.

L'investissement nécessaire serait de l'ordre de **95 MF**.

➤ *La Sarthe et l'Huisne*

Le chargé d'étude préconise deux retenues sur la Sarthe, situées entre Alençon et le Mans (13.1 Mm³ de stockage). L'investissement qu'il y aurait lieu de réaliser serait de l'ordre **70 MF**.

Pour l'Huisne, 3 retenues sont préconisées dans l'étude récente du BRL (4.4 Mm³ de stockage) et l'investissement à prévoir serait de **24 MF**.

L'effet des retenues de la Sarthe, associées aux retenues de l'Huisne est un abaissement des niveaux d'eau de :

- 20 à 25 cm au Mans
- 10 cm en aval du Mans

Les retenues ne modifient pas le synchronisme d'apparition des maximums des crues.

➤ *La Mayenne et l'Oudon*

Le chargé d'étude, à partir d'éléments fournis par l'étude Hydratec de 1991 indique qu'il est possible de réaliser 5 retenues localisées sur le bassin supérieur de la Mayenne. Le volume de stockage est important : 76,8 Mm³ pour un investissement estimé à **530 MF**.

Les sites les plus intéressants vis à vis de l'écrêtement sont dans l'ordre :

- Ambrière sur la Mayenne
- Ambrière sur la Varenne
- Oisseau
- Andouillé (équivalent à Oisseau)
- St Calais

L'effet des retenues est important sur l'amont : jusqu'à 190 cm à Mayenne. Il est moindre à Laval (70 cm) et Château-Gontier (80 cm).

Pour L'Oudon, 3 sites ont été testés :

La retenue de Chatelais n'a pas d'effet significatif vis à vis de l'écrêtement des crues : elle n'est donc pas préconisée.

Les sites de la Boissière et Méral permettraient un stockage de 9 Mm³ pour un abaissement des niveaux de 15 cm à Segré.

L'investissement à prévoir serait de **80 MF**.

Les importantes retenues sur la Mayenne auraient pour conséquence de retarder la crue de la Mayenne de l'ordre d'un jour, ce qui va dans le sens d'une possible resynchronisation avec les crues de la Sarthe et du Loir. Cet élément mérite une attention particulière qui, s'il s'avérait (concomitance des crues Mayenne et Sarthe) pourrait aggraver certaines crues de la Maine.

➤ *La Maine*

En assimilant l'effet des retenues à une réduction de bassin versant, Le gain sur le débit maximum centennal (1900 m³/s) à Angers serait 160 m³/s (soit 8 % d'écrêtement), en reprenant les résultats des études précédentes pour le Loir et L'Huisne.

Compte tenu de l'influence du niveau de la Loire, de la faible pente des lignes d'eau, du pourcentage d'écrêtement (de 5 à 8 %), on peut penser que l'effet des retenues sur les niveaux de la Maine ne sera pas significatif. Rappelons que les niveaux de la Maine sont aussi tributaires du niveau de la Loire.

Au niveau du synchronisme des crues, seule la Mayenne sera a priori retardée d'une journée environ. Il faut noter que ce retardement irait dans le sens d'une possible resynchronisation des crues de la Mayenne avec celles de la Sarthe et du Loir, donc une possible aggravation du risque.

◆ **Levées transversales dans le lit majeur**

Le principe de ce type d'aménagement consiste à effectuer des levées de terres transversalement à l'écoulement qui constituent autant de zones supplémentaires de stockage des eaux de la crue. Elles contribuent donc à une diminution du débit transmis à l'aval.

Seule la Sarthe, l'Huisne et le Loir sont propices à la réalisation de ce type d'aménagement.

➤ *Le Loir*

Le chargé d'étude a identifié 65 sites pouvant permettre la réalisation de 65 levées pour un volume de stockage de 17.5 Mm³. Cette valeur de stockage est calculée dans l'hypothèse d'une crue centennale.

Le montant des investissements est estimé à **24 MF**.

En première approximation, l'effet des levées transversales pour une crue centennale conduirait à l'écrêtement compris entre 20 à 35 m³/s. Le gain en niveaux à attendre est de l'ordre de 5 à 15 cm, estimé à partir des courbes de tarage des stations hydrométriques.

Compte tenu du volume de stockage, le retardement de la pointe de crue du Loir à la confluence avec la Sarthe doit être de l'ordre d'une journée. Ce retardement va dans le sens d'une désynchronisation (effet favorable) encore plus marquée des crues Sarthe - Loir.

➤ *La Sarthe et l'Huisne*

Pour la Sarthe, le résultat des recherches de sites conduit à un total de 25 levées pour un volume de stockage de 11.8 Mm³.

En première approximation, l'effet des levées transversales pour une crue centennale conduirait à l'écrêtement compris entre 20 et 25 m³/s. Le gain en niveaux à attendre est de l'ordre de 5 à 20 cm, estimé à partir des courbes de tarage des stations hydrométriques.

Compte tenu du volume de stockage, le retardement de la pointe de crue doit être de l'ordre d'une journée au Mans et une demi-journée à la confluence avec le Loir. Une modélisation mathématique permettra de préciser cette valeur.

A noter que ce retardement irait dans le sens d'une possible resynchronisation des crues Sarthe - Loir, et une désynchronisation des crues Sarthe-Huisne. A moins que parallèlement soient aussi réalisées sur le Loir des levées transversales. **Le montant des investissements est estimé à 7 MF pour la Sarthe.**

Pour l'Huisne, les résultats des recherches de sites du bureau d'études BRL conduit à un total de 53 levées pour un volume de stockage de 4.4 Mm³, calculé dans l'hypothèse d'une crue centennale.

L'effet des levées est d'écrêter le débit de pointe d'une crue centennale de l'Huisne de l'ordre de 10% (de l'ordre de 10 cm en niveau) et de décaler l'hydrogramme principal de 24 heures, ce qui va dans le sens d'une désynchronisation des crues Sarthe-Huisne au Mans.

Le montant des investissements est estimé à 20 MF pour l'Huisne.

Pour la Sarthe et l'Huisne

La réalisation des levées sur la Sarthe et l'Huisne conduirait à ne pas modifier le synchronisme d'apparition des crues de ces deux rivières. Elle conduirait à retarder la Sarthe aval d'une journée, ce qui irait dans le sens d'une possible resynchronisation des crues Sarthe-Loir (dans le cas, où on ne fait rien sur le Loir).

Le gain à attendre au Mans serait de l'ordre de 20 à 25 cm.

Pour les deux rivières, l'investissement serait de 27 MF.

➤ *La Maine*

Etant donné que les maximums des crues du Loir, de la Sarthe et de la Mayenne ne sont pas concomitants, l'effet des levées ne s'ajouteront pas à Angers.

En première approximation, compte tenu du faible pourcentage d'écrêtement (entre 5% et 10%) sur le Loir, la Sarthe et l'Huisne, nous pouvons penser que les levées transversales n'auront pas d'effet significatif sur l'écrêtement des crues à Angers.

Les levées ne modifieront pas le synchronisme des crues Sarthe-Huisne, mais elles auront pour effet de retarder l'apparition des crues du Loir et de la Sarthe d'une

journée environ. Le retardement de la Sarthe et du Loir va dans le sens de la désynchronisation de ces deux rivières avec la Mayenne.

5.2.3 Protections locales

Conformément aux préconisations du cahier des charges, le chargé d'études a analysé les actions possibles de protections locales aux niveaux de 16 agglomérations.

Cette analyse s'appuie sur un diagnostic des risques établi pour chaque agglomération. Ce diagnostic met en évidence les secteurs les plus vulnérables vis à vis des inondations.

Des dossiers ont été établis pour chaque agglomération sous forme de fiche, accompagnés de schémas hydrauliques et de plans à l'échelle 1/25 000 indiquant notamment :

- les secteurs inondables
- les zones les plus vulnérables.

L'examen des actions locales conduit à définir les coûts suivants :

Agglomération	Aménagements envisageables	Montant des investissements en KF
Bonneval	réfection barrage, recalibrage, remplacement vannage	3100
Chateaudun	-	-
Cloyes	entretien courant, clapet automatique, chenal de crue	1400
Vendôme	recalibrage	8400
Montoire	chenal lit majeur, suppression moulin	1400
Le Lude	travaux d'entretien, réfection de barrage, ouvrage et chenal de décharge	1080
La Flèche	enlèvement obstacle	100
Durtal	entretien courant	150
Alençon	entretien, chenal lit majeur	950
Le Mans	amélioration sur les barrages	1 600
Sablé	amélioration sur bras, entretien courant, dragage	400
Laval	entretien courant, endiguement	750
Chateau Gontier	chenal + ouvrage de décharge	1200
Craon	rehaussement passerelle, entretien courant, élargissement	250
Segré	endiguement de St Aubin du Pavoil	400
Angers	-	-

Rémalard, Nogent le Rotrou et La Ferté Bernard ont été traitées dans l'étude Huisne du BRL.

Ce tableau doit être interprété avec prudence. En effet, le chargé d'étude n'a pas pu chiffrer la totalité des aménagements possibles pour chaque agglomération.

On citera le cas des agglomérations du Mans, Laval et Angers pour lesquelles il a été mis en évidence que les inondations se produisent par refoulement et saturation du réseau d'assainissement. A ce niveau de l'étude, la mise en place de système anti-retour dans le réseau d'assainissement et l'évacuation des eaux pluviales (ou simplement l'entretien du réseau actuel) n'ont pu être évaluées.

Des aménagements de type curage/recalibrage sont également proposés pour Angers et Château-Gontier. Sans bathymétrie des rivières, il est difficile de préjuger des effets de tels aménagements et de donner une estimation du coût des investissements. Il est donc proposé de les étudier sur modèle mathématique pour juger de leur intérêt.

➤ On peut citer également le cas de l'agglomération du Mans : Elle a fait l'objet d'une étude poussée sur modèle mathématique par le BCEOM en 1968. Selon cette étude, il a été préconisé :

- la protection des quartiers sensibles par endiguement pour un montant de 7 MF (valeur 1997)
- recalibrage et curage de la Sarthe et l'Huisne avec rectification du profil en long pour un montant de 35 MF (valeur 1997).

Il nous paraît difficile de valider ces préconisations compte tenu du caractère ancien de l'étude et de l'évolution de la rivière. Comme pour Angers et Château-Gontier, nous restons réservés et nous proposons de les étudier sur modèle mathématique pour juger de leur intérêt.

En outre, l'occupation des sols actuelle est sans doute très différente de celle d'il y a près de 30 ans.

➤ Suite aux préconisations de l'étude HYDRATEC datant de 1987 des aménagements locaux de protections ont été réalisés dans les agglomérations de :

- Cloyes sur le Loir
- La Chartre
- Château du Loir
- la Flèche.

Ces travaux achevés avant la crue de 1995 ont permis une amélioration dans les agglomérations situées ci-avant.

En effet, la crue de 1995, plus forte en débit que celle de 1983 a généré des niveaux quasiment équivalents à ceux de la crue de 1983 pour les secteurs de Cloyes et de la Flèche.

Pour ce qui concerne la Chartre et Château du Loir, la vérification n'est pas aisée compte tenu de l'absence de données.

Pour l'ensemble de la rivière Loir, le montant total de tous les aménagements projetés était de 43 MF (valeur 1997) ce qui explique d'une part que tous n'ont pas été réalisés.

D'autre part, certains travaux préconisés (traversée de Vendôme) ne sont pas apparus pertinents aux syndicats concernés.

➤ La modélisation mathématique (HYDRATEC) montre que si l'ensemble des protections sur le Loir étaient réalisées il y aurait des effets à l'aval peu sensibles. Néanmoins, les travaux réalisés à la Flèche produisent un exhaussement de niveau de 4 cm à Durtal.

➤ D'une manière générale, on peut distinguer deux types d'aménagement locaux :

- ceux qui n'ont pas d'influence significative sur l'aval au regard des volumes qui transitent pendant une crue (entretien du lit de la rivière et des berges, enlèvements des atterrissements...)

- ceux qui ont une influence sur l'aval (endiguements, curage important du lit...).

Pour ce deuxième type, l'impact sur l'aval pourrait être compensé par des mesures visant à retrouver à minima la situation avant travaux (exemple de mesures compensatoires : levées transversales).

6. Préconisations du chargé d'étude

La présente étude a mis en évidence et quantifié les différents phénomènes qui contribuent à l'apparition de crises hydrologiques sur le bassin versant de la Maine.

Comme souvent dans ce type de scénario, s'il est relativement aisé d'identifier les causes du mal, les remèdes -quoique connus- restent d'une mise en oeuvre parfois délicate, voire impossible.

En effet, l'impact financier, les contraintes techniques, l'aspect réglementaire, la nécessaire préservation de l'environnement, les attentes des riverains conduisent à des analyses multi-critères avec, in fine, non pas une solution mais des solutions possibles ; chacune possédant des avantages et, malheureusement, quelques inconvénients.

Au regard des résultats de l'étude, le chargé d'étude, propose ci-après aux futurs maîtres d'ouvrage une série de préconisations à mettre en place à court ou moyen terme.

6.1 Prévisions

L'étude a permis de rassembler les données en vue de définir des équations de prévision visant à une anticipation des événements de 6, 12 ou 24 h suivant les secteurs. Elles demanderont toutefois toujours des personnels des SAC une bonne connaissance des phénomènes car elles ne constituent qu'une approche nécessairement imparfaite de la variabilité des phénomènes.

Pour anticiper davantage les phénomènes, il y a lieu d'intégrer les stations préconisées par le chargé d'étude dans le réseau CRISTAL ; ce qui permettra de disposer de l'information hydrométrique encore plus rapidement et de bâtir des prévisions avec une anticipation et une qualité meilleures.

Dans une phase ultérieure, il est suggéré aux futurs maîtres d'ouvrage de consolider les équations de prévisions existantes et d'évoluer vers des modèles de prévisions de deuxième génération.

Ces modèles qui intégreraient la connaissance de la pluviométrie sur le bassin seraient de nature à anticiper plus encore et améliorer les prévisions.

Enfin, le chargé d'étude propose quatre organisations différentes de l'annonce de crue. Cependant, avant de retenir l'une des quatre propositions, il suggère d'engager une large concertation avec les services concernés pour choisir, avec eux, la solution la plus rationnelle et qui réponde le mieux aux contraintes et outils actuels.

6.2 Préventions

Rappelons que les P.P.R. constituent l'un des volets d'une politique globale d'aménagement de l'espace et de la gestion des eaux et qu'ils doivent permettre de prévenir et de limiter les risques liés notamment aux inondations.

Il convient de noter que la réalisation d'un P.P.R. passe par une bonne connaissance de la topographie du terrain naturel à l'échelle 1/10 000 ou mieux 1/5 000 si possible ainsi que la connaissance des profils en travers des rivières concernées par une modélisation mathématique.

Les documents réglementaires existants et approuvés avec une crue de référence qui n'est pas la centennale devraient être révisés pour prendre en compte une crue de référence qui sera la centennale ou une crue historique au moins aussi forte.

C'est à partir de cette crue ou d'un évènement historique ou moins d'égale importance que seront identifiées les zones inondables et les hauteurs de submersion.

Pour ces zones d'expansion des crues, identifiées comme présentant un intérêt dans l'écrêtement des crues et dans lesquelles se trouveraient implantées des installations, il ne faut pas exclure éventuellement de déplacer celles-ci.

6.3 Protections

Les prévisions et la prévention, quoique indispensables, et permettant de limiter les dommages des crues ne contribuent pas à la réduction de l'amplitude des phénomènes et des dommages qu'ils provoquent.

La phase ultime consiste à réaliser des aménagements qui, selon la configuration, seront catalogués de doux ou durs.

6.3.1 Retenues de stockage

Les retenues de stockage permettent de baisser les niveaux des crues extrêmes sur les différents affluents de la Maine mais sont quasiment sans effet au niveau de l'agglomération angevine.

Si de tels aménagements devaient être envisagés, il conviendrait d'examiner les difficultés et les délais de réalisation.

La présente étude ayant principalement analysé la faisabilité et l'efficacité du point de vue de l'hydraulique, il conviendrait d'abord d'examiner tous les autres aspects et, bien sûr, d'en examiner la cohérence avec l'ensemble de la gestion des eaux, dans le cadre d'un SAGE.

Dans le meilleur des cas, ces retenues ne seraient donc pas opérationnelles avant 5 à 10 ans.

Ensuite, les différentes procédures avec leurs délais administratifs, la programmation financière, les acquisitions foncières, les études techniques nécessiteraient plusieurs années avant le démarrage des travaux.

Le chargé d'étude suggère aux futurs maîtres d'ouvrage d'envisager la réalisation des retenues comme une solution à moyen ou à long terme avec un risque non négligeable de devoir renoncer à certaines d'entre elles à cause des contraintes juridiques fortes, voire incontournables.

En outre, il convient de noter que les retenues possédant une capacité importante se situent sur la Mayenne.

En effet, pour une capacité possible de stockage de 108 Mm³ sur l'ensemble du bassin, 67,8 Mm³ se situent sur les hauts bassins de la Mayenne (et 9 Mm³ sur l'Oudon) alors que les problèmes d'inondations préoccupants sur la Mayenne ne commencent à apparaître qu'à partir de la crue décennale environ. En outre, ces retenues retardent l'arrivée de la pointe de crue d'environ une journée à Angers ce qui pourrait être de nature à aggraver la situation dans l'agglomération angevine.

C'est donc des volumes de crue plutôt modestes qui peuvent être écrêtés sur les autres bassins (Sarthe 13,1 Mm³, Huisne 4,4 Mm³, Loir 14,6 Mm³).

L'analyse d'une crue récente (1995) met en évidence que les volumes possibles de stockage sur les hauts bassins de la Sarthe et de l'Huisne (17,5 Mm³) et du Loir (14,6 Mm³) ne sont pas à l'échelle des valeurs qu'il conviendrait de stocker pour obtenir des abaissements significatifs.

Pour la crue de 1995, on peut estimer d'une manière très théorique que pour abaisser les niveaux de 35 cm à la station de SPAY (Le Mans), il aurait fallu écrêter les débits de 22 Mm³ environ et de 55 Mm³ pour abaisser les niveaux d'environ 65 cm.

Pour le Loir de la même manière pour abaisser les niveaux de 25 cm à la Flèche, il aurait fallu écrêter les débits de 10 Mm³ environ et de 33 Mm³ pour abaisser les niveaux de 35 cm.

Pour chacune des deux rivières c'est environ 70 Mm³ qu'il conviendrait de stocker pour améliorer d'une manière très significative les niveaux à SPAY (Le Mans) et à la Flèche.

Pour être exhaustif, signalons cependant que la crue de 1995 était d'une fréquence rare (temps de retour environ 60 ans à SPAY et 50 ans à la Flèche) et, qu'elle était en outre très pénalisante eu égard aux problèmes de stockage par sa durée qui a atteint environ 10 jours.

6.3.2 Levées de terre transversales

Les levées de terres transversales font partie des méthodes plutôt douces d'aménagement. Cependant, l'effet de celles-ci sur l'écrêtement des crues est moindre que les retenues de stockage.

Elles présentent, néanmoins, des avantages non négligeables :

- ouvrages passifs ne nécessitant pas d'intervention pendant la crue,
- facilité de mise en oeuvre,
- intégration environnementale aisée,

- faible coût,
- ...

En outre, elles ont tendance à retarder les crues du Loir et de la Sarthe ce qui va dans le bon sens au niveau de "l'horloge hydraulique" de la ville d'Angers.

Le chargé d'étude suggère aux futurs maîtres d'ouvrage d'initier rapidement un examen approfondi des sites potentiels en vue de la réalisation de ces aménagements.

Il conviendra de ne pas omettre d'affiner ou de lancer les études hydrauliques de détail avant la réalisation d'aménagements et de mesurer les conséquences sur l'amont et l'aval.

L'impact sur la fluviomorphologie méritera une attention particulière. Il conviendra d'apprécier les dépôts qui pourront apparaître derrière les levées transversales ainsi que les éventuelles érosions dans le lit mineur.

Les levées transversales augmentent les hauteurs de submersion à leur amont immédiat. La réalisation de tels ouvrages passera donc par une large négociation et sans doute l'établissement de conventions avec les propriétaires fonciers concernés.

6.3.3 Protections locales

L'étude s'est plus particulièrement focalisée sur 16 agglomérations comme préconisé dans le cahier des charges.

Il apparaît nettement que des situations peuvent être améliorées moyennant des investissements qui n'ont pas tous été chiffrés mais ne semblent pas excessifs.

Chaque commune qui réalisera des protections constatera une amélioration localement. Cependant il ne faudra pas omettre de s'assurer que les conditions d'écoulement ne sont pas aggravées à l'aval par la réduction des zones d'expansion des crues.

Si cela était le cas, les levées transversales pourraient, dans des zones non vulnérables, pallier l'inconvénient des protections locales sur l'aval.

TOME 1

A. PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE

A.1.	CONTEXTE GENERAL ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	2
A.1.1	CADRE GENERAL DE L'ETUDE	2
A.1.2	PILOTAGE ET CONDUITE DE L'ETUDE	2
A.1.3	CONTENU ET PHASAGE DE L'ETUDE	3
A.1.4	DEROULEMENT DE LA PREMIERE PHASE DE L'ETUDE	4
A.2.	LE SDAGE LOIRE-BRETAGNE	5
A.2.1	SEPT OBJECTIFS VITAUX POUR LE BASSIN	5
A.2.2	PRECONISATIONS GENERALES DU SDAGE A PRENDRE EN COMPTE DANS LE CADRE DE L'ETUDE.....	6
A.2.2.1	<i>Prévisions et gestion des crises hydrologiques</i>	6
A.2.2.1.1	Les étiages.....	6
A.2.2.1.2	Les crues	7
A.2.2.2	<i>Prévention</i>	7
A.2.2.3	<i>Protections</i>	7
A.3.	APPLICATION AU BASSIN DE LA MAINE DES ENJEUX ET OBJECTIFS DU SDAGE LOIRE-BRETAGNE	9
A.3.1	GESTION INTEGREE ET CONCERTEE	9
A.3.2	PRESERVATION DE LA QUALITE DE L'EAU	10
A.3.3	GESTION QUANTITATIVE DE LA RESSOURCE	11
A.3.4	COURS D'EAU, ZONES HUMIDES ET ECOSYSTEMES	12

A.1. CONTEXTE GENERAL ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

A.1.1 Cadre général de l'étude

L'étude des crises hydrologiques du bassin de la Maine peut être présentée comme un exemple concret de la volonté d'étudier et de proposer des actions concertées d'aménagement dans une vision globale et cohérente à l'échelle d'un bassin versant.

Cette prise en compte de l'ensemble des intérêts des usagers et riverains des cours d'eau du bassin de la Maine s'était déjà nettement affirmée ces dernières années, par la prise en compte d'aspects aussi divers que la prévention contre les crues, la remontée des poissons migrateurs, le développement du tourisme fluvial ou du tourisme vert.

Toutes ces actions s'inscrivent dans la logique du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Loire-Bretagne approuvé le 26 juillet 1996.

C'est dans ce souci de cohérence globale que, suite aux crues très importantes de janvier 1995 sur l'ensemble du bassin, une réflexion concertée entre les différents partenaires sur le bassin a présidé au lancement d'une importante étude des crises hydrologiques du bassin de la Maine, étude également dénommée sous l'appellation "étude 3P", car concernant les trois volets "Prévision", "Prévention" et "Protections" et intégrant non seulement la problématique des crues, mais également celle de la gestion des étiages.

Dans la logique de cette dynamique, la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) Centre, également DIREN de Bassin sur l'ensemble du bassin Loire-Bretagne, a établi, en collaboration avec les collectivités concernées, le cahier des charges de cette étude.

Cette étude devant déboucher notamment sur la préconisation d'un réseau de stations de mesures à télétransmettre dans le cadre d'une extension en cours du réseau CRISTAL (Centre Régional Informatisé par Système de Télésures pour l'Aménagement de la Loire), c'est tout naturellement que l'EPALA (Etablissement Public pour l'Aménagement de la Loire et ses Affluents) a assuré la maîtrise d'ouvrage de cette étude, d'un montant total de 1,2 MF TTC et dont le financement est assuré comme suit :

- Etat (Ministère de l'Environnement) : 50 %
- Agence de l'Eau Loire-Bretagne : 23 %
- Départements de la Sarthe, d'Eure-et-Loir, de l'Orne, de la Mayenne et ville d'Angers : 18,3 %
- EPALA (où sont notamment présents les départements du Maine-et-Loire et du Loir-et-Cher) : 8,7 %

A.1.2 Pilotage et conduite de l'étude

La DIREN de Bassin est conducteur d'opération de cette étude dont le pilotage est assuré par un important Comité de Pilotage rassemblant la plus large représentation des Collectivités locales (élus des Conseils Généraux des six départements concernés, ville d'Angers), des Services de l'Etat (Préfectures, DIREN des trois régions concernées, DDE et MISE des six départements), ainsi que l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, la Commission Locale de l'Eau du bassin de l'Oudon et le Conseil Supérieur de la Pêche.

Compte tenu de l'importance des enjeux et de la vision globale au niveau du bassin avec laquelle cette étude doit être conduite, il a été décidé de doter ce Comité de Pilotage de Commissions Géographiques au niveau des trois entités Maine-Mayenne-Oudon, Sarthe-Huisne et Loir, d'une part dans un souci de concertation et de prise de connaissance des problèmes à l'échelle de ces sous-bassins, et d'autre part de présentation et discussion des conclusions des différentes phases de l'étude.

En ce qui concerne le suivi du déroulement technique de l'étude, celui-ci est assuré par un Comité Technique de suivi rassemblant, outre le maître d'ouvrage et le conducteur d'opération, des représentants techniques des collectivités locales, des services de l'Etat et de l'Agence de l'Eau.

A.1.3 Contenu et phasage de l'étude

L'étude est organisée en deux phases successives :

- une première phase, d'une durée initiale de six mois (1er semestre 1998), consiste à rassembler et synthétiser l'état de la connaissance et des problématiques du bassin, et la compléter pour réaliser les actions suivantes :
 - * analyser les situations de crises hydrologiques (crues et étiages) de façon à définir les méthodes et outils destinés à comprendre, prévoir et gérer les événements à venir, en particulier par l'équipement en télétransmission et le raccordement au réseau CRISTAL des stations de mesures qui auront été préconisées ;
 - * fournir aux services d'Annonce de Crue une première génération de méthodes de prévision des crues, directement opérationnelles et aussi simples d'emploi que possible, méthodes pouvant être enrichies au gré des évolutions et travaux, et de l'expérience acquise ; décrire et évaluer les moyens à mettre en oeuvre pour définir une deuxième génération des méthodes de prévision tirant parti de l'ensemble du réseau prévu à terme ;
 - * décrire et évaluer l'ensemble des éléments techniques et des méthodes restant à mettre en oeuvre pour réaliser la totalité des documents de prévention nécessaires, dans un cadre hydrologique nécessaire et suffisant, décrit de façon homogène à l'échelle du bassin ;
 - * identifier les options de protections envisageables pour les agglomérations sensibles, soit au niveau de protections locales (tout en veillant aux conséquences sur l'amont et l'aval), soit au niveau d'une modification possible des consignes de gestion des ouvrages existants, soit enfin au niveau d'options de protections éloignées à l'échelle du bassin ou de la vallée (par ex : augmentation du rôle des champs d'expansion des crues, voire réalisation d'ouvrages écrêteurs de crue) ; cette identification (faisabilité et cadrage) débouche sur une hiérarchisation des actions à entreprendre, dans une logique à la fois de protection optimale des agglomérations et de cohérence de bassin.
- Une deuxième phase, dont la définition précise interviendra après discussions et concertation globale (fin 1998) relatives aux conclusions de la phase I, visera à affiner techniquement et financièrement (étude préalable) les options retenues à l'examen de ces conclusions, de façon à permettre un choix définitif, puis le passage aux études d'exécution. La durée globale de cette deuxième phase est de l'ordre de 9 mois, jusqu'à l'automne 1999.
- Extension du réseau CRISTAL
Parallèlement aux compléments d'étude menés dans le cadre de la deuxième phase, le maître d'ouvrage élaborera un plan de financement de l'extension du réseau CRISTAL au bassin versant de la Maine (finalisation automne 1999). La mise en place des centraux et des stations principales est prévue dans le courant des trois premiers trimestre de l'an 2000. L'équipement global complémentaire (autres stations) est envisagé vers la fin de l'an 2001.

A.1.4 Déroulement de la première phase de l'étude

Cette première phase de l'étude s'est déroulée selon plusieurs étapes :

- une importante étape de collecte et de traitement statistique de données hydrométéorologiques (SEMA, Services d'Annonce de Crue, Météo-France), de recensement et d'examen des études et données bibliographiques existantes
- des visites techniques auprès des quatre services d'Annonce de Crue et des gestionnaires (SEMA) des stations hydrométriques
- l'organisation de réunions de concertation, au niveau des sous-bassins, avec les représentants des Conseils Généraux et des services de l'Etat, dans le but de bien appréhender la problématique des crises hydrologiques ainsi que leur perception à l'échelle des sous-bassins hydrologiques
- des visites systématiques (enquêtes de terrain) auprès des principales agglomérations concernées, au nombre de 16
- des contacts avec les représentants de trois associations de défense des riverains contre les crues (Segré, Le Mans et la Flèche).

La collecte de l'ensemble des données, les contacts et réunions se sont déroulés dans le courant du premier trimestre 1998.

Le deuxième trimestre 1998 a été consacré à l'analyse de l'ensemble des éléments ainsi recueillis, à leur restitution et validation progressive auprès du Comité Technique de suivi, puis à l'élaboration d'une part de schémas opérationnels de prévision des crues, et d'autre part de préconisations d'actions à entreprendre (plan de travail) dans le cadre de la réalisation des documents de prévention, et dans le cadre d'options de protection hiérarchisées, toutes deux élaborées dans une vision globale et cohérente à l'échelle du bassin.

Les travaux effectués sur l'ensemble de cette phase ont été accompagnés d'une large participation des membres du Comité Technique de suivi de l'étude, au cours de 6 réunions "générales" qui se sont tenues le 16 décembre 1997, et les 17 mars, 28 avril, 9 juin, 1er juillet et 25 août 1998, et de deux réunions plus spécifiques consacrées au volet "prévention" (9 juin) d'une part, et à l'extension du réseau CRISTAL (6 juillet) d'autre part.

Une première réunion du Comité de Pilotage s'est tenue le 09 février 1998, au cours de laquelle ont été précisés les objectifs de l'étude, et où a été décidée l'organisation de réunions intermédiaires des trois Commissions Géographiques, réunions consacrées à une information sur le déroulement et les objectifs de l'étude auprès d'une plus large représentation des différents acteurs sur chacun des sous-bassins.

L'ensemble des résultats et conclusions de cette première phase a fait l'objet d'une présentation et d'une discussion approfondie auprès du Comité de Pilotage lors d'une réunion le 04 septembre 1998, et a été présenté aux membres des trois Commissions Géographiques dans le courant de l'automne 1998.

A.2. LE SDAGE LOIRE-BRETAGNE

A.2.1 *Sept objectifs vitaux pour le bassin*

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Loire-Bretagne définit les orientations fondamentales pour une gestion équilibrée de l'eau sur l'ensemble du bassin hydrographique. Il a pour ambition de concilier l'exercice des différents usages de l'eau avec la protection des milieux aquatiques.

Afin de concilier la satisfaction quantitative et qualitative des besoins avec une gestion avisée, en respectant la vie et l'avenir de la ressource "eau" et des milieux aquatiques qui y sont associés, le Comité de Bassin Loire-Bretagne a retenu sept objectifs vitaux qui sont rappelés ci-après.

(1) * Gagner la bataille de l'alimentation en eau potable

Due à la fois à des ressources en eau peu abondantes et à une menace sur la qualité de l'eau potabilisable, la fragilité de l'approvisionnement en eau potable a été particulièrement mise en évidence au cours des années de sécheresse 1989 à 1993.

L'accent est mis sur la meilleure connaissance et la reconquête des gisements d'eau souterraine, l'amélioration des caractéristiques de potabilité des eaux de surface, ainsi que sur la fiabilisation et la modernisation des systèmes de traitement et de distribution d'eau potable.

(2) * Poursuivre l'amélioration de la qualité des eaux de surface

Il s'agit prioritairement de réactualiser les objectifs de qualité et de réduire aussi bien par temps de pluie que par temps sec la pollution due aux rejets urbains, industriels et agricoles.

(3) * Retrouver des rivières vivantes et mieux les gérer

Il faut pour cela :

- y assurer un débit minimal permettant la vie des espèces animales et végétales et garantissant les usages de priorité absolue (ex. les prélèvements pour l'alimentation en eau potable AEP)
- respecter voire rétablir les dynamiques naturelles des cours d'eau et mieux gérer leurs abords
- assurer le retour des poissons migrateurs.

(4) * Sauvegarder et mettre en valeur les zones humides

Les zones humides exceptionnelles, d'intérêt national ou international, justifient la mise au point, concertée avec l'ensemble des élus, riverains et usagers, de plans pluri-annuels de gestion durable.

Les zones humides d'intérêt plus local (plaines alluviales, têtes de bassin) feront l'objet de suivi et d'évaluation, de cohérence des politiques publiques qui y seront menés, et enfin d'information et de sensibilisation auprès des partenaires locaux et de la population.

(5) * Préserver et restaurer les écosystèmes littoraux

Par rapport aux eaux de rivières, il convient d'agir au niveau des bassins versants prioritaires pour y réduire les apports de nutriments (azote) générateurs de phénomènes d'eutrophisation marine.

(6) * Réussir la concertation, notamment avec l'agriculture

Des mécanismes de solidarité et de concertation créatives viseront à :

- limiter et gérer les rejets polluants des élevages
- connaître les prélèvements d'eau pour l'irrigation (pour, si nécessaire, en limiter les volumes)
- réduire les pollutions dues aux modes de cultures
- mettre en place des mesures agri-environnementales
- contractualiser le service rendu pour l'épandage des boues d'épuration des eaux résiduaires urbaines ou industrielles
- mettre en place des mesures palliant les conséquences de la déprise agricole sur le milieu aquatique.

(7) * Savoir mieux vivre avec les crues

L'Etat et les collectivités territoriales doivent mettre en oeuvre une politique commune visant à :

- mettre un terme à l'urbanisation des zones inondables
- améliorer la protection de zones inondables déjà urbanisées
- sauvegarder ou retrouver le caractère naturel, la qualité écologique et paysagère des champs d'expansion des crues.

Les principaux thèmes de l'étude (Prévision et Gestion des Crises Hydrologiques, Prévention, Protections) doivent naturellement s'inscrire d'une part, dans le cadre des préconisations générales du SDAGE, et d'autre part dans le cadre de ses préconisations locales.

A.2.2 Préconisations générales du SDAGE à prendre en compte dans le cadre de l'étude

A.2.2.1 Prévisions et gestion des crises hydrologiques

A.2.2.1.1 Les étiages

- Des objectifs de débits, utilisables tant pour l'ensemble des actions de police des eaux et des milieux aquatiques, que pour la programmation d'ouvrages d'amélioration de la ressource et de soutien des étiages, et la gestion de ceux qui existent, sont établis en des points nodaux du bassin, de manière harmonisée. Les valeurs fixées pour ces objectifs (DOE, DSA, DCR) sont associées à des notions de fréquence et de saisonnalité.
- Prélèvements en eau

Les besoins en eau d'irrigation sont concentrés sur une courte période de l'année, à une époque de grande fragilité du milieu aquatique. La maîtrise de l'eau en agriculture représente un facteur important aussi bien quantitativement (généralisation du comptage) que qualitativement.

- Ouvrages de soutien d'étiage

Il convient de limiter strictement la construction, d'apprécier l'opportunité du maintien ainsi que d'aménager la gestion des seuils, barrages, et d'une façon générale de tout obstacle dans le lit, tant pour limiter les ralentissements de l'écoulement nuisibles à la qualité des eaux (envasement, eutrophisation) que pour permettre la libre circulation dans l'eau et sur l'eau.

Tout projet d'ouvrage soumis à autorisation doit être précédé d'une étude globale envisageant les impacts et procédant à une analyse comparative des solutions alternatives possibles. Ces éléments doivent être repris dans le document d'incidence du dossier de demande d'autorisation.

A.2.2.1.2 Les crues

L'annonce de crue, ainsi que les dispositifs d'alerte et d'évacuation, doit être renforcée. C'est dans ce cadre qu'est prévue l'extension du réseau CRISTAL au bassin de la Maine (pour s'achever à l'horizon 2 001).

Parallèlement, l'organisation des Services d'annonce de crue et leurs moyens doivent être renforcés.

A.2.2.2 Prévention

Celle-ci vise essentiellement à "stopper l'urbanisation dans les zones inondables", en s'appuyant sur trois principes d'action :

- dans les zones d'aléas les plus forts, interdire toute construction nouvelle et réduire la vulnérabilité de celles qui y sont déjà ; dans les autres zones d'aléas, limiter strictement la construction et réduire la vulnérabilité.
- arrêter l'extension de l'urbanisation dans les zones inondables
- éviter tout endiguement ou remblaiement nouveau qui ne serait pas justifié par la protection de lieux fortement urbanisés.

Cela conduit à la cartographie des zones inondables (atlas des zones inondables et surtout Plans de Prévention des Risques, PPR), à la très large diffusion de cette cartographie, et enfin à sa traduction réglementaire.

A cet égard, la présente étude s'attache uniquement à établir un bilan et un examen critique des documents existant, et à élaborer un "plan de travail" permettant de classer ces documents et de détailler les éléments manquants, nécessaires à leur utilisation informative et réglementaire.

A.2.2.3 Protections

Toute décision de réaliser ou de renforcer un aménagement pour protéger une zone inondable doit être précédée de la réalisation d'une étude qui examine les autres solutions possibles (déplacement des installations les plus vulnérables) et leurs effets, les perturbations apportées, les enjeux humains et financiers.

L'entretien et la restauration des cours d'eau visent à diminuer le risque d'embâcle et à améliorer les écoulements. Les interventions doivent cependant éviter tout enfoncement de la ligne d'eau à l'étiage ou toute atteinte grave à la richesse écologique du lit et aux sites.

Ecrêtement des crues

Lorsque c'est possible, il convient d'utiliser, pour écrêter les crues importantes, les synergies offertes par des ouvrages construits dans un autre but. Cet examen doit notamment être fait lors de l'élaboration des SAGE.

Les ouvrages nouveaux d'écrêtement des crues importantes ne doivent être conçus et utilisés que pour diminuer des dommages importants et ne doivent pas être présentés comme des protections absolues; Ils doivent être justifiés par leur rôle, sur les plans humains et économiques, et doivent être aussi peu que possible perturbateurs des écosystèmes.

Maîtrise du ruissellement

Dans les secteurs où les pratiques agricoles et la configuration des surfaces ont été profondément transformées dans le sens de l'aggravation de la vitesse de ruissellement, une réflexion doit être engagée sur les moyens d'inverser le processus, notamment à l'occasion de l'établissement des SAGE.

Champs d'expansion des crues

Ceux-ci devront être préservés, de façon à consolider, pour les divers milieux (annexes hydrauliques, berges, zones humides et forêts alluviales), leurs fonctions d'habitat, de reproduction ou d'étape.

A.3. APPLICATION AU BASSIN DE LA MAINE DES ENJEUX ET OBJECTIFS DU SDAGE LOIRE-BRETAGNE

C'est en cohérence avec les objectifs généraux du SDAGE que les enjeux locaux et les objectifs de quantité et de qualité aux points nodaux (endroits particuliers où le suivi en continu de débits de référence et/ou de paramètres de qualité permettent de vérifier le respect des objectifs fixés) ont été définis sur le bassin de la Maine.

Les principaux objectifs généraux du SDAGE Loire Bretagne, repris pour le bassin Maine-Mayenne-Sarthe-Loir sont les suivants :

A.3.1 Gestion intégrée et concertée

Afin d'assurer une gestion intégrée et concertée à l'échelle de zones hydrologiques, la mise en place de SAGE à court terme sur les zones où la gestion des ressources présente des conflits d'usages significatifs, est nécessaire.

Le SDAGE Loire-Bretagne a d'ores et déjà défini des unités hydrologiques (et hydrogéologiques) cohérentes au sein desquelles un certain nombre d'enjeux principaux ont été identifiés, et résumés, en ce qui concerne le bassin de la Maine, dans la grille ci-dessous :

	Qualité des eaux de surface	Lutte contre l'eutrophisation	Ressources en eau potabilisables	Gestion quantitative de la ressource	Milieux et écologie	Population piscicole	Circulation piscicole
Bassin de la Mayenne (sans l'Oudon)	R	X	A	A		P	R
Bassin de l'Oudon		X	A	X		P	
Bassin de la Sarthe (des sources à l'Huisne)	A	X	A			P	
Bassin de l'Huisne	A	X	A			P	
Bassin de la Braye	R		C			P	
Bassin du Loir (des sources à la Braye)	A	X	A	X	P	P	

avec X : enjeu identifié

Niveaux des enjeux déjà identifiés :
 R : restauration
 A : amélioration
 P : Protection
 C : contribution

Les SAGE jugés prioritaires sont ceux relatifs à l'Oudon, la Mayenne, la Sarthe (des sources à la confluence avec l'Huisne) et l'Huisne. Il est à rappeler notamment que le SDAGE prévoit la mise en place d'un SAGE dès qu'est envisagée la création de retenue(s) ayant une importance significative pour le régime des eaux (cas du projet de Méral sur l'Oudon, de St Calais sur la Mayenne et des projets de retenues pour lutter contre les crues sur l'Huisne).

Pour les SAGE sur les bassins de l'Oudon et de la Mayenne, les commissions locales de l'eau ont déjà été mises en places, sur le bassin de l'Huisne, elle est en projet.

A.3.2 Préservation de la qualité de l'eau

- L'eutrophisation

La lutte contre l'eutrophisation est un objectif du SDAGE Loire-Bretagne dont l'application à terme de 10 ans pour le bassin Maine-Mayenne-Sarthe-Loir consiste notamment en la déphosphatation des rejets supérieurs à 8 kg/j sur les 10 ans à venir (4 kg/j après 10 ans).

Afin d'assurer une cohésion avec l'objectif de qualité en Loire de 0,1 mg/l de phosphore total à terme de 10 ans, l'objectif au point nodal Maine aval est fixé à 0,25 mg/l (avec une tolérance jusqu'à 0,30 mg/l), ainsi que sur tout le bassin. De plus, en tous les points nodaux amont du bassin de la Maine, à savoir : Oudon, Mayenne, Sarthe et Loir, un objectif de qualité (120 µg/l) relatif à la chlorophylle a est proposé.

Les bassins de la Mayenne, de l'Oudon, du Loir et dans une moindre mesure, de la Sarthe, présentent des niveaux d'eutrophisation manifestement inacceptables du fait des rejets de phosphore combinés aux faibles débits d'étiage. Il est préconisé une déphosphatation des plus gros rejets domestiques et industriels.

- Les toxiques : les actions de limitation des toxiques doivent être effectuées à la source, notamment :
 - ◇ Métaux lourds : au point nodal Braye (rejets de métaux de quelques industries localisées à Cormenon)
 - ◇ Pesticides : les bassins de la Mayenne, de l'Oudon et dans une moindre mesure de la Sarthe et du Loir présentent des niveaux de pesticides inacceptables et un effort très important doit être fait pour retrouver le niveau d'altération souhaité. Tous les points nodaux amont du bassin de la Maine, à savoir : Oudon, Mayenne, Sarthe et Loir proposent un objectif de qualité (1 µg/l) relatif aux pesticides.
- Les pollutions agricoles : la priorité devra porter sur le contrôle des pollutions générées par les élevages (restructuration des bâtiments d'élevage, amélioration des conditions de stockage des effluents, gestion des épandages).

La mise en oeuvre de "bonnes pratiques agricoles" par le biais d'une meilleure gestion de la fertilisation et de pratiques culturales adaptées devra être mis en oeuvre :

- ◇ Zones vulnérables : départements de la Mayenne et de l'Orne (qui couvre principalement les bassins de la Mayenne et de la Sarthe), et les parties Ouest des départements de la Sarthe et du Maine-et-Loire, ainsi que les bassins de la Braye et de la Conie : information et programmes de réduction des rejets en nitrates, phosphore et pesticides.
 - ◇ Zones non vulnérables : information des agriculteurs.
- Les eaux usées urbaines : les filières d'assainissement des communes devront être fiabilisées, notamment à travers la mise en place de stations d'épuration pour les communes de plus de 2 000 EH, en choisissant des technologies fiables et évolutives. L'amélioration de la collecte des eaux usées (construction ou amélioration des réseaux d'assainissement) devra être systématisée pour les habitats urbains et semi-urbains dans le cadre du SDAGE.

La prise en compte des eaux pluviales devra être considérée comme un objectif du SDAGE, notamment pour les principales agglomérations du bassin (Le Mans, Laval, Angers, Sablé).

- Les pollutions industrielles : le contrôle des actions de réduction à la source des pollutions industrielles devra être effectué avec vigilance. D'ici l'an 2000, toutes les collectivités devront avoir établi ou mis à jour les conventions de raccordement des industriels.

A.3.3 Gestion quantitative de la ressource

- Le maintien d'un débit minimum (permettant la vie des espèces animales et végétales, et garantissant les usages de priorité, comme les prélèvements pour l'alimentation en eau potable) peut conduire, après détermination des seuils de débits critiques (cf DOE, DSA et DCR ci-après), à préconiser des solutions telles que la limitation de prélèvements à l'étiage, le soutien des étiages (exemple de l'étude de l'ouvrage de St Calais sur le haut bassin de la Mayenne et dont la décision de réalisation ne pourra être prise que dans le cadre d'un SAGE) ou le recours au stockage des eaux d'hiver dans des retenues collinaires.
- Débit Objectif d'Etiage (DOE) : défini au droit d'un point nodal, il s'agit d'un débit moyen mensuel au-dessus duquel il est considéré qu'à l'aval de ce point nodal, l'ensemble des usages est possible en équilibre avec le bon fonctionnement du milieu aquatique. Il n'est pas défini pour tous les points nodaux, mais lorsqu'il l'est, c'est par référence au QMNA5 (débit moyen mensuel minimal de fréquence quinquennale). Il sert de référence à la police des eaux pour accorder les autorisations de prélèvements et de rejets. Il peut ne pas être respecté une année sur cinq en moyenne (il s'agit donc d'un objectif assorti d'une probabilité). Les points où le DOE est supérieur au QMNA5 correspondent à des secteurs où il est nécessaire d'augmenter les débits dans la rivière, soit par soutien d'étiage, soit par diminution des prélèvements. C'est bien sûr le lieu prioritaire d'application de démarches de type SAGE.
- Le Débit Seuil d'Alerte (DSA) est un débit moyen journalier. En dessous de ce débit, une des activités utilisatrices d'eau, ou une des fonctions du cours d'eau, est compromise. Pour rétablir partiellement cette activité ou fonction, il faut donc limiter temporairement certains prélèvements ou certains rejets.
- Le Débit d'Etiage de Crise (DCR) est un débit moyen journalier. C'est la valeur du débit en dessous de laquelle il est considéré que l'alimentation en eau potable pour les besoins indispensables à la vie humaine et animale, la sauvegarde de certains moyens de production, ainsi que la survie des espèces les plus intéressantes du milieu, ne sont plus garanties.

Les valeurs caractéristiques au droit des points nodaux du bassin de la Maine, sont rappelées ci-dessous :

M _{am}	Point nodal "Mayenne amont"	La Mayenne en aval immédiat de l'ouvrage de St Fraimbault
M _{av}	Point nodal "Mayenne aval"	La Mayenne en amont de sa confluence avec l'Oudon
O	Point nodal "Oudon"	L'Oudon en amont de sa confluence avec la Mayenne
S _{am}	Point nodal "Sarthe amont"	La Sarthe en amont du Mans
H	Point nodal "Huisne"	L'Huisne en amont du Mans
S _{av}	Point nodal "Sarthe aval"	La Sarthe en amont de sa confluence avec le Loir
C	Point nodal "Conie"	La Conie, au droit du pont de la D111.7 (pont de Blenet)
B	Point nodal "Braye"	La Braye à sa confluence avec le Loir
L	Point nodal "Loir aval"	Le Loir à sa confluence avec la Sarthe
M	Point nodal "Maine"	La Maine à Angers.

Point nodal	QMNA5	DOE	DSA	DCR
M _{am}	1.5	2.0	1.5	-
M _{av}	3.1	3.1	1.0	-
O	0.02	0.10	0.02	-
C	0.80	1.00	0.80	0.50
L	7.3	7.3	-	-

Nota : les autres points nodaux ne présentent que des critères de qualité (et non de quantité).

A.3.4 Cours d'eau, zones humides et écosystèmes

Le bassin Loire-Bretagne est le plus grand couloir de migration aquatique, terrestre et aérien d'Europe grâce à la richesse de ses écosystèmes aquatiques et de ses zones humides.

- Poissons migrateurs : les affluents de la Maine sont des axes de migration privilégiés pour l'anguille, la lamproie et l'aloise, mais la présence de nombreux seuils et barrages constitue un obstacle quasiment insurmontable à la circulation des poissons. Le franchissement des obstacles par les poissons doit être examiné sur l'ensemble du réseau migratoire, les effets cumulatifs de tous les obstacles étant à prendre en compte dans leur globalité. L'axe Maine est libre car la réalisation récente du seuil mobile à Angers s'est accompagnée de la mise en place d'un dispositif de franchissement qui devrait permettre la remontée des poissons migrateurs. Dans le prolongement de cet équipement, la remontée de l'axe Mayenne par les poissons migrateurs a été rendue possible à partir de 1997 par la réalisation d'une passe à poissons au droit de l'écluse de Montreuil-Juigné.
- Autres poissons : les bassins situés en amont offrent des potentialités de frayères pour le maintien voire le développement d'espèces piscicoles tels que la truite *fario* (amont Mayenne et Sarthe ainsi que les têtes de bassin, y compris celles du Loir) ou le brochet (Mayenne et Sarthe, hors cours amont ; Loir sur l'ensemble du cours d'eau).

- Zones humides et écosystèmes : la préservation et la restauration des zones humides, des ZNIEFF et des zones en tête de bassins qui sont très peu altérées, doivent naturellement figurer comme un objectif majeur. Le maintien de l'intégralité de leurs fonctions pour garantir la pérennité de la ressource en eau est un objectif sur la majeure partie du bassin Maine-Mayenne-Sarthe-Loir. Dans la zone de confluence et d'expansion LOIRE/MAINE/MAYENNE/SARTHE/LOIR, on notera la valeur patrimoniale exceptionnelle des Basses Vallées Angevines qui constituent une des toutes premières zones humides fluviales du bassin de la Loire, tant par sa richesse biologique (site RAMSAR, LIFE Nature et autres mesures de protection) que par la dimension et fonctionnalité hydro-écologique de son champ d'inondation.
- Navigation : cette fonction est très importante en Maine, sur l'axe Mayenne et dans une moindre mesure en Sarthe aval. L'entretien des ouvrages de navigation et une optimisation de la gestion des éclusées en période d'étiage constituent des facteurs d'amélioration très importants.
- Canoë-kayak : le bassin Maine-Mayenne-Sarthe-Loir est très propice à la pratique de ce sport et il convient d'en préserver et d'en développer l'usage.

TOME 1

B. ETAT DES LIEUX SUR L'HYDROLOGIE DU BASSIN DE LA MAINE

B.1.	DESCRIPTION GENERALE DU BASSIN VERSANT DE LA MAINE.....	3
B.1.1	LE RELIEF ²	3
B.1.2	LA STRUCTURE GEOLOGIQUE	4
B.1.3	PROPRIETES GENERALES DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE	4
B.2.	DESCRIPTION DETAILLEE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE	5
B.2.1	BASSIN DE LA MAYENNE (HORS OUDON).....	5
B.2.1.1	<i>Orientation de la rivière.....</i>	5
B.2.1.2	<i>Réseau hydrographique et confluences.....</i>	5
B.2.1.3	<i>Profils en long.....</i>	6
B.2.1.4	<i>Profils en travers.....</i>	7
B.2.1.5	<i>Aménagements réalisés ou en projet.....</i>	7
B.2.1.5.1	Aménagement existant de St Fraimbault	7
B.2.1.5.2	Projet d'aménagement de l'ouvrage de St Calais-du-Désert	7
B.2.1.5.3	Equipement de micro-centrales entre les villes de Mayenne et Laval	8
B.2.1.5.4	Navigation de plaisance sur la basse Mayenne.....	8
B.2.2	BASSIN DE L'OUDON	8
B.2.2.1	<i>Réseau hydrographique</i>	8
B.2.2.2	<i>Profils en long et pentes.....</i>	8
B.2.2.3	<i>Aménagements réalisés ou projetés</i>	9
B.2.3	BASSIN DE LA SARTHE AMONT (DE SA SOURCE JUSQU'AU MANS)	9
B.2.3.1	<i>Orientation de la rivière.....</i>	9
B.2.3.2	<i>Réseau hydrographique et confluences.....</i>	9
B.2.3.3	<i>Profil en long</i>	10
B.2.3.4	<i>Profils en travers.....</i>	11
B.2.3.5	<i>Aménagements réalisés ou en projet.....</i>	11
B.2.3.5.1	Aménagement de biefs	11
B.2.3.5.2	Drainage agricole	11
B.2.3.5.3	Aménagements liés au tourisme et aux loisirs.....	12
B.2.4	BASSIN DE L'HUISNE	13
B.2.4.1	<i>Orientation de la rivière.....</i>	13
B.2.4.2	<i>Réseau hydrographique et confluences.....</i>	13
B.2.4.3	<i>Profils en long.....</i>	13
B.2.4.4	<i>Profils en travers.....</i>	13
B.2.4.5	<i>Aménagements réalisés ou en projet.....</i>	13
B.2.5	BASSIN DE LA SARTHE AVAL (DU MANS A LA CONFLUENCE AVEC LA MAYENNE)	15
B.2.5.1	<i>Réseau hydrographique et confluences.....</i>	15
B.2.5.2	<i>Aménagements existants ou en projet</i>	15
B.2.5.2.1	Augmentation des prélèvements en eau	15
B.2.5.2.2	Exemple de l'aménagement de la vallée de l'Erve	16
B.2.6	BASSIN DU LOIR.....	16
B.2.6.1	<i>Orientation de la rivière.....</i>	16
B.2.6.2	<i>Réseau hydrographique et confluences.....</i>	16
B.2.6.3	<i>Profils en long.....</i>	18
B.2.6.4	<i>Profils en travers.....</i>	18
B.2.6.5	<i>Aménagements existants ou en projet</i>	18
B.2.6.5.1	Influence du développement agricole.....	18
B.2.6.5.2	Développement de plans d'eau	18
B.2.6.5.3	Navigation : déclassement du Loir	19
B.2.6.5.4	Etudes en cours.....	19
B.2.7	LE BASSIN DE LA MAINE ET LA CONFLUENCE AVEC LA LOIRE.....	19

B.3.	IMPLANTATION DES RESEAUX DE MESURES	21
B.3.1	RESEAU DE MESURES PLUVIOMETRIQUES ET PLUVIOGRAPHIQUES	21
B.3.2	RESEAU DES STATIONS HYDROMETRIQUES	21
B.3.3	RESEAU DES ECHELLES D'ANNONCE DE CRUE	22
B.4.	ANALYSE DE LA PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN DE LA MAINE	23
B.4.1	CONTEXTE METEOROLOGIQUE	23
B.4.2	REPARTITION SPATIALE DES PRECIPITATIONS	23
B.4.2.1	<i>Au niveau annuel.....</i>	23
B.4.2.2	<i>Variabilité saisonnière.....</i>	25
B.4.2.3	<i>Séquences sèches ou humides sur plusieurs mois consécutifs</i>	25
B.4.3	PRECIPITATIONS JOURNALIERES SUR QUELQUES JOURS CONSECUTIFS	26
B.4.4	VALEURS CARACTERISTIQUES DES GRADEX PLUVIOMETRIQUES	27
B.5.	HYDROLOGIE GENERALE SUR LE BASSIN DE LA MAINE.....	28
B.5.1	COURBES DES REGIMES DES DEBITS	28
B.5.2	COURBES DES DEBITS MOYENS JOURNALIERS SUR DES ANNEES HYDROLOGIQUES "SECHE" ET "HUMIDE"	28
B.5.3	VALEURS CARACTERISTIQUES DES DEBITS DE CRUE	28
B.5.3.1	<i>Estimation des débits décennaux, vingtennaux et cinquanten-</i>	28
B.5.3.2	<i>Estimation des débits de temps de retour plus élevés</i>	28
B.5.3.3	<i>Extrapolation à des points caractéristiques du bassin.....</i>	30
	<i>(confluences, agglomérations, localisation d'échelles d'annonce de crues).....</i>	30
B.5.3.4	<i>Crues historiques et temps de retour correspondants.....</i>	33
B.5.4	VALEURS CARACTERISTIQUES DES DEBITS D'ETIAGE.....	33
B.5.4.1	<i>Caractéristiques générales.....</i>	33
B.5.4.2	<i>Cas particulier des points nodaux définis dans le cadre de l'élaboration du SDAGE Loire-</i>	
Bretagne	33	
B.5.4.3	<i>Principaux épisodes de basses eaux et d'étiage.....</i>	40
B.6.	DESCRIPTION DETAILLEE D'EPISODES DE CRUES CARACTERISTIQUES.....	42
B.6.1	PRESENTATION GENERALE	42
B.6.2	ANALYSE DETAILLEE D'EPISODES DE CRUES	43
B.6.2.1	<i>Crue exceptionnelle de janvier 1995 sur l'ensemble du bassin de la Maine.....</i>	43
B.6.2.2	<i>Crue de février 1997</i>	47
B.6.2.3	<i>Crue de février 1996</i>	49
B.6.2.4	<i>Crue de janvier 1993.....</i>	50
B.6.2.5	<i>Crue de novembre 1974</i>	51
B.6.3	RECAPITULATIF DES TEMPS DE PROPAGATION OBTENUS A PARTIR DE L'ANALYSE DE L'ENSEMBLE DES CRUES ETUDIEES	52
B.6.4	CONCOMITANCE DES CRUES	53
B.6.4.1	<i>Concomitances entre la Sarthe et l'Huisne au Mans</i>	53
B.6.4.2	<i>Concomitances des quatre constituants de la Maine (Mayenne, Oudon, Sarthe et Loir).....</i>	53
B.6.4.3	<i>Concomitance des crues de la Maine et de la Loire</i>	54
B.6.4.3.1	<i>Situations météorologiques pouvant conduire à une concomitance de crues exceptionnelles.....</i>	54
B.6.4.3.2	<i>Analyse des crues de la période 1937-1996</i>	56
B.6.4.3.3	<i>Analyse fréquentielle des crues par comparaison avec la Loire à Montjean</i>	57
B.6.4.3.4	<i>Estimation de la cote pouvant être atteinte à Angers.....</i>	57
B.7.	EPISODES DE BASSES EAUX ET D'ETIAGE	58
B.7.1	RECENSEMENT DES EPISODES DE BASSES EAUX.....	58
B.7.2	ANALYSE DE L'EVOLUTION DES DEBITS AU DROIT DES POINTS NODAUX LORS DES PERIODES DE BASSES EAUX.....	59
B.7.3	CONSEQUENCES DES EPISODES DE BASSES EAUX DE 1996 A 1997	61
B.7.3.1	<i>Dispositions réglementaires prises à l'occasion des épisodes de basses eaux des étés 1996 et 1997.....</i>	61

B.1. DESCRIPTION GENERALE DU BASSIN VERSANT DE LA MAINE

B.1.1 Le relief

Le bassin de la Maine (présenté sur les cartes des *figures B.1.1 et B.1.2*) comporte des reliefs d'altitude modeste, mais de formes variées.

Les points hauts et bas du bassin sont respectivement le Mont des Avaloirs (417 m) dans la partie Centre-Nord, et le secteur d'Angers (altitude de l'ordre de 15 m). Les surfaces du bassin sont à 36 % situées au-dessous de l'altitude 100 m, à 58 % comprises entre 100 et 200 m, et à 6 % au-dessus de 200 m.

Le bassin versant s'oriente globalement Nord-Sud, avec pour sa partie Nord la présence de deux massifs collinaires, l'un à l'Ouest se terminant aux sources de la Mayenne, l'autre à l'Est vers les sources de la Sarthe.

Hormis les collines du Petit Maine, la partie Ouest du bassin ne présente pratiquement aucune ligne nette de partage des eaux.

Il en est de même des parties Nord-Est et Est du bassin qui ne présentent pas de limites marquées avec les terres de la Beauce.

Enfin, pour la partie Sud du bassin, les bas plateaux séparant la vallée du Loir de celle de la Loire sont à peine visibles.

Cependant, si globalement les frontières du bassin de la Maine ne présentent pas des reliefs très marqués, un cloisonnement interne permet de bien le subdiviser en trois sous-bassins bien individualisés :

- Le bassin Ouest, celui de la Mayenne, qui comporte un secteur de plaines au Nord (secteur de Couture), prolongé par une série de collines molles (entre 100 et 200 m d'altitude), dans lesquelles se sont incisées d'étroites vallées, jusque dans le secteur de la presque-plaine du Bas-Anjou
- Le bassin central, celui de la Sarthe, comporte des massifs (forêts de Perseigne et de Bellême) qui isolent des plaines intérieures comme celle d'Alençon (altitude inférieure à 150 m) ; au milieu du bassin, centrée sur la ville du Mans, se développe également une plaine basse prolongée au nord par la plaine du Saonois ; l'ensemble de ces plaines est encadré par les plateaux de la Champagne mancelle à l'Ouest, la forêt de Bonnétable à l'Est, et la forêt de Vibraye au Sud-Est
- Le bassin du Loir, à l'Est, séparé de celui de la Sarthe par les collines du Perche ; la vallée du Loir constitue une coupure entre le glacis peu incliné des hautes collines (le Petit Perche) et la plaine de Beauce (altitude moyenne 140-150 m).

Globalement, l'ensemble du bassin est largement ouvert aux influences météorologiques du Sud et surtout du Sud-Ouest, et se trouve sous abri vis-à-vis des masses d'air venant du Nord ou du Nord-Ouest (protection des collines du Petit Maine). En revanche, les collines du Perche sont exposées aux influences de l'Est et du Nord-Est. De ce fait, les hautes collines normandes sont soumises à l'influence des masses d'air venues de toutes les directions.

B.1.2 La structure géologique

La structure géologique du bassin de la Maine (cf *cartes des figures B.1.3 et B.1.4*) est marquée par la juxtaposition de deux zones :

- une zone orientale, proche du bassin parisien, aux terrains sédimentaires (calcaires et craies, notamment le calcaire turonien de la Touraine au Vendômois et à la porte d'Angers),
- une zone occidentale toute entière sur le socle armoricain constitué d'une grande variété de roches cristallines et de terrains sédimentaires comptant parmi les plus anciennes formations de l'écorce terrestre. Ce sont les granites de Mayenne (gros blocs arrondis et composés de cristaux blancs ou noirs), des gneiss et micaschistes, des schistes à l'aspect d'ardoises dans les régions de Chateaufort-sur-Sarthe, Fresnay-sur-Sarthe, Château-Gonthier, Craon et de Mayenne à Ernée.

B.1.3 Propriétés générales du réseau hydrographique

Le bassin de la Maine est doté d'un large éventail de rivières drainées à l'Est par la Sarthe, l'Huisne et le Loir qui s'orientent vers les zones de confluences de la région mancelle et de la Maine, et à l'Ouest par la Mayenne et son cortège d'affluents. Elles ont pour origine les hauteurs du Perche et les Alpes mancelles qui bordent l'horizon septentrional du bassin, et les hauteurs des Coëvrons, du mont des Avaloirs et de la forêt de Perseigne au Nord-Ouest. Couronnée de forêts, exposée aux vents du Sud-Ouest, cette ligne de collines culmine entre 215 m (forêt de Mayenne) et 417 m au mont des Avaloirs. Ces collines, placées sous l'influence des perturbations issues de l'Atlantique, reçoivent de plein fouet les ondées océaniques et forment la ligne de partage des eaux.

B.2. DESCRIPTION DETAILLEE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Une description détaillée du réseau hydrographique s'attachera à présenter pour les sous bassins principaux de la Maine (Mayenne, Oudon, Sarthe, Huisne, Loir) les caractéristiques morphologiques de la rivière (orientation, réseau hydrographique, profils en long, profils en travers) ainsi que les aménagements existants ou en projet.

Concernant ce dernier point, le paragraphe B.2.3.5.2 résume un ensemble d'études sur le drainage agricole réalisé pour le bassin de la Sarthe amont et qui peuvent s'appliquer pour les autres bassins.

Les profils en long sont représentés sur les *figures B.2.1 et B.2.2*.

B.2.1 Bassin de la Mayenne (hors Oudon)

B.2.1.1 Orientation de la rivière

La Mayenne a son origine au Mont des Avaloirs (293 m), sur le flanc Nord de la partie culminante du massif armoricain.

La partie supérieure du cours d'eau draine, sur une faible longueur, plusieurs centaines de kilomètres carrés de bassin versant, et présente donc très vite un débit spécifique élevé.

En aval de Sept Forges, le talweg rencontre la ligne de fracture Domfront-Malicorne, qu'il suit pendant quelques kilomètres.

Ensuite, la Mayenne, entre St Fraimbault et Changé, va suivre une direction parfaitement parallèle à celle de la vallée moyenne de l'Huisne (direction "huisnoise") et de la vallée inférieure de la Braye. Il en est de même de son principal affluent en rive gauche, la Jouanne.

Entre Laval et l'amont de Château-Gontier, la Mayenne retrouve une direction "mayennaise" NNO-SSE, de même que son affluent de rive droite, le Vicoin (en aval de St Berthevin), et plusieurs tronçons de la vallée de l'Ernée.

Le cours aval de la Mayenne reprend enfin une orientation, qui était celle de la Varenne entre Ambrières et Domfront, et de l'Egrenne jusqu'à la limite du bassin de la Vire.

B.2.1.2 Réseau hydrographique et confluences

Le bassin de la Mayenne peut être séparé en trois parties :

- la haute Mayenne, de la source à la ville de Mayenne

Les totaux pluviométriques annuels y sont de 900 mm et plus, avec un gradient de l'ordre de 80 mm pour 100 m, et des précipitations plutôt abondantes sur la période novembre à avril. Le bassin présente un paysage de prairies orientées vers l'élevage, et relativement peu de cultures.

Jusqu'à Couterne, la vallée de la Mayenne présente des fonds alluviaux tourbeux ayant conduit, à partir des années 1980, à un développement important du drainage agricole (surtout par suppression de haies et talus de bocage).

En aval, se situe la confluence d'Ambrières, où se rejoignent la Mayenne (bassin de 876 km²), la Varenne (de surface 722 km², c'est à dire les 4/5 de celui de la Mayenne) et la Colmont (272 km²), 1 km en aval, tous les deux affluents de rive droite.

Le haut bassin de la Varenne reçoit une pluviométrie annuelle pouvant atteindre 1 100 mm (950 mm sur l'ensemble du bassin, contre 850 mm pour celui de la Mayenne) ; l'aval du bassin comporte un grand nombre de zones marécageuses, à l'image du bassin de la Mayenne.

La confluence d'Ambrières est le siège de crues fréquentes, parfois subites, mais qui ne provoquent pas de problèmes majeurs d'inondation du fait du caractère encaissé de la vallée, creusée dans le granit et les schistes anciens.

- la Mayenne lavalloise (entre les villes de Mayenne et Château-Gontier)

Les pluies y sont généralement décroissantes du Nord au Sud (de 1 000 à 700 mm/an), les principaux affluents y sont l'Aron (en rive gauche, 188 km²), l'Ernée (en rive droite, 375 km²), la Jouanne (en rive gauche, 410 km²) et le Vicoin (en rive droite, 235 km²).

Le bassin de l'Aron et le bassin amont de l'Ernée sont constitués de roches granitiques, pouvant conduire à des ruissellements importants en crue, et au contraire à une faiblesse des capacités d'apports souterrains.

Le bassin de la Jouanne, analogue à la partie inférieure du bassin de l'Ernée, conduit à des ruissellements importants sur les roches schisteuses et à couverture argileuse. Le bassin présente moins de bocages mais davantage de cultures.

La disposition de ces bassins conduit à une convergence des écoulements au sud de Laval jusqu'à Château-Gontier. De fait, les deux convergences d'Ambrières (au Nord) et de Bonne (au Sud) sont actives de façon indépendantes, et peuvent conduire, en cas de pluies de durées importantes, à une conjonction de pointes de crue sur l'ensemble du tronçon Laval-Château Gontier-Chambellay.

- la Mayenne angevine (hormis Oudon)

L'Oudon est l'affluent principal, le reste des apports provenant de quelques ruisseaux. Les crues de l'Oudon et de la Mayenne en amont de leur confluence peuvent être simultanées, et conduisent à des concomitances des pointes sur le tronçon compris entre les confluences Mayenne-Oudon et Mayenne-Sarthe. Dans ce cas, les crues peuvent s'avérer d'autant plus brutales (pour Angers) qu'on n'observe pratiquement pas d'étalement de la pointe de crue entre Château-Gontier et Chambellay, du fait du resserrement de la vallée de la Mayenne sur ce tronçon.

B.2.1.3 Profils en long

Le cours amont de la Mayenne (région de Couterne) est peu incisé, et coule "à fleur de prairie". En aval, à partir d'Ambrières, le talweg s'enfonce progressivement et la vallée prend alors l'allure d'un couloir étroit qu'aucune route ne peut longer. En aval (Mayenne angevine), les rebords de la rivière s'adoucisent, mais la vallée demeure étroite et peu commode d'accès.

Le talweg de la Mayenne commence à 293 m d'altitude sur le flanc du massif de la forêt de Multonne et se termine, 199 km plus loin, à la confluence avec la Sarthe, à l'altitude 15 m. La pente moyenne est de 1,4 ‰, avec les valeurs suivantes par tronçon :

de la source à Couterne	5,9 ‰
de Couterne à Mayenne	0,8 ‰
de Mayenne à Laval	1,2 ‰
de Laval à Château-Gontier	0,5 ‰
de Moulin Corçu à Moulin-Oger	2,8 ‰ (barre de grès armoricain qui traverse la vallée)

La rivière a été aménagée jusqu'à Brive, 3 km en amont de la ville de Mayenne, et actuellement on dénombre 24 biefs sur 88 km de la confluence avec la Sarthe jusqu'à Laval, et 21 biefs sur 34 km entre Laval et Mayenne. Les barrages permettent d'assurer, pendant l'été, une profondeur constante de l'ordre de 1,5 mètres (tirant d'eau fixé dans le chenal de navigation).

B.2.1.4 Profils en travers

Le lit mineur, dans le secteur de Laval, présente une largeur de 100 à 120 m, alors que le lit majeur a une largeur de l'ordre de 500 m ; à partir de Changé, le lit majeur a moins de 100 m de largeur.

Cette caractéristique de resserrement du lit majeur sur les trois-quarts du cours de la Mayenne est naturellement propice à des vitesses d'écoulement assez élevées, et à des temps de propagation des crues relativement courts.

B.2.1.5 Aménagements réalisés ou en projet

B.2.1.5.1 Aménagement existant de St Fraimbault

Les trois villes principales du département de la Mayenne (Mayenne, Laval et Château-Gontier), sont situées sur les bords de la rivière et leurs besoins en eau potable sont essentiellement satisfaits par prélèvements sur les eaux de surface. Cependant en été et en automne, le peu de ressources du sous-sol (soubassement géologique de l'extrémité du Massif Armoricain), conduit à des étiages parfois très sévères. Devant l'augmentation des besoins, dès le début des années 70, le Conseil Général du département a décidé la construction de l'ouvrage de St Fraimbault à la limite Nord du département à la confluence des trois rivières Mayenne, Varenne et Colmont. Achevé en 1978, cet ouvrage d'une longueur de 210 m, de hauteur 15,50 m, a conduit à constituer un plan d'eau de 142 ha (sur une longueur de 5 km), et permet de disposer d'une capacité maximale de 4,5 millions de m³, permettant de restituer à l'aval théoriquement un débit de 3 m³/s en permanence (règlement préfectoral).

Naturellement, un autre usage est venu rapidement se greffer dès la réalisation de ce plan d'eau : son utilisation comme base de loisirs et de tourisme, notamment par la commune d'Ambrières.

Rappelons enfin que la réalisation complémentaire d'une usine de production hydroélectrique (EDF), décidée en 1980, a complété l'ensemble de l'aménagement :

Puissance installée	1,35 MW
Productible annuel	4,5 GWh
Débit maximum turbinable	21 m ³ /s (2 groupes de 9 m ³ /s et 1 groupe de 3 m ³ /s)

50

B.2.1.5.2 Projet d'aménagement de l'ouvrage de St Calais-du-Désert

Dans le cadre d'une étude réalisée en 1991 par les bureaux d'étude Hydratec-Aquascop pour le Conseil Général de la Mayenne et portant sur l'élaboration d'un schéma d'aménagement des eaux⁽¹⁾ du département de la Mayenne, plusieurs sites de barrages complémentaires à St Fraimbault, ont été étudiés.

Un site fait actuellement l'objet d'études de faisabilité : le barrage de St Calais du Désert, d'une capacité de 13 Mm³, qui permettrait d'une part de soutenir les étiages de la Mayenne, et d'autre part, de maintenir dans cette rivière à son entrée dans le département du Maine-et-Loire, un débit au moins égal au 1/10 du module annuel. Cependant, la décision de son éventuelle réalisation ne saurait être prise que dans le cadre d'un SAGE.

B.2.1.5.3 Equipement de micro-centrales entre les villes de Mayenne et Laval

L'équipement progressif de micro-centrales hydroélectriques a été réalisé entre le milieu des années 50, et la fin des années 60, sur le cours de la Mayenne entre les communes de Mayenne et Laval. Sur ce tronçon de pente moyenne 1,4 ‰, 16 aménagements ont été réalisés par EDF, de dénivellation moyenne 2 m, équipés de "groupes bulbe" de petite puissance.

Au total sur l'ensemble de la rivière, une quarantaine de barrages écluses a été implantée et équipée de telles microcentrales par EDF et des producteurs autonomes.

B.2.1.5.4 Navigation de plaisance sur la basse Mayenne

Depuis le début des années 80, on assiste à un développement très important de la navigation de plaisance, avec des ports d'attache à Grez-Neuville, Chemillé-Changé, Daon et Entrammes permettant de relier Angers à la ville de Mayenne sur la Mayenne, et à Segré sur l'Oudon.

B.2.2 Bassin de l'Oudon

B.2.2.1 Réseau hydrographique

L'Oudon présente, pour une superficie totale de 1 515 km² et une longueur de 92 km, une pente moyenne de 1,4 ‰ (de la cote 145 à la cote 15).

Le bassin de l'Oudon supérieur présente, à partir de l'étang de la Gravelle (Lorion), un réseau dense de ruisseaux qui serpentent.

Ce réseau présente un aspect convergent vers l'exutoire de Marcillé, avec des chenaux de longueur comparable, pouvant conduire à une concomitance des crues de l'ensemble de ces ruisseaux.

B.2.2.2 Profils en long et pentes

¹ à ne pas confondre avec un SAGE

La pente de la rivière Oudon en amont de Marcillé est de 1,9 ‰ et de 1 ‰ en aval d'Athée (Craon) ; les pentes des affluents que sont l'Uzure, le Chéran et l'Hière sont respectivement 2,2 ; 2,5 et 1,6 ‰ pour des longueurs homogènes de l'ordre de 25 à 35 km.

Ces pentes relativement fortes et la concentration de ces cours d'eau convergeant vers Marcillé sur des longueurs assez comparables, constituent un facteur aggravant pour la genèse d'une crue en amont de Segré.

B.2.2.3 Aménagements réalisés ou projetés

Depuis l'amont de Segré (Moulin-sous-la-Tour), l'Oudon est navigable jusqu'à sa confluence avec la Mayenne.

De nombreux travaux d'aménagements agricoles, liés au remembrement, ont progressivement transformé le paysage, passant de la prairie initiale à la culture. Les travaux hydrauliques connexes (drainage sur le bassin du Chéran, suppression de talus) ont pu conduire à une modification des conditions d'écoulement.

A noter enfin, la réalisation d'un grand nombre de retenues (petits barrages), sur l'Uzure, la Peltrix, l'Oudon (Bouchamps-les-Craon), conduisant, en été, à transformer les cours d'eau en une succession de plans d'eau à niveau constant (biefs) et à débit quasi-nul. En aval, les affluents de l'Oudon que sont l'Arraize, la Verzée et l'Argos ont également fait l'objet de fortes transformations hydrauliques et hydrosystémiques.

Dans le cadre d'études réalisées en 1991 et 1993 par les bureaux d'étude Hydratec-Aquascop et portant sur des schémas d'aménagement des eaux ⁽²⁾ de l'Oudon dans les départements du Maine-et-Loire et de la Mayenne compte tenu de l'augmentation notable des prélèvements sur ce bassin, plusieurs ouvrages de soutien d'étiage ont été étudiés sur ce bassin (site de Méral sur le haut Oudon, capacité 4 Mm³ ; site de la Boissière sur le Chéran, capacité 5 Mm³ ; site de Chatelais sur la Queille, capacité de 3 Mm³ par pompage dans l'Oudon ; site de Pied Dru sur l'Arraize, capacité 5 Mm³). Cependant, aucun des sites inventoriés n'est apparu intéressant, du fait des éléments suivants :

- risques d'apports pluviométriques trop faibles ;
- volume (5 Mm³) insuffisant en année sèche pour satisfaire les besoins (7 Mm³ en 1989)
- eau de remplissage en hiver, trop chargée en nitrates
- forts risques d'eutrophisation dans les retenues.

B.2.3 Bassin de la Sarthe amont (de sa source jusqu'au Mans)

B.2.3.1 Orientation de la rivière

La Sarthe amont a son cours supérieur orienté Nord-Est - Sud Ouest, direction axiale du fossé tectonique entre les massifs d'Ecouvès au Sud et le horst de Perseigne au Nord.

Entre St Cénère et Fresnay, la vallée se dirige vers le Sud (de façon analogue à son affluent, le Sarthon), direction qui sera reprise entre Beaumont et le Mans.

B.2.3.2 Réseau hydrographique et confluences

En amont de sa confluence avec l'Huisne au Mans, le bassin de la Sarthe a une superficie de 2 740 km².

² à ne pas confondre avec un SAGE

Ce bassin peut être subdivisé en deux parties :

- la Sarthe normande (ou alençonnaise)

De sa source (située sur le plateau calcaire de Mortagne à Moulin-la-Marche, à 308 m d'altitude) jusqu'à Mieuxcé, la Sarthe voit ses écoulements augmenter des apports de petits torrents de rive droite, mais surtout de petits ruisseaux (ex. le Sarthon) drainant l'ensemble de la plaine d'Alençon ; l'ensemble peut conduire à des crues subites car s'écoulant sur des sols peu perméables (calcaires marneux, argiles, alluvions étalées).

Au droit d'Alençon, ces crues peuvent être aggravées du fait de l'urbanisation de l'agglomération (canalisation de la rivière, construction d'ouvrages de franchissement) et de la vétusté des ouvrages hydrauliques longtemps laissés à l'abandon.

- la haute Sarthe mancelle

Sur ce tronçon compris entre la sortie de la plaine d'Alençon et Montreuil, la Sarthe reçoit ses affluents à partir de deux bassins différents :

- les "Alpes mancelles" (Ouest, en rive droite), sur le socle armoricain
- le "Saonois" (Est, en rive gauche), sur les plateaux et plaines de roches jurassiques.

Les cours d'eau des "Alpes Mancelles" convergent le long du tronçon des gorges de la Sarthe :

- le Sarthon
- l'Ornette
- le Merdereau
- le Vaudelle
- l'Orthe

constituant le bloc des Coevrons, en rive droite ;

puis en aval, vers Fresnay, en provenance du massif de la forêt de Perseigne :

- le Rosay-Nord
- la Semelle
- la Bienne

enfin, l'Orne saonoise, drainant en partie le bassin du Saonois.

B.2.3.3 Profil en long

La vallée de la Sarthe débute à l'altitude 257 m près de la forêt de la Trappe de Soligny, pour une pente moyenne de 0,8 ‰ sur un parcours total de 318 km.

Selon les tronçons, on constate les pentes suivantes :

Le Mêle-Alençon	0,45 ‰
confluence Sarthon-confluence Merdereau	2,3 ‰
Fresnay-Le Mans	0,5 ‰

L'ensemble de la Sarthe amont est aménagé de barrages, de moulins, au nombre de 13 entre le Mans et Fresnay, 17 entre Fresnay et Alençon, et 19 en amont d'Alençon, soit en moyenne un ouvrage tous les 4 km.

B.2.3.4 Profils en travers

Le cours supérieur comporte un lit mineur à peine enfoui dans une plaine "de remblaiement".

B.2.3.5 Aménagements réalisés ou en projet

B.2.3.5.1 Aménagement de biefs

Sur la haute Sarthe, la vallée a été largement aménagée au siècle dernier, tant au plan agricole (développement rural) qu'énergétique (les moulins).

De nombreux biefs furent aménagés (19 avant la confluence avec le Sarthon, 1 sur le Sarthon, 4 vers les confluences du Pays de Gaultier).

Depuis de nombreuses années, cet ensemble d'aménagements a été peu à peu délaissé ou vendu à des propriétaires privés qui n'en assurent pratiquement aucun entretien (vannages non abaissés en crue, embâcles de branchages ...).

De plus, l'affaissement de certaines parties des berges conduit parfois à des dépôts provoquant la formation d'îlots, subdivisant le lit mineur en provoquant le développement d'une végétation arbustive et arborée.

Cet ensemble de facteurs conduit ainsi à un ralentissement des vitesses de propagation des crues et une augmentation de la largeur du lit majeur en crue.

A noter que la vallée de l'Orne saonoise a également été équipée de 13 moulins en aval de St Pierre des Ormes.

B.2.3.5.2 Drainage agricole

Le bassin de la haute Sarthe a longtemps souffert de l'excès d'humidité de ses terres agricoles, d'où les projets d'augmenter les possibilités de drainage des zones concernées par la réalisation de fossés profonds, et par l'approfondissement du talweg de nombreux ruisseaux (1 150 km de cours d'eau "unitaires" avaient été recensés). Les projets concernaient également le bassin de l'Orne saonoise.

Il est à noter cependant que des études récentes ⁽³⁾ effectuées sur les conséquences sur les crues des systèmes de drainage et leur dimensionnement peuvent être résumées comme suit :

- Drainage en terre

Le drainage des sols, en favorisant le rabattement de la nappe, permet de reconstituer la capacité de stockage de l'eau dans le sol et donc de diminuer le ruissellement des pluies à venir. Cela est vrai des excès d'eau temporaires ne dépendant pas de nappes hautes permanentes en relation directe avec un cours d'eau ou une zone humide, dans ce dernier cas l'effet pouvant être inverse.

³ Synthèse d'études effectuées par ou sous l'égide du CEMAGREF, et notamment le mémoire de Mle PORCHERON (Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg)

La conséquence directe sur le débit de pointe des crues dépend du complexe « caractéristiques d'absorption des sols - intensité et durée des précipitations - dimensionnement du réseau de drainage ». On peut schématiquement observer :

- pour les petites crues ($T < 2$ ans) :

un léger accroissement du volume et du débit de pointe des crues, une partie du réseau enterré collectant des eaux, qui se seraient naturellement infiltrées, pour les ramener vers les émissaires (fossés d'assainissement ou cours d'eau),

- pour les crues de moyenne fréquence ($2 < T < 10$ ans) :

une légère diminution des débits de pointe résultant de la reconstitution partielle de la capacité d'absorption des sols,

- pour les crues de fréquence rare ($T > 10$ ans) :

l'absence d'influence sur les débits de pointe, la capacité de drainage et donc de reconstitution d'une tranche libre de stockage n'étant plus suffisante compte tenu de l'intensité et la durée des précipitations,

- Assainissement (fossés à ciel ouvert calés suffisamment bas pour laisser les sorties de drains dénoyées,

- dans le cas d'un réseau d'assainissement surdimensionné (capacité d'écoulement à pleins bords du fossé supérieure à la capacité cumulée de débitance des drains interceptés) celui-ci accélère le transit des débits, diminue les temps de transfert de l'eau entre les sorties de drain et favorise le cumul des débits de pointe des parcelles drainées. Un tel réseau a donc tendance à augmenter les débits de pointe au droit des émissaires récepteurs (cours d'eau) au moins pour les crues les plus fréquentes ($T < 5$ ans). Cet effet, difficile à quantifier et dépendant notamment de la superficie relative drainée et assainie, s'estompe au-delà d'une certaine fréquence dès que la saturation des sols devient intégrale et que le ruissellement de surface devient prépondérant.

- dans le cas d'un réseau d'assainissement à capacité limitée (par des ouvrages limitants tels que buses sous les chemins de traversée de parcelles) le transit de la crue est légèrement accéléré tant que le réseau n'est pas saturé.

Pour les périodes de retour de l'ordre de 2 à 5 ans, quand le débit transité devient supérieur à la capacité d'évacuation des ouvrages limitants, l'effet de stockage dans le fossé contribue au laminage des débits et peut se traduire par une diminution des débits de pointe à l'exutoire, valorisant parfaitement le rôle du drainage et de reconstitution de la capacité d'absorption des sols.

Pour des fréquences encore supérieures ($T > 5$ ou 10 ans) l'engorgement des fossés et des drains leur fait perdre pratiquement tout effet sur les crues, le terrain et le ruissellement superficiel se rapprochant tout à fait des conditions naturelles sans drainage.

Les conclusions de ces études peuvent également s'appliquer aux autres bassins de la Maine.

B.2.3.5.3 Aménagements liés au tourisme et aux loisirs

Ces activités de tourisme et de loisirs, de plus en plus prisées par les citoyens (développement important des résidences secondaires) s'accommodent mal des effets (eutrophisation, mauvaise qualité des eaux) de la pollution, conséquence notamment des rejets des industries agro-alimentaires.

B.2.4 Bassin de l'Huisne

B.2.4.1 Orientation de la rivière

L'Huisne supérieure suit une vallée parallèle à l'anticlinal de Senonches, puis, après un coude à angle droit vers Nogent-le-Rotrou, prend une direction grossièrement Nord-Est - Sud-Ouest avec des tronçons tantôt parallèles au cours de l'Orne saonoise, tantôt parallèles au cours principal de la Bray.

B.2.4.2 Réseau hydrographique et confluences

En amont de sa confluence avec la Sarthe au Mans, l'Huisne draine un bassin versant de 2 300 km², très homogène (roches du Cénomaniens). On peut cependant distinguer trois sous-secteurs :

- l'Huisne percheronne (au Nord de Nogent-le-Rotrou)

Aucun affluent notable n'y est nettement répertorié en amont, mais ce sous-bassin présente l'aspect d'une plaine alluviale souvent humide ; au sud de Nogent-le-Rotrou, on assiste cependant à la convergence de plusieurs affluents (dont la Rhône), qui peuvent provoquer des montées d'eau parfois brutales à l'occasion d'événements orageux locaux.

- l'Huisne mancelle (jusqu'en amont du Mans)

De Nogent à La Ferté Bernard, le bassin de l'Huisne comporte environ 600 km² de terrains crayeux dotés d'une forte capacité d'infiltration. Un affluent, de rive droite, la Mème (193 km²), conflue immédiatement en amont de La Ferté-Bernard.

En aval, sur environ 940 km², on retrouve des terrains à fort caractère ruisselant (entre La Ferté et Connerré) pouvant conduire à des crues importantes, et des terrains drainant la nappe des sables cénomaniens ; deux affluents confluent entre Connerré et le Mans :

- en rive gauche, les Narais
- en rive droite, la Vive Parence.

- l'Huisne dans l'agglomération du Mans

La confluence avec la Sarthe se situe en aval de Pontlieue.

B.2.4.3 Profils en long

Sur les 165 km de son cours, le talweg de l'Huisne présente une pente moyenne de 0,8 ‰, sans ruptures nettement affirmées.

B.2.4.4 Profils en travers

La haute vallée de l'Huisne n'est pas très incisée, mais ne ressemble pas à celle de la Sarthe : il s'agit d'un large val et non d'une plaine. En aval de Nogent-le-Rotrou, et surtout de Connerré, ce val présente des dimensions plus imposantes.

B.2.4.5 Aménagements réalisés ou en projet

Protection contre les crues

Dans le cadre de la protection contre les crues des principales agglomérations de la vallée de l'Huisne, une étude a été confiée au bureau d'études BRL Ingénierie en 1996 et 1997, qui a conduit à des préconisations privilégiant la rétention des eaux sur le bassin pour diminuer et ralentir l'effet des crues :

- retenues d'écrêtement des crues : 3 sites ont été répertoriés (Mauves et Margon-Condé sur l'Huisne, et Pontillon sur le ruisseau de Boiscorde), efficaces plutôt sur les crues moyennes ou fortes
- micro-aménagements de rétention localisés sur les petits bassins situés en tête des affluents, efficaces plutôt pour des crues de faible importance
- création de levées transversales dans le lit majeur de la vallée de l'Huisne en aval de Nogent-le-Rotrou pour augmenter le rôle des champs d'expansion des crues dans cette partie de la vallée.

Ces actions, à l'échelle du bassin, s'accompagnent également de préconisations d'actions de protection localisées au droit des agglomérations de Connerré, la Ferté Bernard, Avezé, Nogent-le-Rotrou, Triffé.

Enfin, une étude très récente (I.S.L. 1998) a précisé les travaux d'amélioration de l'écoulement des crues dans Nogent-le-Rotrou.

Une sensibilisation sur les plantations sur talus est en cours dans le bassin de l'Huisne.

Drainage agricole

Les effets du drainage agricole, sans doute modestes mais certains pour les petites crues, sont difficiles à mettre en évidence tant les autres facteurs intervenant dans la genèse d'une crue sont nombreux (intensité, durée, répartition dans le temps et dans l'espace de la pluie, saison, état antérieur de saturation des sols ...) et peuvent être prépondérants dans l'explication du débit de pointe ou de l'hydrogramme de crue.

Il est par contre à peu près certain que ces effets deviennent tout à fait négligeables sur les grandes crues qu'a connues l'Huisne en 1993 et 1995 et que comme pour les grandes crues historiques observées à la fin du siècle passé (1881-1889) ou en 1930 et 1931, c'est bien la pluie qui constitue le paramètre explicatif fondamental de la crue observée.

Les travaux à venir au niveau parcellaire doivent viser à sauvegarder au maximum les espaces boisés existants, à conserver les haies existantes, voire à développer celles-ci surtout lorsqu'elles peuvent avoir une fonction productive (bois d'œuvre - bois de feu), à maintenir les talus en bordure de parcelles qui retardent l'écoulement vers les fossés et thalwegs des cours d'eau, quitte à favoriser le drainage de ces parcelles par des réseaux de drains enterrés mais en limitant la capacité des ouvrages collecteurs d'assainissement (conduites enterrées ou fossés à ciel ouvert).

Chacune de ces actions a un rôle modeste, mais significatif lorsqu'elles sont cumulées sur les petites crues.

Leurs effets s'estompent au fur et à mesure que les pluies deviennent importantes et s'annihilent complètement pour les pluies abondantes qui conduisent aux crues importantes de janvier 1993 ou janvier 1995.

B.2.5 Bassin de la Sarthe aval (du Mans à la confluence avec la Mayenne)

B.2.5.1 Réseau hydrographique et confluences

La Sarthe en aval du Mans, après sa confluence avec l'Huisne, se prolonge jusqu'à Malicorne, dans la même direction que l'Huisne.

La vallée de la Sarthe (largeur 50 m au Mans) ne s'élargit guère de par la présence de coteaux (roches jurassiques). En repassant sur le socle armoricain, la vallée se resserre même en amont de Sablé, pour s'étaler à nouveau en Anjou (largeur 80 m à Princé).

En aval du Mans, le lit de la rivière a été aménagé par une série de barrages de navigation : 20 entre le Mans et Sablé, et 6 en aval de Sablé. Entre le Mans et Sablé, dans le département de la Sarthe, la Sarthe navigable comporte 16 écluses associées à 16 barrages, 1 barrage au début de la section navigable (Enfer) qui sert de limite, 1 barrage qui servait anciennement à la navigation (Spay ancien), 2 barrages privés (Le Gord et La Beunèche).

L'ensemble du bassin en aval du Mans est constitué de reliefs mous. Les affluents suivants sont répertoriés essentiellement en rive droite :

vers la Suze : l'Orne champenoise et la Gée, en provenance de terrains calcaires souvent surmontés de sables ;

vers Sablé :

l'Erve : 410 km² de terrains peu perméables, conduisant à des ruissellements parfois importants

la Vègre : 420 km² sur des terrains à forte capacité de rétention, conduisant à des apports importants en basses eaux, mais soumis à de forts prélèvements agricoles.

la Vaige : 248 km² drainant des terrains schisteux.

Ces trois affluents convergent dans le secteur de Sablé, à partir de bassins à forte pente ; leurs pointes de crue, rapides, rejoignent la plupart du temps la Sarthe avant le passage de la pointe de crue de cette rivière, dont l'écoulement est considérablement ralenti en amont dans les secteurs inondables de faible pente (0,25 ‰) compris entre le Mans et Malicorne.

B.2.5.2 Aménagements existants ou en projet

B.2.5.2.1 Augmentation des prélèvements en eau

Depuis les années 1970, de nombreux changements ont affecté le cours et le bassin de la Sarthe en aval du Mans :

- abandon des anciens moulins (depuis 50 ans environ)
- développement des besoins de l'alimentation en eau potable sur l'ensemble des communes rurales
- développement de pollutions liées au secteur industriel et artisanal (le Mans) et au secteur agricole
- intensification agricole et développement de l'irrigation (maïs).

Ces besoins en eau ont conduit à prélever dans la rivière et dans la nappe (essentiellement pendant les trois mois d'été). Seuls environ 45 % des volumes utilisés sont rejetés dans les rivières, et 25 % percolent vers les nappes (pertes des réseaux de distribution).

Parallèlement, on assiste à un développement des phénomènes de pollution d'origine domestique et industrielle (même si les stations d'épuration se sont fortement développées), et agricole (problème des nitrates).

Les prélèvements en rivière et en nappe ont pratiquement doublé en 20 ans.

B.2.5.2.2 Exemple de l'aménagement de la vallée de l'Erve

Sur cette rivière de 76 km de long à forte pente (4 ‰), le Syndicat Intercommunal à Vocation Economique et Touristique des Coevrons a permis le réaménagement hydraulique de l'ensemble des 32 installations de moulins à l'abandon :

- restauration ou reconstruction
- installation de clapets semi-automatiques doublant les déversoirs de barrages.

Cependant l'ensemble de ces aménagements peut parfois conduire à une gestion provoquant une modification de l'écoulement des crues pouvant être préjudiciable pour l'aval (ville de Sablé).

B.2.6 Bassin du Loir

B.2.6.1 Orientation de la rivière

La ligne de partage des eaux entre les bassins de la Sarthe et du Loir est structurellement établie par une ligne anticlinale qui va du Haut-Perche jusqu'à l'Anjou.

Le cours supérieur du Loir (d'Illiers à Alluyes) suit très exactement la direction de la ligne de partage des eaux avec le bassin de l'Eure.

A Illiers, converge un faisceau de talwegs affluents, en forme de "chandelier" (ruisseaux). Une même disposition prévaut à la réunion des deux Conies beauceronnes.

En aval de Vendôme, le Loir suit une direction Est-Ouest.

Son principal affluent, la Braye (rive droite), présente un cours en trois segments, les segments amont et aval s'orientant parallèlement au cours de l'Huisne aval.

B.2.6.2 Réseau hydrographique et confluences

Le Loir prend sa source en Eure-et-Loir près de Saint-Eman en amont d'Illiers, à 170 m d'altitude. Son bassin versant, étendu sur plus de 8 000 km², présente des particularités différentes, surtout dans sa partie amont.

- Le Loir "dunois" (de sa source à Morée)

Ses apports pluviométriques sont faibles (600 à 700 mm sur le Perche, et moins de 600 mm sur la Beauce).

Cette partie amont du bassin du Loir présente quatre types d'apports :

- le Nord et l'Est d'Illiers : les cours d'eau (véritables "oueds") que sont le Loir de Villebon, la Malorne, le ruisseau de Boncé ;
- l'Ouest d'Illiers : la Reuse, la Thironne et la Foussarde, cours d'eau dont les écoulements sont soutenus en été par l'alimentation des aquifères de la nappe du Cénomanién
- les rivières du Perche que sont l'Ozanne, l'Yerre et l'Eggonne dont les apports par ruissellement peuvent être importants lors d'événements pluvieux ;
ces trois sous-ensembles aboutissent à la zone de convergence de Bonneval.

- enfin, les apports beaucerons, essentiellement par la Conie et l'Aigre, pour lesquels il apparaît très difficile de délimiter la zone d'influence du bassin souterrain ; le bassin de la Conie (1 515 km²) présente un réseau de deux branches principales se rejoignant 14 km avant la confluence avec le Loir :

les branches Nord et Sud ne présentent pas d'écoulement pérenne, notamment à partir des années 1989-1990, où l'effet naturel des sécheresses successives s'est cumulé aux variations piézométriques dans les calcaires de la nappe de Beauce.

En aval de la confluence de ces deux branches (Nottonville), l'écoulement retrouve (hormis en 1989) un caractère pérenne.

Enfin, en aval du point nodal (le pont de Blenet), des pertes ont parfois été constatées, les eaux des calcaires de Beauce alimentant la craie sous-jacente dont la nappe a été localement déprimée par les prélèvements pour l'irrigation.

- Le Loir "vendômois" (de Morée à La Chartre)

En amont de Villavard, un seul affluent important est à noter, le Boulon (182 km²), dont le bassin pentu est sujet à des ruissellements parfois brutaux.

Les autres affluents (Langeron, Brisse, Houzée, Réveillon) ont des bassins inférieurs à quelques dizaines de km², et confluent en rive gauche avec le Loir au droit de ses grands méandres.

En aval de Montoire, le Loir reçoit en rive droite un affluent important, la Brayé (bassin de 1 100 km²), et quelques ruisseaux (au droit de Couture).

La Brayé présente des écoulements relativement importants, même en été, et est parfois la cause d'apports brutaux en crue, arrivant rapidement dans le Loir.

Enfin, il convient de signaler le réseau des Vaux, endroit de communication entre la nappe du coteau et la nappe alluviale ; ce réseau de filets diffus est constitué de sources parfois d'origines karstiques (cas du Vendômois).

- Le Loir "fléchois" (de La Chartre à la confluence avec la Sarthe)

En aval de La Chartre, se répartissent des affluents secondaires, objet parfois d'écoulements non négligeables :

en rive droite : la Veuve
 le Dinan
 l'Aune

en rive gauche : la Dême
 l'Escotais
 la Fare
 la Maulne

L'ensemble du bassin du Loir entre La Chartre et Durtal a une superficie de 2 225 km² et peut contribuer à un apport de l'ordre de la moitié des apports arrivant à La Chartre.

Le Sud du bassin peut être l'objet, localement, d'écoulements souterrains vers le bassin de la Loire (cas du Sud du bassin de la Dême).

B.2.6.3 Profils en long

Le Loir prend sa source à St Denis des Puits (altitude 220 m) et parcourt 312 km avec une pente moyenne faible de 0,5 ‰, sans irrégularité notable autre que la "bosse" de Vendôme.

Le cours du Loir est "aménagé" par un très grand nombre de barrages d'usines et de moulins, constituant un ensemble de 92 biefs à raison d'un ouvrage tous les 3,4 km.

Seuls les affluents de rive droite présentent des pentes plus importantes, comme la Thironne, la Foussarde et l'Ozanne (Loir amont de Bonneval) avec des pentes de 5 ‰.

Les talwegs de la Conie présentent des pentes inférieures à 1 ‰.

B.2.6.4 Profils en travers

Dans sa plus grande largeur, le Loir mesure en moyenne 50 à 60 m.

La partie moyenne du Loir (en aval de Montoire : La Chartre ...) présente une plaine inondable pouvant s'étendre entre 2 et 4 km de large.

B.2.6.5 Aménagements existants ou en projet

B.2.6.5.1 Influence du développement agricole

Sur le Loir "dunois", cette influence est nettement perceptible au niveau des apports influencés par la nappe de la Beauce, et ceux en provenance du Perche-plat :

- En Beauce, le développement des pompages, surtout ces dernières années, a conduit à une baisse sensible de la nappe de Beauce qui de ce fait a provoqué un "assèchement" considérable des cours d'eau qui la drainent : la Conie et l'Aigre.
- Sur le Perche-plat, le développement du drainage (comme on l'a vu pour l'Huisne) peut conduire, pour des crues de temps de retour inférieur à 5 ans, à une augmentation du ruissellement, favorisant les possibilités de conjonction de la pointe de crue du Loir avec des apports importants issus du bassin versant intermédiaire.

Sur le Loir "vendômois", en aval de Vendôme, l'irrigation s'est beaucoup développée (mais sur le bassin de la Bray, et vergers de pommiers sur les bassins du Dinan, de l'Yré, de l'Escotais ...).

Des retenues collinaires ont été projetées sur de petits bassins versants à forte pente en aval de La Chartre, d'autant plus aisées à réaliser de par la présence d'argiles de solifluxion.

B.2.6.5.2 Développement de plans d'eau

Des projets de création de plans d'eau ont été élaborés, à triple but :

- . étangs pour la pratique de la pêche (Chateau la Vallière, Bois-Vinet ...), parfois étendus linéairement sur plusieurs kilomètres et pouvant contribuer, lors de leur remplissage, à un écrêtement des crues d'automne ;
- . plans d'eau touristiques aux abords des agglomérations ("retenues" de Brou sur l'Ozanne, de St Calais sur l'Anille), sans effets notables sur l'écoulement des eaux ;
- . gravières situées dans le lit majeur du Loir, au droit de chaque agglomération importante en aval de Saumeray ; destinées à l'exploitation des granulats, ces gravières pourraient contribuer à l'écrêtement des crues, en imaginant une gestion concertée s'appuyant sur des liens hydrauliques bien conçus avec le lit mineur du Loir. Cependant, ces autorisations doivent s'inscrire dans le cadre général du SDAGE relatif aux conditions d'exploitation des ressources, ainsi que dans le cadre des schémas départementaux des carrières.

Dans la pratique, on constate souvent des problèmes de gestion hydraulique, d'acquisition foncière voire de compatibilité avec l'exploitation des granulats.

B.2.6.5.3 Navigation : déclassement du Loir

Avant son déclassement, le Loir était navigable sur la partie inférieure de son cours, de Port Gauthier (30 km en amont du Lude) au confluent avec la Sarthe, soit sur un parcours de 114 km, à la faveur de 35 barrages munis de simples portes marinières.

B.2.6.5.4 Etudes en cours

Une étude visant à l'élaboration d'un contrat de rivière sur le Loir dans les départements d'Eure-et-Loir et du Loir-et-Cher est en cours de réalisation (BCEOM).

B.2.7 Le bassin de la Maine et la confluence avec la Loire

La rivière la Maine est constituée, 2 km en amont d'Angers (Port-Meslet) à partir des confluences successives des rivières évoquées aux paragraphes précédents (cf *figure B.2.3*) :

- Oudon-Mayenne près du Lion d'Angers, à l'Isle Briand
- Loir-Sarthe à Briollay, où la vallée est alors inondable sur 5 km de large
- Sarthe-Mayenne, constituant un triangle autour de l'Isle St Aubin, du fait de l'existence du bras de la Vieille Maine.

La rivière Maine n'a qu'une dizaine de kilomètres de longueur entre cette dernière confluence et la Loire, à la Pointe (commune de Bouchemaine).

A noter que l'ensemble de ces confluences et l'influence du remous de la Loire, conduisent à ne permettre l'implantation de stations de jaugeages à relations hauteurs-débits univoques, sur la Sarthe qu'à Beffes-Pincé à 49 km en amont de sa confluence avec la Mayenne, sur le Loir qu'à Durtal, à 39 km en amont de sa confluence, et sur la Mayenne, qu'à Chambellay, à 30 km en amont de sa confluence avec la Sarthe.

La topographie extrêmement plate de cette partie du bassin conduit à constituer une zone d'expansion des volumes de crue sur environ 100 km² (56 km² en aval de Beffes sur la Sarthe, 33 km² en aval de Durtal sur le Loir, 12 km² en aval de Chambellay sur la Mayenne et de Mingué sur l'Oudon).

L'ensemble forme un vaste réservoir qui se remplit le plus souvent par l'amont, mais parfois par l'aval dans des cas extrêmes de crues de la Loire associées à des débits très faibles de la Maine.

Les niveaux à Angers sont largement influencés par les niveaux (et donc les débits) de la Loire. Les débits transitant à Angers sont fonction non seulement des débits des rivières amont constituant la Maine, mais également du stockage et déstockage des volumes emmagasinés dans les champs d'inondation aval de la Mayenne, de la Sarthe et du Loir. Ces stockages et déstockages sont fonction du niveau de la Loire et des débits des affluents de la Maine. A titre indicatif, l'effet de ces volumes emmagasinés lors des crues conduit à réduire de l'ordre de 15 % le débit maximum à Angers qui serait déterminé à partir de la somme des débits moyens journaliers des stations amont (cf étude SOGREAH de décembre 1980 concernant divers aménagements de la basse vallée de la Sarthe et de la Maine).

Dans la traversée d'Angers, l'aménagement d'un seuil mobile en 1994, équipé d'une écluse, permet le maintien, de mai à octobre, d'un niveau nécessaire à la navigation de plaisance.

B.3. IMPLANTATION DES RESEAUX DE MESURES

B.3.1 Réseau de mesures pluviométriques et pluviographiques

La carte de la *figure B.3.1* présente la localisation sur l'ensemble du bassin du réseau de pluviomètres et de pluviographes exploités par Météo-France.

Les tableaux de *l'annexe B.1* présentent les périodes de disponibilité des valeurs journalières et des valeurs à des pas de temps plus faibles (1 heure, 6 heures, 12 heures).

Ces tableaux permettent de constater que les données pluviométriques au pas de temps journalier sont abondantes (environ 150 postes de mesures) avec des historiques qui débutent dans les années 50.

Par contre, les données à des pas de temps inférieurs à la journée sont beaucoup moins abondantes avec des données aux pas de temps 1h, 6 h disponibles uniquement depuis les années 1992-1993 pour la grande majorité des stations, et des données au pas de temps de 12 h disponibles sur seulement cinq stations : Jallans (Chateaudun), Angers, Entrammes (Laval), Alençon et Le Mans.

Compte tenu de leur historique (plus de 40 ans de données), ces stations seront exploitées prioritairement dans la suite de l'étude.

B.3.2 Réseau des stations hydrométriques

Le réseau des stations hydrométriques sur le bassin de la Maine comprend une centaine de stations actuellement en fonctionnement et une trentaine de stations qui ont fonctionné pendant quelques années et qui sont aujourd'hui arrêtées.

Les stations arrêtées ont été utilisées dans le cadre d'études ponctuelles, ou ont été mises hors service car conduisant à de trop importantes difficultés de gestion ou de mesures.

Depuis le début des années 1990, un gros effort de modernisation de ces stations a été entrepris avec :

- la mise en place de télétransmission et le rapatriement régulier des données des stations (80 % des stations sont télétransmises) vers les SEMA
- le raccordement de quatre stations au réseau CRISTAL : Maingué (Oudon), Chambellay (Mayenne), Beffes (Sarthe), Durtal (Loir)
- l'installation de nouvelles stations en des points stratégiques : tête de bassins versants (Madré sur la Mayenne, le Mêle sur la Sarthe), affluents importants. Ainsi plus de 30 stations ont été mises en place depuis 1990.

Le réseau hydrométrique est géré par quatre organismes : les SEMA Pays de Loire, Basse Normandie et Centre et le Service de Bassin Loire-Bretagne (antennes d'Orléans et de Nantes). Les données journalières sont disponibles dans la Banque Hydro pour l'ensemble de la période de fonctionnement.

Le tableau de *l'annexe B.2* présente l'ensemble des stations avec leur code hydrologique, l'année de mise en service, l'année d'arrêt pour les stations hors service et le gestionnaire. Ce tableau est complété par les fiches, remplies par l'organisme gestionnaire, qui permettent de dresser l'inventaire de l'équipement et de la sensibilité de chacune de ces stations. Un exemple est représenté *figure B.3.2*.

A partir des fiches de *l'annexe B.2*, les stations ont été classées en quatre catégories :

1. les stations qui présentent une bonne sensibilité sur toute la gamme des débits
2. les stations qui présentent une bonne sensibilité uniquement en moyennes eaux
3. les stations qui présentent une bonne sensibilité en hautes eaux
4. les stations qui présentent une bonne sensibilité en basses eaux.

Les tableaux des *figures B.3.3 et B.4* récapitulent ce classement.

Parmi ces stations, un ensemble de stations représentatives des principaux cours d'eau a été sélectionné. Elles sont présentées sur la *figure B.3.5* avec la période pour laquelle les débits sont disponibles. Les débits sont déduits des enregistrements limnigraphiques en continu et des courbes de tarage obtenues par jaugeages.

Pour ces stations et pour les épisodes de crues, les débits à pas de temps variable ont été extraits de la Banque Hydro ou fournis directement par le gestionnaire.

B.3.3 Réseau des échelles d'annonce de crue

Le réseau des échelles limnimétriques utilisées dans le cadre réglementaire de l'annonce de crue par les quatre Services d'Annonce de Crue (SAC) du bassin de la Maine (Services d'Annonce de Crue de la Mayenne amont, de la Sarthe amont et Loir moyen, du Loir amont et de la Maine) ainsi que le schéma de l'organisation de cette annonce sur le bassin sont présentés sur la carte de *la figure B.3.6*.

B.4. ANALYSE DE LA PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN DE LA MAINE

B.4.1 Contexte météorologique

Plusieurs catégories de situations météorologiques peuvent se rencontrer :

- le cas des précipitations isolées, à corps unique, concentrées sur un intervalle de temps de quelques heures et concernant une superficie de bassin versant assez faible ; ces situations se produisant plutôt en périodes post-hivernales (à partir d'avril), sont dues au passage rapide d'un front chaud, puis d'un front froid, au nord d'un système anti-cyclonique centré sur l'Atlantique
- Le cas, très fréquent, d'une succession d'épisodes pluvieux assez étalés dans la durée, assez homogènes dans l'espace, qui correspondent à des types de circulation cyclonique de secteur Ouest à Nord-Ouest, suffisamment lentes pour que chaque perturbation s'individualise nettement en détachant un corps pluvieux principal, parfois très actif. Une bonne illustration en est donnée par la succession des passages de fronts froids pendant la deuxième quinzaine de janvier 1995. Ce type de situation est très fréquent pendant la période "hivernale" de novembre à mars.
- un troisième cas concerne des épisodes pluvieux très rapprochés, sans interruption nette, avec un effet de blocage lié à la présence d'un anti-cyclone sur l'Europe Centrale. Des précipitations importantes peuvent alors s'abattre sur l'ensemble du bassin avec des totaux en 2, voire 3 jours, considérables.

B.4.2 Répartition spatiale des précipitations

B.4.2.1 Au niveau annuel

Au niveau annuel, le tracé des isohyètes (*figure B.4.1*) semble refléter l'allure générale du relief incliné du Nord vers le Sud, mais avec une répartition diagonale du Nord-Ouest (1 300 mm sur le haut bassin de la Varenne) au Sud (Angers) et au Sud-Est (550 mm sur les affluents rive gauche du Loir, en provenance de la Beauce).

Trois facteurs président à cette répartition :

- l'océanité, ou plus ou moins grande proximité de la mer ; les masses d'air en provenance de l'Ouest ou du Sud-Ouest ont déjà progressé sur la Bretagne ou la Vendée, et sont donc, en général, déjà un peu moins actives, alors que les masses d'air arrivant par le Nord-Ouest, bien qu'au départ moins chargées en vapeur d'eau, n'ont pas encore franchi de barrières significatives ;
- l'altitude, avec cependant un effet de gradient difficile à mettre en évidence ; il pleut davantage sur les Coevrons ou sur le Perche ;
- la situation des bassins par rapport aux reliefs environnants : les effets d'abri sont assez nets : la plaine d'Alençon, "protégée" par le massif des Coevrons, n'est vraiment concernée que par les flux provenant du Sud-Ouest. Le faux Perche et la Beauce subissent nettement cet effet de protection par les collines du Perche.

La variabilité inter-annuelle peut s'exprimer de la façon suivante :

Station (altitude)	Valeur moyenne (mm)	Valeur décennale forte (mm)	Valeur décennale faible (mm)
Pré en Pail (227 m)	835	1030	635
Laval (70 m)	740	925	550
Alençon (140 m)	735	895	570
Le Mans (52 m)	670	830	510
Bonneval (133 m)	630	790	465
Nogent (107 m)	720	890	545
Angers (51 m)	635	780	490
Segré (45 m)	650	820	475

Les ajustements des totaux pluviométriques annuels de ces stations sont présentés en *annexe B.3*.

Années extrêmes :

Années sèches :

- 1953 Temps de retour : 70 ans au Mans, 30 ans à Chateaudun, 15 ans à Laval
- 1954, |
- 1956 | Décennales
- 1959 |
- 1971 Temps de retour : 15 ans à Bonneval
- 1975 Temps de retour : 10 ans à Laval
- 1976 Temps de retour : 40 ans à Nogent-Le-Rotrou, 30 ans à Pré-en-Pail, 20 ans au Mans et 15 ans à Bonneval
- 1990 Temps de retour : 15 ans à Angers
- 1991 Temps de retour : 50 ans à Nogent-le-Rotrou et 10 ans au Mans
- 1996 Temps de retour : 20 ans à Nogent, 13 ans à Laval et 10 ans à Pré-en-Pail et au Mans
- 1997 Temps de retour : 20 ans à Pré en Pail

Années humides :

- 1958 Temps de retour : 30 ans à Pré-en-Pail et à Chateaudun
- 1960 Temps de retour : 100 ans à Nogent-le-Rotrou et au Mans, et 50 ans à Segré et à Alençon
- 1965 Temps de retour : 50 ans au Mans, 15 ans à Bonneval et 10 ans à Nogent-le-Rotrou
- 1966 Temps de retour : environ 100 ans à Segré et Laval, 90 ans à Ernée, 65 ans à Bonneval et Nogent-le-Rotrou
- 1974 Temps de retour : centennal à Pré-en-Pail
- 1977 Temps de retour : 10 ans à Bonneval
- 1979 Temps de retour : 50 ans à Angers
- 1981 Temps de retour : 50 ans à Pré-en-Pail, 15 ans à Alençon et 10 ans à Bonneval
- 1982 Temps de retour : 10 ans à Angers et Pré-en-Pail
- 1984 Temps de retour : 13 ans à Nogent-le-Rotrou et 10 ans à Bonneval
- 1994 Temps de retour : 50 ans à Alençon, Angers et Pré-en-Pail et 15 ans à Nogent-le-Rotrou et au Mans

B.4.2.2 Variabilité saisonnière

Le régime pluvial général est caractérisé, en cours d'année, et sur l'ensemble du bassin, par un automne et un hiver pluvieux (novembre à mars-avril), suivis d'un printemps plutôt sec. Une exception : le haut bassin du Loir avec, en moyenne, des hivers plutôt moins arrosés que les étés.

Châteaudun

Étés plutôt abondants, hormis juillet (importance des situations météorologiques de type convectif).

Angers

Hivers abondants (maximum en février) et étés secs à partir de juillet et jusqu'à septembre.

Laval

Hivers abondants (maximum en janvier) et étés secs de juillet à septembre.

B.4.2.3 Séquences sèches ou humides sur plusieurs mois consécutifs

Les graphiques des pluies annuelles et mensuelles (pour les années hydrologiques et les stations pluviométriques citées ci-dessous) se trouvent en annexe B.4. Un exemple est présenté sur les figures B.4.2 à B.4.3).

*** sur 12 mois (non calendaires)**

La séquence la plus sèche de la période 1965-1997 se situe d'octobre 1975 à septembre 1976 (367 mm à Bonneval, 372 mm au Mans et 421 mm à Laval). Cette période correspond, pour Alençon et Ernée (moins de 60 % du total annuel) à un temps de retour de l'ordre de 100 ans.

D'autres périodes sèches se situent notamment en 1968-1969 pour le Mans et Laval, 1970-1971, 1989-1990, et 1991-1992 à Bonneval, 1972-1973 à Laval, ainsi que 1995-1996 pour l'ensemble des stations.

Séquences particulièrement abondantes, de novembre 1965 à octobre 1966 (Ernée : 3 fois le total annuel), d'octobre 1966 à septembre 1967 (891 mm au Mans et 1032 mm à Laval), d'octobre 1982 à septembre 1983 (908 mm à Bonneval et 849 mm au Mans), et d'octobre 1993 à septembre 1994 (932 mm à Entrammes et 801 mm au Mans).

D'autres périodes humides sont à noter à Bonneval (1967-1968), au Mans (1974-1975, 1977-1978, 1987-1988 1994-1995), et à Laval (1987-1988).

*** sur 6 mois**

Sécheresse importante de janvier à juin 1976 : 103 mm à Bonneval (soit 28 % du total annuel), 122 mm au Mans (soit 33 % du total annuel), et 133 mm à Laval (soit 32 % du total annuel). D'autres périodes de sécheresse sont à noter comme 1981-82 (avril à septembre) à Bonneval, 1990-91 (avril à septembre) au Mans, 1988-89 (avril à septembre) et 1994-95 (avril à septembre) à Entrammes.

De fortes précipitations sont enregistrées de juillet à décembre 1960, d'octobre 1994 à mars 1995 (587 mm de pluie à Entrammes soit 71 % du total annuel et 561 mm au Mans soit 68 % du total annuel). D'autres épisodes pluvieux sont à souligner de novembre 1977 à avril 1978 à Bonneval et Laval, ainsi que d'octobre 1987 à mars 1988 à Bonneval et au Mans.

*** sur 4 mois**

Séquence sèche de mars à juin 1976 (49 mm à Bonneval et 63 mm à Laval), de juillet à octobre 1978 en Anjou, de juin à septembre 1989 (77 mm au Mans) et de juin à septembre 1996 (64 mm à Entrammes).

Séquences humides de septembre à décembre 1952 et 1960, de novembre 1965 à février 1966 (375 mm à Bonneval), de novembre 1969 à février 1970 (461 mm au Mans), de juillet à octobre 1978 et de décembre 1994 à mars 1995 (430 mm au Mans).

*** sur 3 mois**

Séquences sèches de janvier à mars 1953 à Alençon et Chateaudun, novembre 1953 à janvier 1954, avril à juin 1976 (28 mm à Bonneval, 19 mm au Mans et 29 mm à Laval), mai à juillet 1986 (68 mm au Mans), juillet à septembre 1989 (48 mm au Mans), décembre 1991 à février 1992 (55 mm au Mans).

Séquences humides d'octobre à décembre 1960, de novembre 1965 à janvier 1966 (360 mm au Mans, 345 mm à Bonneval), d'octobre à décembre 1966 (454 mm à Laval), de novembre 1969 à janvier 1970 (347 mm à Laval), d'octobre à décembre 1982 (288 mm à Bonneval et 341 mm à Laval) et de décembre 1994 à février 1995 (341 mm à Entrammes).

*** sur 1 mois**

Sécheresse très sévère en juin 1976 (0.2 mm au Mans et 0.1 mm à Laval). D'autres périodes sont également à noter comme avril 1980 (1.5 mm à Bonneval), avril 1984 (5 mm à Laval) et juin 1996 (2.4 mm au Mans et 4.4 mm à Entrammes).

Les séquences humides ont lieu en octobre 1966 (210 mm au Mans, 159 mm à Bonneval et 252 mm à Laval), octobre 1981 (155 mm à Bonneval) et en janvier 1995 (151 mm au Mans et 155 mm à Entrammes).

B.4.3 Précipitations journalières sur quelques jours consécutifs

Les précipitations observées sur des durées comprises entre 1 et 8 jours consécutifs conduisent à l'établissement de courbes "Intensités-Durées-Fréquences" (courbes IDF), telles que présentées en *annexe B.5* pour les stations du Mans, Laval et Bonneval. Un exemple est présenté sur *la figure B.4.4*.

Les documents élaborés par Météo-France (ajustement des pluies sur 2, 3, 6, 12, 24 heures et 2, 4, 8 jours) permettent d'obtenir les valeurs caractéristiques suivantes :

stations	cumul 2 heures				cumul 3 heures				cumul 6 heures				cumul 12 heures				cumul 24 heures			
	10	20	50	100	10	20	50	100	10	20	50	100	10	20	50	100	10	20	50	100
Le Mans	\	\	\	\	29	33	38	42	33	37	42	45	38	42	48	52	49	55	62	68
Jallans	\	\	\	\	30	35	40	45	34	38	43	47	40	45	52	57	48	54	63	69
Angers	\	\	\	\	34	38	45	49	39	44	51	56	45	51	59	64	53	59	67	72
Entrammes	25	28	32	35	\	\	\	\	33	36	41	44	38	42	48	52	50	55	63	68
Alençon	\	\	\	\	32	37	42	46	39	44	50	55	44	49	56	61	53	60	68	74

cumul 2 jours				cumul 4 jours				cumul 8 jours			
10	20	50	100	10	20	50	100	10	20	50	100
\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
55	61	70	76	65	72	82	89	\	\	\	\
65	72	83	90	79	89	101	110	101	114	131	143
61	67	75	81	80	88	98	106	\	\	\	\
\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\

Les graphiques associés sont également présentés en *annexe B.5*.

B.4.4 Valeurs caractéristiques des gradex pluviométriques

A partir des ajustements élaborés par METEO FRANCE, on peut déduire les valeurs des Gradex pluviométriques qui sont présentés dans le tableau ci-dessous (en mm par pas de temps) :

	cumul 6 heures	cumul 12 heures	cumul 24 heures	cumul 2 jours	cumul 4 jours
temps de retour stations	gradex	gradex	gradex	gradex	gradex
Le Mans	5	6	8	/	/
Jallans	6	7	9	9	10
Angers	7	8	8	11	13
Entrammes	5	6	8	9	11
Alençon	7	7	9	/	/

Le Gradex pluviométrique est la pente de la droite d'ajustement statistique des pluies extrêmes (méthodes de Gumbel) sur 6 heures, 12 heures, 24 heures, 2 jours et 4 jours. Il traduit l'accroissement en millimètres de l'averse par unité de probabilité.

Ainsi, dans la suite de l'étude, nous retiendrons les valeurs moyennes suivantes sur le bassin versant de la Maine :

- Gradex sur 24 heures : 8 mm
- Gradex sur 2 jours : 10 mm
- Gradex sur 4 jours : 11 mm.

B.5. HYDROLOGIE GENERALE SUR LE BASSIN DE LA MAINE

B.5.1 Courbes des régimes des débits

Les courbes de l'*annexe B.6*, dont un exemple est présenté sur la *figure B.5.1*, résument pour chaque station, l'évolution des débits correspondant aux probabilités 10 %, 25 %, 50 %, 75 % et 90 % d'être dépassés.

On peut constater les éléments suivants :

Pour l'ensemble du bassin (Sarthe, Mayenne, Loir), les périodes humides se situent en hiver et jusqu'au printemps, et les périodes sèches durant l'été (juillet, août et parfois septembre).

Les débits de l'Aigre sont décalés dans le temps (débits élevés de la mi-mai à fin août) du fait de l'inertie de la nappe des calcaires de Beauce.

B.5.2 Courbes des débits moyens journaliers sur des années hydrologiques "sèche" et "humide"

Ces courbes (*annexes B.7 et B.8*), dont un exemple est présenté sur les *figures B.5.2 et B.5.3*, comportent, pour l'ensemble des stations hydrométriques un tracé en continu des débits moyens journaliers sur deux années caractéristiques particulièrement "sèche" (du 1er octobre 1991 au 30 septembre 1992) et "humide" (du 1er octobre 1994 au 30 septembre 1995).

B.5.3 Valeurs caractéristiques des débits de crue

B.5.3.1 Estimation des débits décennaux, vingtennaux et cinquantennaux

Les ajustements des débits de pointe au droit des différentes stations, selon la loi de Gumbel et/ou la loi Log-normale (Galton) sont présentés en *annexe B.9* sur des graphiques dont un exemple est fourni ci-après (*figures B.5.4 et B.5.5*). Ces ajustements conduisent aux estimations des débits de crues quinquennale, décennale, vingtennale et cinquantennaux reportées sur la *figure B.5.6*.

Les estimations des débits de crues de la Maine à Angers, sont réalisées à partir des débits moyens journaliers reconstitués par le Service de Bassin Loire-Bretagne à l'aide des débits moyens journaliers des stations hydrométriques de Chambellay (la Mayenne), Port aux Anglais (l'Oudon), Beffes (la Sarthe) et Durtal (le Loir) selon la formule suivante :

$$Q(J)_{\text{Angers}} = Q(J)_{\text{Chambellay}} + Q(J)_{\text{Port aux Anglais}} + 1.1 \times Q(J-1)_{\text{Beffes}} + Q(J)_{\text{Durtal}}$$

B.5.3.2 Estimation des débits de temps de retour plus élevés

L'extrapolation de ces valeurs vers les crues de temps de retour plus élevés (200 ans) peut être réalisée à partir de la méthode du Gradex appliquée à des pas de temps n déduits de l'analyse des rapports des débits de pointe sur les débits moyens en n jours consécutifs (n étant compris entre 1 et 4) et par analyse des hydrogrammes de crues.

Cette méthode est basée sur le principe que pour les événements exceptionnels, le sol est saturé au-delà d'un débit donné (temps de retour entre 10 et 50 ans) et tout accroissement de pluie se traduit par un accroissement égal du ruissellement. Dès lors, la fonction de répartition des débits extrêmes tend à devenir parallèle à celle des pluies.

Cette procédure suppose une bonne connaissance de l'hydrosystème étudié, notamment pour définir à partir de quelle période de retour, il est légitime de considérer que le sol est saturé.

C'est pourquoi, l'application de cette méthode et ses limites d'utilisation sur le bassin de la Maine ont fait l'objet de concertations avec les hydrologues de la DIREN Centre.

De plus, sur des bassins versants importants, il est nécessaire de prendre en compte un abattement de la pluie. En effet, lors des orages, la répartition de la pluie n'est pas uniforme sur un grand bassin versant, en étant plus intense sur une partie et plus diffuse sur le reste du bassin.

Ce phénomène peut être visualisé par le tracé des isohyètes (courbes de valeurs identiques de pluies sur un événement).

Sur le bassin versant de la Mayenne composé de sols cristallins qui présentent une capacité de rétention des eaux de pluies assez faible, la méthode du Gradex est appliquée à partir d'une période de retour comprise entre 20 et 50 ans (nous prendrons 35 ans) pour la Mayenne et l'Oudon et à partir de 20 ans pour les autres affluents.

Sur le bassin versant de la Sarthe qui présente des terrains plus perméables, la méthode du Gradex est appliquée à partir d'une période de retour de 50 ans excepté pour les stations de la Sarthe à l'aval du confluent avec l'Huisne où la méthode est appliquée à partir d'une période de retour de 75 ans pour tenir compte de la combinaison des deux bassins versants.

Sur le bassin versant du Loir, la méthode du Gradex est appliquée à partir de la crue cinquantennale. Pour les stations du Loir à l'aval de la Conie et de l'Aigre (ruisseaux qui drainent les eaux de la nappe de la Beauce, et qui réagissent très peu en crue), la méthode du Gradex est appliquée en ne tenant pas compte du bassin versant de ces deux cours d'eau.

Ainsi, pour l'ensemble des stations dont les débits de crue de période de retour 5, 10, 20 et 50 ans ont été obtenus dans le paragraphe précédent, les valeurs des débits de crues ont été extrapolées aux périodes de retour 50, 100 et 200 ans (voir *figure B.5.7*).

Les valeurs ainsi obtenues (crues de période de retour 10, 50 et 100 ans) peuvent être comparées aux valeurs obtenues dans les études antérieures (voir *tableaux des figures B.5.8a à B.5.8c*).

De plus, dans ce tableau, sont indiqués les intervalles de confiance à 70 % des estimations de crue centennale (70 % de chance de se trouver comprises entre les deux valeurs de l'intervalle)

En parallèle, les courbes Q-D-F (Débits-Durées- Fréquences) ont été élaborées pour les durées de 1 à 8 jours et pour des temps de retour jusqu'à 200 ans.

Ces courbes sont présentées en *annexe B.10*. Un exemple est présenté sur la *figure B.5.9*.

L'ensemble de ces résultats est présenté dans le tableau de la *figure B.5.10*. Il peut être synthétisé, bassin par bassin, sur des courbes $\text{Log}(\text{débit}) = f(\text{surface du bassin versant})$ présentées en *annexe B.11*. Un exemple est présenté en *figures B.5.11 et B.5.12*.

B.5.3.3 Extrapolation à des points caractéristiques du bassin
(confluences, agglomérations, localisation d'échelles d'annonce de crues)

Les calculs sont réalisés à partir des débits aux stations hydrométriques. Le passage des débits aux confluences et aux échelles d'annonce de crue se fait par application d'un rapport des surfaces à la puissance 0,8.

a) Reconstitution des débits aux confluences

Station (Rivière)	Surface (Km ²)	(rapport des surfaces) ^{0,8}	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Relation tenant compte de la superficie des bassins versants
Chiantin (Le Merdereau)	118		19	25	35	45	
[Le Merdereau]	183	1.42	27	36	50	64	[Le Merdereau] = 1.42 Chiantin
Moulin Neuf (l'Orne Saonoise)	510		50	65	90	120	
[l'Orne Saonoise]	528	1.03	51	67	93	123	[l'Orne Saonoise] = 1.03 Moulin Neuf
La Pécardière (l'Huisne)	1890		125	170	200	280	
[l'Huisne]	2260	1.15	144	196	230	322	[l'Huisne] = 1.15 La Pécardière
St Mars la Brière (le Narais)	167		6	8	9	10	
[le Narais]	205	1.18	7	9	11	12	[Le Narais] = 1.18 St Mars la Brière
Parence (La Vive Parence)	185		12	15	21	23	
[La Vive parence]	220	1.15	14	17	24	26	[La Vive parence] = 1.15 Parence
Asnière (La Vègre)	401		50	70	90	110	
[La Vègre]	422	1.04	52	73	94	115	[La Vègre] = 1.04 Asnières
Moulin la Roche (l'Erve)	380		70	90	125	160	
[l'Erve]	413	1.07	75	96	134	171	[l'Erve] = 1.07 Moulin la Roche
Bouessay (La Vaige)	233		40	50	70	90	
[La Vaige]	248	1.05	42	53	74	95	[La Vaige] = 1.05 Bouessay
Beffes (La Sarthe)	7380		425	575	690	870	
[Sarthe amont Loir]	7843	1.05	446	604	724	913	[Sarthe amont Loir] = 1.05 Beffes
Domfront (la Varenne)	198		45	70	80	100	
[La Varenne]	670	2.65	119	186	212	265	[La Varenne] = 2.65 Domfront
Moulay (l'Aron)	188		25	45	50	60	
[l'Aron]	188	1.00	25	45	50	60	[l'Aron] = 1 Moulay
Vaugeois (l'Ernée)	375		55	70	100	130	
[l'Ernée]	386	1.02	55	70	100	130	[l'Ernée] = 1.02 Vaugeois
Forcé (La Jouanne)	410		60	100	120	140	
[La Jouanne]	425	1.03	62	103	123	144	[La Jouanne] = 1.03 Forcé
Nuillé (Le Vicoin)	235		50	85	105	120	
[Le Vicoin]	260	1.08	54	92	114	130	[Le Vicoin] = 1.08 Nuillé
Pont d'ouette (l'Ouette)	119		14	23	28	35	
[l'Ouette]	120	1.01	14	23	28	35	[l'Ouette] = 1.01 Pont d'Ouette
Chambellay (La Mayenne)	4158		510	760	970	1180	
[La Mayenne amont Oudon]	4212	1.01	515	768	980	1192	[La Mayenne amont Oudon] = 1.01 Chambellay
Port aux Anglais (l'Oudon)	1409		165	265	330	390	
[l'Oudon]	1482	1.04	172	276	344	406	[l'Oudon] = 1.04 Port aux Anglais
Trizay (l'Ozanne)	268		55	75	95	115	
[l'Ozanne]	286	1.05	58	80	100	120	[l'Ozanne] = 1.05 Trizay
La Caboché (La Braye)	270		35	50	70	90	
[La Braye]	850	2.50	88	125	175	225	[La Braye] = 2.50 Caboché
Le Petit Brives (La Veuve)	156		25	40	55	70	
[La Veuve]	254	1.48	37	59	81	103	[La Veuve] = 1.48 Petit Brives
Moulin à Tan (l'Aune)	224		15	20	30	40	
[l'Aune]	225	1.00	15	20	30	40	[l'Aune] = 1 Moulin à Tan
Durtal (Le Loir)	7925		310	440	590	740	
[Le Loir]	8270	1.03	321	455	610	766	[Le Loir] = 1.03 Durtal



Confluences



Stations hydrométriques

b) Reconstitution des débits aux échelles d'annonce de crue

Station (Rivière)	Surface (Km2)	(rapport des surfaces) ^{0.8}	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀ (Gradex)	Q ₂₀₀ (Gradex)	Relation tenant compte de la superficie des bassins versants
LA SARTHE							
Le Mêlé (La Sarthe)	283	0.39	39	53	71	87	Mêlé = 0.39 Moulin du Désert
Moulin du désert (la Sarthe)	908		100	135	180	220	
Alençon (La Sarthe)	908		100	135	180	220	
Beaumont (La Sarthe)	1975	0.78	194	260	318	372	Beaumont = 0.78 Montreuil
Montreuil (la Sarthe)	2716		250	335	410	480	
Montbizot (l'Orne)	510		50	65	90	120	
Remalard (l'Huisne)	590	0.76	53	73	84	114	Remalard = 0.76 Nogent
Nogent le Rotrou (l'Huisne)	827		70	95	110	150	
Le Theil (l'Huisne)	1135	1.29	90	122	142	193	Le Theil = 1.29 Nogent
La Ferte Bernard (l'Huisne)	1385	1.17	106	144	166	227	La Ferte = 1.17 Le Theil
La Pécardière (l'Huisne)	1890		125	170	200	280	
Connerre (l'Huisne)	1955	1.03	128	175	205	288	Connerre = 1.03 La Pécardière
Le Mans 1 (l'Huisne)	2545	1.23	159	216	254	355	Le Mans 1 = 1.23 Connerre
Le Mans 2 (La Sarthe)	2740	1.01	252	337	413	483	Le Mans 2 = 1.01 Montreuil
Spay (la Sarthe)	5285		330	450	540	680	
La Suze (La Sarthe)	5983	1.10	364	497	596	751	La Suze = 1.10 Spay
Sablé (La Sarthe)	6690	0.92	393	532	638	804	Sablé = 0.92 Beffes
Beffes (La Sarthe)	7380		425	575	690	870	
LA MAYENNE							
Boutrouillère (La Mayenne)	335	0.70	70	119	147	176	Boutrouillère = 0.70 Couterne
Couterne (La Mayenne)	521		100	170	210	250	
Domfront (la Varenne)	198		45	70	80	100	
Ambrière (La Varenne)	517	2.16	97	151	172	216	Ambrière = 2.16 Domfront
Saint Fraimbault (La Mayenne)	1851		250	370	470	570	
Mayenne (La Mayenne)	1915	1.03	258	381	484	587	Mayenne = 1.03 St Fraimbault
Vaugeois (l'Ernée)	375		55	100	130	160	
Laval (La Mayenne)	2800	0.97	359	524	650	776	Laval = 0.97 Bonne
Bonne (La Mayenne)	2893		370	540	670	800	
Château Gontier (La Mayenne)	3906		485	720	920	1120	
Chambellay (La Mayenne)	4158		510	760	970	1180	
Sègre (l'oudon)	1310	0.94	156	250	311	368	Segré = 0.94 Port aux Anglais
Port aux Anglais (l'Oudon)	1409		165	265	330	390	
LE LOIR							
Bonneval (Le Loir)	1000	0.89	89	129	182	240	Bonneval = 0.89 Saint Maur
Saint Maur (Le loir)	1160		100	145	205	270	
Chateaudun (Le Loir)	2770	0.90	124	182	229	276	Chateaudun = 0.90 Cloyes
Cloyes (le loir)	3150	0.80	138	201	254	306	Cloyes = 0.80 Vendome
Vendome (Le loir)	4140	0.93	172	251	316	381	Vendome = 0.93 Montoir
Montoir-Villavard (Le Loir)	4545		185	270	340	410	
La Chartre (Le loir)	5650	0.83	247	350	469	589	Chartre = 0.83 Lude
Le Lude (le loir)	7100	0.94	296	420	563	707	Le Lude = 0.94 La Flèche
La Flèche (Le Loir)	7700	0.98	303	430	577	723	La Flèche = 0.98 Durtal
Durtal (Le Loir)	7925		310	440	590	740	

B.5.3.4 Crues historiques et temps de retour correspondants

Des résultats précédents, on peut déduire, bassin par bassin, la liste des principales crues historiques observées et leurs estimations de temps de retour (cf tableau de la *figure B.5.13*).

B.5.4 Valeurs caractéristiques des débits d'étiage

B.5.4.1 Caractéristiques générales

Les débits moyens les plus faibles sur n jours consécutifs se trouvent dans les tableaux des *figures B.5.14 et B.5.15*.

Les ajustements (formules de Galton) des débits moyens les plus faibles sur 10 et 30 jours consécutifs permettent d'estimer les valeurs correspondant aux temps de retour 5 et 10 ans (valeurs appelées respectivement $VCN_{10,5}$ et $VCN_{10,10}$: $VCN_{30,5}$ et $VCN_{30,10}$).

De la même manière, sont obtenues les valeurs du QMNA5 (débit moyen le plus faible chaque année sur un mois calendaire, de temps de retour 5 ans).

B.5.4.2 Cas particulier des points nodaux définis dans le cadre de l'élaboration du SDAGE Loire-Bretagne

La carte de la *figure B.5.19* récapitule les valeurs caractéristiques aux points nodaux.

- **Point nodal Mayenne amont**

Les commentaires ci-après sont relatifs à l'analyse des débits sur la période récente 1980-1996, correspondant à la période d'exploitation de l'ouvrage de St Fraimbault :

- ◇ le module 1980-1996 est de $19,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (dixième du module $1,97 \text{ m}^3/\text{s}$)
- ◇ la valeur du QMNA5 sur la période 1980-1996 est de $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$, supérieure au QMNA5 ($1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) de la période globale 1972-1993, du fait de l'exploitation de l'ouvrage de St Fraimbault
- ◇ DOE = $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les débits observés à St Fraimbault intègrent naturellement les prélèvements dus aux consommations sur le bassin amont, qui sont, en consommation nette à l'étiage* :

. usage agricole (élevage) :	1 l/s
. usage domestique :	12 l/s
. usage industriel :	1 l/s
. irrigation	127 l/s (pour 1 913 ha irrigués)

TOTAL	141 l/s soit un volume de 0,37 Mm ³ par mois.

◇ DSA = 1,5 m³/s

Ce débit de seuil d'alerte a été atteint au cours des périodes suivantes : août 89 (10 jours), juillet et août 90 (51 jours), août 91 (51 jours), août et septembre 96 (36 jours)

• **Point nodal Mayenne aval**

- ◇ le module 1980-1996 est de 39,5 m³/s (dixième du module 3,95 m³/s)
- ◇ la valeur du QMNA5 sur la période 1980-1996 est de 3,7 m³/s (du fait de la gestion de St Fraimbault), et donc supérieure à la valeur sur la longue période 1972-1993 (3,1 m³/s) sur laquelle a été estimée cette valeur.
- ◇ DOE = 3,1 m³/s

Les débits observés à la station aval (Chambellay) intègrent les prélèvements dus aux consommations sur le bassin versant, qui, chiffrés en consommations nettes à l'étiage, sont* :

. usage agricole :	2 l/s
. usage domestique :	156 l/s
. usage industriel :	4 l/s
. irrigation	206 l/s

TOTAL	368 l/s soit un volume de 0,95 Mm ³ par mois.

◇ DSA = 1,5 m³/s

Ce débit de seuil d'alerte a été atteint au cours des périodes suivantes : août et septembre 96 (18 jours)

* Source : état de définition des fichiers de qualité et de quantité aux points nodaux du bassin Maine-Mayenne-Sarthe-Loir définis à partir des fichiers de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ; Béture Environnement-juillet 1995
 Réf : DI-CE 98-1737c – F414 - le 18/03/2005 Page 34/62

• **Point nodal Oudon**

- ◇ le module annuel sur la période 1969-1977 et 1982-1997 est 6,66 m³/s (dixième du module 0,7 m³/s)
- ◇ la valeur du QMNA5 est de 0,02 m³/s
- ◇ DOE = 0,10 m³/s
- ◇ Sur la période d'observation, cette valeur n'aurait pas été atteinte les mois suivants (les valeurs entre parenthèses correspondent aux débits moyens mensuels des mois cités) :

août à novembre 1971	(0,03, 0,04, 0,04 et 0,08 m ³ /s)
juin à septembre 1976	(0,05, 0,0, 0,05 m ³ /s)
août à octobre 1989	(0,03, 0, 0, 0,05 m ³ /s)
août à octobre 1990	(débit pratiquement nul)
août et septembre 1991	(0,05 et 0,02 m ³ /s)
juillet et août 1992	(0,09 et 0,01 m ³ /s)
août 1993	(0,06 m ³ /s)
août 1995	(0,05 m ³ /s)
août à octobre 1996	(0,02, 0,01 et 0,04 m ³ /s)

Le déficit par rapport à l'objectif DOE aurait été :

1971	0,6 Mm ³
1976	0,8 Mm ³
1989	0,8 Mm ³
1990	1,0 Mm ³
1991	0,2 Mm ³
1992	0,3 Mm ³
1993	0,1 Mm ³
1995	0,1 Mm ³
1996	0,2 Mm ³

Les débits observés à Port-aux-Anglais intègrent les prélèvements dus aux consommations sur le bassin de l'Oudon qui, chiffrés en consommations nettes à l'étiage, sont * :

. usage agricole :	1 l/s
. usage domestique :	12 l/s
. usage industriel :	1 l/s
. irrigation	127 l/s (pour 1 144 ha irrigués)

TOTAL	141 l/s soit un volume de 0,37 Mm ³ par mois.

- ◇ DSA = 0,02 m³/s

Ce débit de seuil d'alerte a été atteint au cours des périodes suivantes :

juillet à septembre 71 (29 jours), juillet à octobre 76 (90 jours), août à octobre 90 (90 jours), août à septembre 91 (39 jours), juin et août 92 (49 jours), août et septembre 93 (26 jours), août à octobre 96 (56 jours).

• **Point nodal Sarthe amont**

* Source : état de définition des fichiers de qualité et de quantité aux points nodaux du bassin Maine-Mayenne-Sarthe-Loir définis à partir des fichiers de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ; Béture Environnement-juillet 1995
 Réf : DI-CE 98-1737c – F414 - le 18/03/2005 Page 35/62

- ◇ Le module sur la période 1973-1996 est de 19,3 m³/s (dixième du module 1,93 m³/s)
- ◇ Le QMNA5 est égal à 2,0 m³/s et n'a pas été atteint lors des mois suivants (les valeurs entre parenthèses correspondent aux débits moyens mensuels des mois cités) :
 - août 1973 (1,83 m³/s)
 - juillet à septembre 1976 (1,5, 1,1 et 1,6 m³/s)
 - août et septembre 1990 (1,2 et 1,0 m³/s)
 - août 1996 (1,9 m³/s)

Les débits observés à Montreuil intègrent les prélèvements dus aux consommations sur le bassin de la Sarthe amont qui, chiffrés en consommation nette à l'étiage, sont * :

. usage agricole :	2 l/s
. usage domestique :	164 l/s
. usage industriel :	20 l/s
. irrigation	179 l/s (pour 1 911 ha irrigués)

TOTAL	365 l/s soit un volume de 0,95 Mm ³ par mois.

Pour la partie irrigation, les données actualisées de la DDE 72 font état d'une consommation de 400 l/s.

• Point nodal Huisne

- ◇ Le module sur la période 1984-1997 est de 12,4 m³/s (dixième du module 1,24 m³/s)
- ◇ Le QMNA5 est égal à 5,1 m³/s et n'a pas été atteint lors des mois suivants (les valeurs entre parenthèses correspondent aux débits moyens mensuels des mois cités) :
 - août et septembre 1990 (4,6 et 4,7 m³/s)
 - août 1991 (4,7 m³/s)
 - août 1993 (4,4 m³/s)
 - août et septembre 1996 (5,0 m³/s)
 - août 1997 (4,9 m³/s)

Les débits observés à La Pécardière intègrent les prélèvements dus aux consommations sur le bassin de l'Huisne qui, chiffrés en consommation nette à l'étiage, sont * :

. usage agricole :	4 l/s
. usage domestique :	174 l/s
. usage industriel :	14 l/s
. irrigation	324 l/s (pour 3 368 ha irrigués)

TOTAL	516 l/s soit un volume de 1,34 Mm ³ par mois.

A ces prélèvements, il convient de rajouter la prise d'eau de la Communauté Urbaine du Mans située en aval de la Pécardière et qui représente une consommation d'environ 800 l/s.

• Point nodal Sarthe aval

* Source : état de définition des fichiers de qualité et de quantité aux points nodaux du bassin Maine-Mayenne-Sarthe-Loir définis à partir des fichiers de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ; Béture Environnement-juillet 1995

* Source : état de définition des fichiers de qualité et de quantité aux points nodaux du bassin Maine-Mayenne-Sarthe-Loir définis à partir des fichiers de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ; Béture Environnement-juillet 1995

- ◇ Le module sur la période 1970-1996 est égal à 44,9 m³/s (dixième du module 4,5 m³/s)
- ◇ Le QMNA5 est égal à 8,8 m³/s et n'a pas été atteint les mois suivants (les valeurs entre parenthèses correspondent aux débits moyens mensuels des mois cités) :

- août 1974	(5,7 m ³ /s)
- juin à septembre 1976	(6,1, 6,1, 4,2 et 8,3 m ³ /s)
- août 1991	(8,6 m ³ /s)
- juillet et août 1992	(8,3 et 8,5 m ³ /s)
- août 1996	(8,2 m ³ /s).

Les débits observés à Beffes intègrent les prélèvements dus aux consommations sur le bassin de la Sarthe amont qui, chiffrés en consommation nette à l'étiage, sont * :

. usage agricole :	12 l/s
. usage domestique :	420 l/s
. usage industriel :	47 l/s
. irrigation	1 247 l/s (pour 12 652 ha irrigués)

TOTAL	1 726 l/s soit un volume de 4,5 Mm ³ par mois.

Les données actualisées de la DDE 72 font état d'une consommation de 1 320 l/s pour les prélèvements agricoles et de 80 l/s pour l'usage industriel.

• Point nodal Conie

- ◇ Sur la période d'observation 1969-1985, le module est égal à 2,62 m³/s (dixième du module 0,26 m³/s)
- ◇ la valeur du QMNA5 est égal à 0,8 m³/s
- ◇ DOE = 1,00 m³/s, débits non atteints les mois suivants (les valeurs entre parenthèses correspondent aux débits moyens mensuels des mois cités) :

septembre 1973	(0,98 m ³ /s)
août et septembre 1974	(0,90 et 0,94 m ³ /s)
août et septembre 1975	(0,85 et 0,83 m ³ /s)
juin à novembre 1976	(0,64, 0,47, 0,42, 0,34, 0,62, et 0,78 m ³ /s)

et lors des étés des années récentes :

26 août au 11 octobre 1991	débit nul
8 juin 1992 au 14 février 1994	débit nul

* Source : état de définition des fichiers de qualité et de quantité aux points nodaux du bassin Maine-Mayenne-Sarthe-Loir définis à partir des fichiers de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ; Béture Environnement-juillet 1995
 Réf : DI-CE 98-1737c – F414 - le 18/03/2005 Page 37/62

Les débits observés à l'aval de la Conie intègrent les prélèvements dus aux consommations sur le bassin de la Conie qui, chiffrés en consommations nettes à l'étiage, sont * :

. usage agricole :	44 l/s
. usage domestique :	20 l/s
. usage industriel :	7 l/s
. irrigation	2 162 l/s (pour 20 349 ha irrigués)

TOTAL	2 233 l/s soit un volume de 5,8 Mm ³ par mois.

◇ DSA = 0,80 m³/s

◇ DCR = 0,50 m³/s

Ces débits ont été atteints au cours des périodes suivantes :

DSA : août et septembre 75 (20 jours), juin à octobre 76 (150 jours)

DCR : juillet à septembre 76 (85 jours)

Eté 1991, 1992, 1993

• Point nodal Bray

◇ Sur la période d'observation 1968-97, le module est égal à 2 m³/s (dixième du module 0,2 m³/s)

◇ Le QMNA5 est égal à 1.0 m³/s et n'a pas été atteint lors des mois suivants :

- août 74
- juin à septembre 76
- juillet à octobre 89
- juillet à septembre 90
- juillet à octobre 91
- mai à septembre 92
- juin à octobre 96

Les débits intègrent les prélèvements dus aux consommations sur le bassin de la Brayé qui, chiffrés en consommation nette à l'étiage, sont * :

. usage agricole :	2 l/s
. usage domestique :	20 l/s
. usage industriel :	6 l/s
. irrigation	164 l/s (pour 1 774 ha irrigués)

TOTAL	192 l/s soit un volume de 0,5 Mm ³ par mois.

* Source : état de définition des fichiers de qualité et de quantité aux points nodaux du bassin Maine-Mayenne-Sarthe-Loir définis à partir des fichiers de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ; Béture Environnement-juillet 1995
Réf : DI-CE 98-1737c – F414 - le 18/03/2005

• **Point nodal Loir**

- ◇ Sur la période d'observation 1970-1996, le module est de 30,55 m³/s (dixième du module 3,1 m³/s)
- ◇ la valeur du QMNA5 est de 7,5 m³/s sur cette période
- ◇ DOE = 7,3 m³/s

Les débits observés à Durtal (aval du Loir) intègrent les prélèvements dus aux consommations sur le bassin du Loir qui, chiffrés en consommations nettes à l'étiage, sont :

. usage agricole :	85 l/s	
. usage domestique :	179 l/s	
. usage industriel :	22 l/s	
. irrigation	5 462 l/s (pour 51 962 ha irrigués)	

TOTAL	5 748 l/s	soit un volume de 15 Mm ³ par mois.

Les données actualisées de la DDE 72 font état d'une consommation de 70 l/s pour l'usage industriel.

B.5.4.3 Principaux épisodes de basses eaux et d'étiage

Le tableau suivant présente, bassin par bassin, un récapitulatif des périodes remarquables de basses eaux et d'étiage :

stations hydrométriques	année	débits d'étiage sur 10 jours		débit moyen mensuel minimum lors d'un étiage		débits moyens mensuels observés lors d'étiage prolongé (durée supérieure à 1 mois)	
		Q	temps de retour (ans)	Q	temps de retour (ans)	Q	temps de retour (ans)
Montreuil (la Sarthe)	1976	0.76 (30/06/76 au 09/07/76)	50	1.07 (août)	50	1.49 (juillet) 1.07 (août) 1.59 (sept.)	12 50 10
	1990	0.97 (01/09/90 au 10/09/90)	20	1.04 (septembre)	50	1.20 (août) 1.04 (sept.)	25 50
La pécardière (l'Huisne)	1992	3.58 (30/07/92 au 08/08/92)	20	\	\	\	\
	1993	3.93 (20/08/93 au 29/08/93)	10	4.38 (août)	15	\	\
Beffes (la Sarthe)	1974	3.26 (19/08/74 au 28/08/74)	>100	5.74 (août)	30	\	\
	1976	3.40 (15/08/76 au 24/08/76)	>100	4.19 (août)	>100	6.08 (juillet) 4.19 (août)	20
	1992	4.74 (29/07/92 au 07/08/92)	15	\	\	\	\
Saint Fraimbault (la Mayenne)	1976	0.10 (05/08/76 au 14/08/76)	environ 100	0.20 (août)	>>100	1.02 (juin) 0.64 (juillet) 0.20 (août) 1.35 (sept.)	50 100 >>100 15
	1990	0.90 (16/09/90 au 25/09/90)	10	1.15 (septembre)	30	1.41 (août) 1.15 (sept.)	15 30
	1996	\	\	1.46 (septembre)	13	1.53 (août) 1.46 (sept.)	10 13
Chambellay (la Mayenne)	1976	0.25 (27/08/76 au 05/09/76)	50	0.58 (août)	75	1.77 (juin) 1.12 (juillet) 0.58 (août) 2.22 (sept.)	20 30 75 15
	1990	1.86 (18/09/90 au 27/09/90)	13	2.08 (septembre)	15	2.19 (août) 2.08 (sept.)	15 15
	1996	1.26 (05/09/96 au 14/09/96)	15	1.82 (septembre)	15	2.01 (août) 1.82 (sept.)	15 15
Port aux Anglais (l'Oudon)		valeurs trop faibles - temps de retour > 10 ans					
Vallainville (la Conie)	1976	0.29 (02/09/76 au 11/09/76)	>100	0.34 (septembre)	110	0.64 (juin) 0.47 (juillet) 0.42 (août) 0.34 (sept.) 0.62 (oct.)	12 30 50 110 13
	1993	débit nul					
La Caboche (la Bray)	1976	0.22 (07/08/76 au 16/08/76)	20	0.24 (août)	30	0.33 (juillet) 0.24 (août)	10 30
	1992	0.29 (30/07/92 au 08/08/92)	10	\	\	\	\
	1996	0.20 (28/07/96 au 06/08/96)	30	0.27 (août)	20	0.27 (août) 0.29 (sept.)	20 20

		débits d'étiage sur 10 jours		débit moyen mensuel minimum lors d'un étiage		débits moyens mensuels observés lors d'étiage prolongé (durée supérieure à 1 mois)	
Durtal (le Loir)	1976	3.96 (18/08/76 au 27/08/76)	40	4.90 (août)	25	5.07 (juin) 5.30 (juillet) 4.90 (août)	22 20 25
	1990	4.76 (04/08/90 au 13/08/90)	15	6.20 (août)	10	\	\
	1991	4.54 (18/08/91 au 27/08/91)	15	5.23 (août)	25	\	\
	1992	3.92 (31/07/92 au 09/08/92)	30	5.25 (août)	25	\	\
	1993	\	\	5.92 (août)	13	\	\
	1996	4.21 (27/07/96 au 05/08/96)	25	5.83 (août)	15	\	\

B.6. DESCRIPTION DETAILLEE D'EPISODES DE CRUES CARACTERISTIQUES

B.6.1 Présentation générale

Ce chapitre comporte la description de la crue de janvier 1995 et d'un certain nombre d'épisodes de crues récentes (1993, 1996 et 1997), ainsi que la crue de novembre 1974, correspondant à des phénomènes météorologiques particuliers.

Pour chacun de ces épisodes, est présentée une synthèse s'appuyant sur une série de documents figurant en *annexes B.12 à B.16* et qui sont :

- Analyse, jour par jour, de l'évolution de la situation météorologique, à l'échelle de la France (à partir des bulletins météorologiques hebdomadaires de Météo-France) :
 - . cartes du champ de pression et de la position des différents fronts en surface
 - . carte de l'altitude de la surface 500 hPa
 - . carte des températures minimales relevées à 6 h TU
 - . carte des températures maximales relevées à 18 h TU
 - . cumul des précipitations (mm) entre 18 h TU la veille et 6 h TU
 - . cumul des précipitations (mm) entre 6 h TU et 18 h TU
 - . fraction d'insolation (en %) par rapport à la durée moyenne du jour astronomique
 - . commentaire (Météo-France) sur la situation météorologique générale du jour.
- Tracés des isohyètes sur le bassin de la Maine représentant le cumul des précipitations correspondant à l'ensemble de l'épisode et, éventuellement, le cumul des précipitations entre deux dates données (averse ou évènement pluvieux isolé particulièrement remarquable).
- Genèse de la crue pour chacun des sous-bassins : Mayenne, Sarthe, Huisne et Loir, à partir des tracés de l'évolution des précipitations journalières et des débits moyens journaliers depuis le début de l'année hydrologique (1er octobre précédent) ; ces tracés comprennent :
 - . pour la Mayenne : la pluie à Laval et les débits à Chambellay
 - . pour la Sarthe : la pluie au Mans et les débits à Montreuil
 - . pour l'Huisne : la pluie au Mans et les débits à La Pécardière
 - . pour le Loir : la pluie à Bonneval et les débits à Durtal.

Ces graphiques présentent également l'évolution d'un indice représentatif de l'état de saturation du bassin, indice appelé "IQA, indice des débits antérieurs", et calculé à partir d'une relation du type :

$$IQA_j = aQ_j + (1-a)IQA_{j-1} \quad \text{avec :}$$

Q_j : débit moyen journalier le jour j

IQA_{j-1} : indice calculé la veille (jour j-1)

IQA_j : indice calculé le jour j

a : paramètre (de l'ordre de 0,04) déterminé de façon à ce que la courbe d'évolution de cet indice, en crue, se raccorde au début de la courbe de tarissement de l'hydrogramme de crue.

IQA_0 : valeur du débit moyen journalier en début de l'année hydrologique (ou en fin de période de basses eaux précédant les épisodes pluvieux)

Cet indice, évoluant lentement au fur et à mesure de la saturation progressive du sol, permet de visualiser les réactions parfois brutales, après une longue période d'averses peu intenses mais régulières, du bassin versant, à un évènement pluvieux sur un sol "bien saturé".

- Relations pluies-débits détaillées

Les graphiques présentés par groupements de stations (amont, aval avec affluents intermédiaires) comportent :

- l'évolution des débits instantanés depuis le démarrage de l'épisode
- l'évolution des totaux pluviométriques en 1h, 3h, 6 h (selon les données disponibles) relevés aux pluviographes voisins.

- Propagation de la crue

L'analyse des graphiques élaborés à partir des débits instantanés (et notamment les « zooms » sur les pointes) permettent également de mettre en évidence les décalages des pointes de crue, d'une part entre les stations successives amont-aval de la rivière principale et d'autre part entre les affluents concernant ce tronçon de rivière principale.

- Cohérence des débits et des volumes écoulés pendant la crue :

Les tableaux et les graphiques permettent la comparaison des volumes écoulés entre deux stations successives amont-aval, tenant compte naturellement des apports des affluents, pour l'ensemble de l'épisode de crue.

Les calculs sont réalisés, à partir des débits aux stations hydrométriques, en ramenant le calcul du volume des affluents à la confluence avec la rivière principale (application d'un rapport des surface à la puissance 0,8), et en passant, pour la rivière principale, de la station amont à la station aval par une formulation du même type, après avoir naturellement soustrait, pour le calcul des surfaces, la surface relative au bassin affluent précité.

B.6.2 Analyse détaillée d'épisodes de crues

B.6.2.1 Crue exceptionnelle de janvier 1995 sur l'ensemble du bassin de la Maine

- Evolution de la situation météorologique

Le mois de janvier 1995 sur l'Ouest de la France comporte trois périodes distinctes :

- du 1 au 12, passage de perturbations de faible activité orientées en flux de Nord
- du 12 au 17, situation calme accompagnée d'un temps sec dû à la présence d'un anticyclone sur l'Europe Centrale
- à partir du 17, décalage lent de l'anticyclone vers l'Est et apparition d'un flux de Sud-Ouest sur le proche Atlantique. Une série de perturbations orientées du Sud-Ouest au Nord-Ouest vont alors se succéder sans discontinuer pendant une quinzaine de jours (cf copies des bulletins hebdomadaires de Météo-France du 15/01/95 au 03/02/95 (en *annexe B.12.1*) avec des pluviométries particulièrement abondantes les 17, 19, 21, 22, 24, 25, 26 et 27 janvier.

- Cumuls pluviométriques enregistrés

En plus des valeurs journalières de précipitation parfois abondantes, c'est la durée de l'ensemble de cet épisode (du 17 au 26) qui a conduit à des totaux pluviométriques exceptionnels ayant provoqué les crues :

Ville	Totaux pluviométriques (mm) du 17 au 26/01/95	Moyennes des totaux pluviométriques (mm) pour cette même période
Le Mans	106	21
Laval	120	21
Alençon	117	25
Angers	120	17

Le tracé des isohyètes en *annexe B.12.2* représente les cumuls pluviométriques du 19 au 23, du 23 au 27, ainsi que les totaux relatifs à l'ensemble de l'épisode, du 15/01 au 08/02/95.

Globalement, ces précipitations ont touché l'ensemble du bassin de la Maine, avec cependant des totaux plus importants sur les bassins de la Mayenne, de la Sarthe amont et de l'Huisne (50 à 70 mm du 19 au 23/01, 50 à 80 mm du 23 au 27/01), alors que le bassin du Loir était un peu moins arrosé (40 à 50 mm du 19 au 23/01, et 30 à 60 mm du 23 au 27/01).

- Genèse de la crue sur le bassin de la Maine

En ce qui concerne l'évolution des débits sur le bassin, il est intéressant de positionner l'évènement pluviométrique (exceptionnel quant à sa durée) par rapport aux conditions hydrométriques des mois précédents.

Les graphiques de *l'annexe B.12.3* représentent l'évolution (en valeurs journalières) des débits au droit des stations de Chambellay (Mayenne), Port aux Anglais (Oudon), Montreuil (Sarthe amont), La Pécardière (Huisne) et Durtal (Loir) en regard de la pluviométrie enregistrée en quelques stations du bassin ; ces graphiques permettent de constater que la fin de l'été et l'automne 1994 ont fait l'objet de précipitations particulièrement importantes, se traduisant dès le début du mois de novembre par des augmentations significatives des débits, correspondant à une réponse du bassin versant à une lente reconstitution des réserves hydriques du sol, et conduisant ainsi à un rendement important des précipitations de novembre, décembre 1994 et janvier 1995.

C'est ce que traduit l'évolution d'un "indice des débits antérieurs" (AQI) dont le calcul est décrit précédemment, et représentant de façon synthétique l'état de "saturation" du bassin versant à partir d'une certaine valeur (selon les bassins). Cet indice permet de constater (dès début novembre) une réponse de plus en plus rapide des bassins, trois évènements successifs ayant précédé l'évènement de la deuxième quinzaine de janvier 1995 :

Bassin	Valeur seuil de l'indice (m ³ /s)	Débit de novembre 1994	Débit de décembre 1994	Débit de début janvier 1995
Mayenne	30	240 m ³ /s	200 m ³ /s	290 m ³ /s
Oudon	10	40 m ³ /s	80 m ³ /s	90 m ³ /s
Sarthe amont	30	120 m ³ /s	100 m ³ /s	140 m ³ /s
Huisne	15	50 m ³ /s	40 m ³ /s	50 m ³ /s
Loir	25	90 m ³ /s	140 m ³ /s	160 m ³ /s

- Réactions des bassins aux évènements pluvieux et propagation

Les graphiques de l'annexe B.12.4 représentent, sous-bassin par sous-bassin, l'évolution des débits instantanés en fonction de la pluviométrie locale (sur les hauts bassins et les affluents), et la propagation des hydrogrammes de crue vers l'aval :

- ◇ sur la Mayenne : réaction brutale dès le 20 janvier au matin avec une première montée de débit à Bonne (200 m³/s) vers 12 h puis montée progressive et sans interruption du 22 à 0 h 00 jusqu'au 23 au matin (première pointe de 520 m³/s à Bonne). Une descente rapide jusque vers 250 m³/s sera ensuite suivie d'une deuxième, puis d'une troisième pointe de crue du 26 au 29 avec des débits alors compris en permanence entre 360 et 460 m³/s ; les affluents que sont la Colmont et la Varenne contribuent fortement à l'augmentation des débits entre Couterne et St Fraimbault, ainsi que l'Aron, l'Ernée, entre St Fraimbault et Bonne, puis le Vicoin, la Jouanne et l'Ouette entre Bonne et Chateau-Gontier.

Les dates d'apparition des pointes de crues sur la Mayenne sont alors les suivantes :

	Couterne	St Fraimbault	Bonne	Chateau-Gontier	Chambellay
Date et heure de la 1ère pointe Débit maximum (m ³ /s)	22/01/95 à 3 h 115	23/01/95 à 3 h 345	23/01/95 à 6 h 520	23/01/95 à 10 h 670	23/01/95 à 11 h 720
Date et heure de la 2ème pointe Débit maximum (m ³ /s)	26/01/95 à 16 h 90	26/01/95 à 20 h 300	26/01/95 à 18 h 460	26/01/95 à 23 h 620	27/01/95 à 0 h 670
Date et heure de la 3ème pointe Débit maximum (m ³ /s)	28/01/95 à 9 h 105	28/01/95 à 21 h 345	29/01/95 à 4 h 470	29/01/95 à 7 h 580	29/01/95 à 8 h 620

- ◇ Sur l'Oudon

Evolution des débits selon un scénario analogue au bassin de la Mayenne : trois pointes de crue successives les 23, 27 et 29 janvier, avec des réactions importantes des affluents le Chéran, la Verzée et l'Argos.

Les dates d'apparition des pointes de crue sur l'Oudon sont les suivantes :

Stations	Cosse-le-Vivien	Maingué	Port-aux-Anglais
Date et heure de la 1ère pointe Débit maximum (m ³ /s)	23/01/95 à 1 h 15	23/01/95 à 12 h 225	23/01/95 à 17 h 255
Date et heure de la 2ème pointe Débit maximum (m ³ /s)	27/01/95 à 0 h 15	27/01/95 à 3 h 205	27/01/95 à 8 h (220)
Date et heure de la 3ème pointe Débit maximum (m ³ /s)	28/01/95 à 16 h 15	29/01/95 à 1 h 240	29/01/95 à 8 h (250)

- ◇ Sur la Sarthe et l'Huisne

La montée de la Sarthe a eu lieu surtout à partir du 22, avec une différenciation des pointes de crue moins marquée que sur le bassin de la Mayenne (la pluviométrie du 19 étant moins importante) ; le débit demeure très élevé, du 22 au 29, oscillant entre 100 et 150 m³/s à Moulin du Désert et entre 260 et 320 m³/s à Montreuil sur Sarthe. La décrue est ensuite très rapide entre le 29/01 et le 02/02.

Sur l'Huisne, l'augmentation de débit s'effectue à partir du 22, par une montée par paliers jusqu'à une première pointe de crue le 23 à Nogent-le-Rotrou (maximum de 107 m³/s) qui se propage jusqu'à La Pécardière le 24 (180 m³/s) ; cette pointe se poursuit ensuite par un long palier à débit sensiblement constant : 60 m³/s à Nogent le Rotrou pendant 6 jours et 110 m³/s à La Pécardière pendant 5 jours.

A la confluence Sarthe-Huisne, les pointes des deux rivières arrivent au Mans avec un décalage de 6 à 12 heures :

- le 24/01 à 9 h 00 pour la Sarthe et à 20 h pour l'Huisne
- le 29/01 à 14 h 00 pour l'Huisne et à 21 h pour la Sarthe

Mais en aval, l'ensemble se traduit par un long palier de débit supérieur à 400 m³/s pendant 7 jours, à partir du Mans.

Ce volume de crue se propage ensuite jusqu'à Beffes (temps de propagation de l'ordre de 6 h), pour provoquer le maintien de très forts débits oscillant entre 550 et 600 m³/s pendant 7 jours.

Le tableau ci-dessous récapitule les dates d'apparition des pointes de crues :

Sations	Le Mêle sur Sarthe	Moulin du Désert	Montreuil	Nogent le Rotrou	La Pécardière	Spay	Beffes
Date et heure de la 1ère pointe	22/01/95 à 19 h	23/01/95 à 20 h	24/01/95 à 0 h	23/01/95 à 2 h	24/01/95 à 8 h	25/01/95 à 5 h	25/01/95 à 14 h
Débit maximum (m ³ /s)	50	145	320	107	180	460	600
Date et heure de la 2ème pointe	28/01/95 à 21 h	28/01/95 à 12 h	29/01/95 à 16 h	28/01/95 à 3 h	29/01/95 à 0 h	30/01/95 à 4 h	30/01/95 à 12 h
Débit maximum (m ³ /s)	20	120	320	65	120	450	580

◇ sur le Loir

Les fortes précipitations du 21 janvier sur le haut bassin du Loir, ont provoqué des montées rapides de débit dans la journée du 22 (cf haut Loir et bassin de l'Yerre) suivies de décrue les 23 et 24. Par la suite, des pluies fréquentes et de longue durée (jusqu'au 30), mais plus modérées, ont provoqué des reprises de crue se traduisant par des débits soutenus, sur une longue période, du 25 au 31 janvier sur le haut bassin ; à Villavard, l'évolution des débits se traduit par une montée lente des débits pendant 4 jours conduisant à une pointe de débit le 25 janvier (250 m³/s), suivie d'une décroissance lente (palier à 200 m³/s) jusqu'au 2 février.

L'ensemble se propage jusqu'à Durtal, avec formation de deux pointes, l'une le 26 (400 m³/s, l'autre le 28 (450 m³/s) et des volumes considérables (11 jours successifs au-dessus de 200 m³/s, 9 jours consécutifs au-dessus de 300 m³/s, 5 jours successifs au-dessus de 400 m³/s).

Le tableau ci-dessous récapitule les dates d'apparition de la pointe de crue principale :

Sations	St Maur	Villavard	Port Gautier	Durtal
Date et heure de la 1ère pointe	23/01/95 à 4 h	25/01/95 à 19 h	26/01/95 à 18 h	28/01/95 à 19 h
Débit maximum (m ³ /s)	150	245	320	460

◇ Sur la Maine

Les rivières en amont d'Angers ont leurs pointes principales aux moments suivants :

Mayenne à Chambellay	23 (11h), 27 (0h) , 29 (8h)
Oudon à Port aux Anglais	23 (17h), 27 (8h), 29 (8h)
Sarthe à Beffes	25 (14h) et 30 (12h)
Loir à Durtal	28 (19h)

L'ensemble Mayenne et Oudon a donc provoqué une première pointe relativement brève de la crue de la Maine à Angers dans la journée du 24 aux alentours de $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$.

Les rivières Sarthe, puis Loir ont ensuite provoqué, avec les autres pointes de la Mayenne et de l'Oudon, une montée en deux jours du débit de la Maine, qui est demeuré stable à une valeur exceptionnellement élevée ($1\,800\text{ m}^3/\text{s}$) pendant 4 jours (27 au 30 janvier).

Ce débit correspond à un temps de retour voisin de 100 ans. Il s'est heureusement conjugué à une crue moyenne sur la Loire ($3\,600\text{ m}^3/\text{s}$ en amont de la Maine), crue de temps de retour 5 ans.

En aval de la confluence, à Montjean, le débit Loire+Maine présente l'allure d'une seule bosse, culminant à $5\,400\text{ m}^3/\text{s}$ (temps de retour 20 ans), le 30 janvier et provoquant, par effet de remous, l'apparition d'une cote au pont de Verdun égale à 6,66 m, de temps de retour 100 ans.

B.6.2.2 Crue de février 1997

- Evolution de la situation météorologique du 10 au 28 février 1997 (*annexe B.13.1*)

Ce mois de février comporte trois périodes distinctes :

1. du 10 au 20 février : succession de perturbations dans des flux rapides d'Ouest conduisant à des précipitations modérées, hormis le 14
2. du 20 au 23 février : accalmie due à une remontée du champ de pression sur la France
3. du 24 au 28 février : décalage des hautes pressions vers l'Est, laissant le passage à une importante dépression centrée sur l'Irlande et dirigeant un flux de sud-ouest sur la France. Des pluies modérées à fortes concernent les pays de la Vendée et la Bretagne, notamment les journées des 23, 24 et 25.

- Cumuls pluviométriques (isohyètes en *annexe B.13.2*)

La longue succession de perturbations du 10 au 20 février conduit à des cumuls pluviométriques compris entre 70 mm (haut bassin de la Mayenne) et 40 mm (bassins du Loir et de la Maine aval).

Par contre, les quatre journées des 23 au 26 conduisent, à l'inverse, à des valeurs plus importantes sur les bassins du Loir et de l'Huisne (60 à 70 mm) que sur les autres bassins (30 à 50 mm), avec un paroxysme la journée du 25 (30 mm à Laval et Alençon et 40 mm au Mans et à Bonneval).

- Genèse de la crue sur le bassin de la Maine (*annexe B.13.3*)

Après un été relativement sec, cette crue de février 1997 fait suite à une succession d'évènements pluvieux débutant début novembre 1996 et conduisant à une montée progressive de l'indice de saturation, atteignant les valeurs suivantes début janvier :

Mayenne	25 m ³ /s
Oudon	5 m ³ /s
Sarthe	10 m ³ /s
Huisne	8 m ³ /s
Loir	20 m ³ /s

- Réaction des bassins aux évènements pluvieux, et propagation (*annexe B.13.4*) :

Les pluies moyennes, mais de longue durée, provoquent une réaction modérée des bassins jusqu'au 24 février ; les débits de base augmentent pendant cet intervalle de temps et conduisent à une augmentation brutale des débits, suite aux pluies importantes commençant le 24, sur l'ensemble du bassin :

Mayenne	Couterne	90 m ³ /s	25/02 à 22h
	St Fraimbault	155 m ³ /s	26/02 à 12h (réaction lente de la Varenne)
	Bonne	270 m ³ /s	26/02 à 01h
	Chateau-Gontier	390 m ³ /s	26/02 à 04h
	Chambellay	410 m ³ /s	26/02 à 07h
Oudon	Cosse le Vivien	15 m ³ /s	26/02 à 03h
	Marcillé	90 m ³ /s	26/02 à 08h
	Mingué	170 m ³ /s	26/02 à 14h
	Port aux Anglais	190 m ³ /s	26/02 à 21h
Sarthe	Moulin du Désert	55 m ³ /s	du 25/02 au 01/03 long palier de débit
	Montreuil sur Sarthe	225 m ³ /s	27/02 à 06h
	Nogent le Rotrou (Huisne)	50 m ³ /s	26/02 (durée une journée)
	La Pécardière (Huisne)	80 m ³ /s	27/02 (durée deux jours)
	Spay	300 m ³ /s	27/02 à 22h
	Beffes	400 m ³ /s	26/02 due à une réaction brutale des affluents de rive droite (Erve, Vègre, Vaige) puis palier à 400 m ³ /s jusqu'au 1er mars
Loir	St Maur	120 m ³ /s	26/02
	Port Gautier	220 m ³ /s	27/02
	Durtal	Montée lente et propagation conduisant à un débit maximum (220 m ³ /s) le 1er mars	
Maine	La composition des débits des quatre rivières Mayenne, Oudon, Sarthe et Loir conduit à un débit de pointe à Angers de 800 m ³ /s. Combiné à une montée très moyenne de la Loire (1 600 m ³ /s à Saumur), ce débit conduit à une somme à Montjean de l'ordre de 2 400 m ³ /s, provoquant une cote maximale à Angers de 3,80 m, bien en-deçà de la cote d'alerte.		

B.6.2.3 Crue de février 1996

- Evolution de la situation météorologique du 21 au 27 février 1996 (*annexe B.14.1*)

- ◇ du 21 au 23 : temps froid, perturbé, avec averses locales de neige, dû à la présence de conditions anticycloniques sur l'ensemble de la France
- ◇ du 24 au 25 : décalage progressif de cette dorsale vers l'Est, suivi du passage d'un flux de Sud-Ouest extrêmement actif et provoquant le déplacement vers l'Est d'un front ondulant. Celui-ci conduira à des averses violentes les journées des 24 et 25
- ◇ Après le 25 : ce front s'évacue vers l'Est en perdant progressivement de son activité (conditions de "traîne").

- Cumuls pluviométriques (isohyètes en *annexe B.14.2*)

Ceux-ci sont importants sur les bassins de la Mayenne moyenne et de l'Oudon, et décroissent globalement d'Ouest en Est, ne touchant plus que partiellement le bassin du Loir.

Ponctuellement, des valeurs journalières de 40 mm sont atteintes, la journée du 25, à Entrammes ou à Cosse le Vivien. Sur le haut bassin de l'Oudon, des totaux de 70 mm en deux jours sont observés (temps de retour 20 à 30 ans).

- Genèse de la crue sur le bassin (*annexe B.14.3*)

Des événements pluviométriques se sont largement succédés à la fin de l'été et en automne 1995, conduisant à une évolution lente de l'indice de saturation des sols.

Cet indice atteint des niveaux comparables aux seuils de déclenchement des fortes crues, lorsqu'a lieu l'événement du 25 février (surtout sur la Mayenne et l'Oudon) :

Mayenne	25 m ³ /s
Oudon	10 m ³ /s
Sarthe	15 m ³ /s
Huisne	10 m ³ /s
Loir	20 m ³ /s

- Réaction des sous-bassins aux événements pluvieux et propagation (cf *annexe B.14.4*)

La hausse des débits commence dans la journée du 25 février et les pointes de crue apparaissent aux dates et heures suivantes :

Mayenne	Couterne	95 m ³ /s	26/02 à 07h
	St Fraimbault	185 m ³ /s	26/02 à 19h
	Bonne	280 m ³ /s	26/02 à 06h et palier d'une journée
	Chateau-Gontier	490 m ³ /s	26/02 à 09h
	Chambellay	500 m ³ /s	26/02 à 16h

Oudon	Cosse le Vivien	20 m ³ /s	26/02 à 10h
--------------	-----------------	----------------------	-------------

	Marcillé	110 m ³ /s	27/02 à 01h
	Mingué	220 m ³ /s	27/02 à 00h
	Port aux Anglais	230 m ³ /s	27/02 à 00h
Sarthe	Moulin du Désert	90 m ³ /s	27/02 à 06h
	Montreuil sur Sarthe	220 m ³ /s	27/02 à 21h
	Nogent le Rotrou (Huisne)	30 m ³ /s	26/02 à 18h
	La Pécardière (Huisne)	50 m ³ /s	27/02 à 09h
	Spay	270 m ³ /s	28/02 à 0 h 00
	Beffes	370 m ³ /s	26/02 à 21h et palier (340 m ³ /s) jusqu'au 28 à 19h
Loir	Pas de crue significative (80 m ³ /s à Durtal le 28/02 à 00h)		
Maine	La composition des débits conduit à Angers, à un débit de la Maine de l'ordre de 1 000 m ³ /s qui, conjugué à un débit sur la Loire à Saumur de 1 200 m ³ /s, conduit à un débit somme à Montjean de 2 200 m ³ /s, avec une cote au pont de Verdun n'atteignant que 3,80 m.		

B.6.2.4 Crue de janvier 1993

- Evolution de la situation météorologique du 10 au 15 janvier 1993 (cf *annexe B.15.1*)

Dans la journée du 10, deux systèmes dépressionnaires se succèdent et conduisent à des pluies intenses accompagnées de rafales de vent atteignant 100 km/h au Nord de la Loire.

Prise dans un régime très rapide de Sud-Ouest, cette perturbation se ralentit cependant et conduit à des précipitations localement abondantes sur le quart Nord-Ouest de la France, et qui se poursuivent dans la journée du 11.

Le 13, une nouvelle perturbation gagne l'Ouest du pays, provoquant quelques pluies modérées sur l'Ouest.

Le 14, un champ de pressions élevées se forme, et le corps pluvieux se frontolyse et conduit à quelques pluies résiduelles épaisses.

- Cumuls pluviométriques (isohyètes en *annexe B.15.2*) :

Les cumuls des deux journées des 10 et 11 janvier font apparaître une forte pluviométrie (80 à 100 mm) sur le haut bassin de la Mayenne, puis une pluviométrie relativement homogène, décroissant de 70 à 40 mm d'Ouest en Est (60 à 70 mm sur la Sarthe et la basse vallée du Loir, 40 à 50 mm sur le Loir moyen et amont).

- Genèse de la crue sur le bassin de la Maine (cf *annexe B.15.3*) :

Cette crue se place, comme pour la crue de janvier 1995, après une succession d'évènements pluvieux importants se succédant depuis le mois d'août précédent. Les premières montées significatives de débits apparaissent vers la mi-novembre 1992 et les débits de base redescendent lentement à partir de la mi-décembre, pour se trouver à des valeurs de 30 m³/s sur la Mayenne lorsqu'a lieu l'épisode décrit. Les totaux de 40 à 80 mm en deux jours provoquent alors une réponse immédiate du bassin, se traduisant par une montée rapide des débits.

- Réaction des bassins aux évènements pluvieux, et propagation

Les réactions sont rapides dans la journée du 11 janvier et conduisent aux débits de pointe suivants :

Mayenne	Couterne	100 m ³ /s	12/01 à 14h
	St Fraimbault	280 m ³ /s	12/01 à 14h
	Bonne	400 m ³ /s	12/01 à 20h
	Chateau-Gontier	530 m ³ /s	13/01 à 00h
	Chambellay	480 m ³ /s	13/01 à 04h
Oudon	Cosse le Vivien	15 m ³ /s	12/01 à 18h
	Marcillé	60 m ³ /s	12/01 à 21h
	Maingué		
	Port aux Anglais	110 m ³ /s	12/01 à 22h
Sarthe	Moulin du Désert	120 m ³ /s	13/01 à 18h
	Montreuil sur Sarthe	220 m ³ /s	13/01 à 20h
	Nogent le Rotrou (Huisne)	80 m ³ /s	13/01 à 07h
	La Pécardière (Huisne)	100 m ³ /s	13/01 à 10h et le 15 à 05h
	Spay	300 m ³ /s	14/01 à 15h
	Beffes	400 m ³ /s	13/01 à 04h avec un palier de 5 jours.
Loir	Port Gautier	135 m ³ /s	13/01 à 17h avec un palier de 4 jours du 13 au 17
	Durtal	210 m ³ /s	16/01 à 17h avec un palier de 5 jours du 13 au 18
Maine	La combinaison de ces débits conduit à un débit maximum de la Maine à Angers de l'ordre de 1 050 m ³ /s le 13. Le débit se combine cependant avec de bas débits de la Loire à Saumur (700 m ³ /s) conduisant à un débit somme à Montjean de 1 800 m ³ /s, provoquant de ce fait l'apparition d'une cote à Angers de 3,90 m.		

B.6.2.5 Crue de novembre 1974

- Evolution de la situation météorologique

L'ensemble du pays se trouve, les 12 et 13 novembre, sous l'influence d'une zone de basses pressions qui recouvre l'Europe occidentale. Le 14, un front froid pénètre sur l'Ouest mais subit un fort ralentissement du fait de la présence d'un anticyclone sur l'Europe Centrale, conduisant ainsi à une stagnation de la perturbation sur une région s'étalant de l'estuaire de la Loire à la Basse-Normandie.

La situation s'aggrave du fait de la convergence sur ce front quasi-stationnaire, d'un air froid venu de Bretagne, et qui provoque un soulèvement brutal des masses d'air, pour les journées du 14 et du 15 novembre.

- Cumuls pluviométriques

Les isohyètes indiquent une localisation des maxima pluviométriques (12 au 15 novembre) centrés sur un axe couvrant essentiellement le bassin de la Mayenne (par rapport l'ensemble du bassin de la Maine). La décroissance des totaux pluviométriques y est remarquable, dès que l'on s'éloigne vers les bassins de la Sarthe, puis du Loir.

A noter que le corps principal de l'averse s'est abattu dans un laps de temps de l'ordre de 4 h le 16 (entre 0 h et 4 h).

- Réaction du bassin de la Mayenne à la pluviométrie ; temps de propagation

Le haut bassin de la Mayenne réagit, en même temps que le bassin de la Varenne, conduisant ainsi à la formation d'une pointe de crue à Mayenne le 17 à 01 h ($350 \text{ m}^3/\text{s}$) ; ce débit se propage ensuite en se conjuguant avec les apports de l'Ernée, et conduisant ainsi à un débit de pointe à Laval le 17 à 07 h ($604 \text{ m}^3/\text{s}$). L'ensemble se propage ensuite vers Château-Gontier et Chambellay (passage de la pointe le 17 vers 14 h, débit maximum voisin de $780 \text{ m}^3/\text{s}$).

La durée de cette crue a été relativement brève (2 jours).

B.6.3 Récapitulatif des temps de propagation obtenus à partir de l'analyse de l'ensemble des crues étudiées

A partir de l'ensemble des informations collectées sur le bassin versant et saisies dans une base de données, il a été possible de tracer les graphiques de l'évolution des débits instantanés (au droit des stations hydrométriques gérées par les DIREN) et de les comparer à l'évolution des cotes relevées aux échelles d'annonce de crues par les services d'annonce de crues.

Ces comparaisons, pour chaque crue (dans la mesure du possible) permettent de dresser une synthèse des temps de propagation entre les stations hydrométriques et les échelles d'annonce de crue dans le cadre de la mise au point de formules (simples) de prévisions.

La difficulté de cette analyse réside dans le fait que les informations disponibles sur le bassin versant sont hétérogènes :

- beaucoup de stations hydrométriques sur les affluents n'ont été mises en place que depuis 1992
- les informations au droit des échelles d'annonce de crue (dont les hauteurs sont lues par des observateurs mais pas toujours de façon régulière, et rarement la nuit) ne sont pas aussi abondantes que les données hydrométriques, avec parfois même l'absence de lecture du maximum de la crue.

Ainsi, les corrélations ou les estimations de temps de propagation ne peuvent être réalisées parfois qu'à partir de 4 ou 5 crues.

Les figures B.6.1 à B.6.3 récapitulent pour l'ensemble des crues étudiées les temps de propagation entre stations successives (et affluents) avec prise en compte des échelles d'annonce de crue.

B.6.4 Concomitance des crues

B.6.4.1 Concomitances entre la Sarthe et l'Huisne au Mans

L'analyse des hydrogrammes de crue aux stations de Montreuil sur Sarthe (Sarthe) et de La Pécardière (Huisne) sur la période 1984-1997 conduit, compte tenu des temps respectifs de propagation entre ces deux stations et la confluence Sarthe-Huisne au Mans, aux résultats du tableau ci-dessous :

Crue	Sarthe au Mans	Huisne au Mans
nov-84	24/11 à 21h	25/11 à 02h
avr-85	09/04 à 21h	09/04 à 08h
jan-88 (1)	08/01 à 21h	07/01 à 02h
jan-88 (2)	26/01 à 21h	27/01 à 02h
fev-88 (1)	03/02 à 21h	04/02 à 02h
fev-88 (2)	13/02 à 21h	14/02 à 02h
jan-90	27/01 à 03h	26/01 à 22h
fév-90	16/02 à 09h	18/02 à 02h
jan-93	14/01 à 05h	14/01 à 00h
jan-94	08/01 à 09h	07/01 à 20h
jan-95 (1)	24/01 à 09h	24/01 à 20h
jan-95 (2)	29/01 à 21h	29/01 à 14h
fév-96	28/02 à 05h	27/02 à 08h
fév-97	27/02 à 15h	27/02 à 17h

Sur les 12 crues ainsi recensées, la Sarthe est par 6 fois en avance sur l'Huisne d'environ 5 heures (entre 2 et 11 heures), et l'Huisne est par 6 fois en avance sur la Sarthe d'environ 11 heures (entre 5 et 21 heures). On ne peut donc conclure à un systématisme de la coïncidence des crues, sauf à se placer dans un laps de temps de 12 heures.

B.6.4.2 Concomitances des quatre constituants de la Maine (Mayenne, Oudon, Sarthe et Loir)

Le tableau ci-dessous récapitule les dates des pointes de crues sur chacune de ces rivières, à l'occasion de 24 crues entre les années 1970 et 1997.

Crue	Mayenne	Oudon	Sarthe	Loir
12 au 16/02/70	14	14-15	16	17
22 au 28/02/70	24	25	25	27
16 au 19/11/74	17	17	18	19
19 au 26/02/77	21	21	23	24
18 au 25/02/78	20		20	23
10 au 18/02/79	12		14	15
03 au 11/02/80	5		6	8
27/03 au 02/04/80	28		28	31
08 au 14/04/83	10	10	11	13
22 au 28/11/84	24	24	25	27

Crue	Mayenne	Oudon	Sarthe	Loir
07 au 13/04/85	8	8	8	11
06 au 10/01/88	7	7	7	9
01 au 09/02/88	2	2	7	8
12 au 16/02/88	13	13	13	
24 au 30/01/90	24	24	26	27
15 au 23/02/90	15	15	17	20
11 au 19/01/93	13	12	13	16
19 au 28/12/93	22 et 26	26	24 et 26	25
05 au 12/01/94	7	7	7	10
19 au 27/02/95	23	24	25	26
27/02 au 04/03/95	26	27	30	28
24 au 29/02/96	26	27	27	28
13 au 19/02/97	15	15	16	17
25/02 au 02/03/97	26	26	27	1

En règle générale, les débits de pointe apparaissent le même jour sur la Mayenne (à Chambellay) et sur l'Oudon (à Port aux Anglais), alors que les débits maxima apparaissent à Sablé-Beffes sur la Sarthe plutôt 1 à 2 jours après, et à Durtal sur le Loir 3 jours après.

Le temps de propagation entre ces stations et Angers est de même ordre de grandeur, sauf pour la station de Beffes, où il convient d'ajouter environ 12 heures par rapport aux trois autres stations.

Dans ces conditions, en moyenne, on peut considérer que pour une crue observée le jour J à Chambellay et Port aux Anglais, cette crue sera en avance de 1,5 à 2,5 jours sur celle de la Sarthe à la confluence Mayenne-Sarthe, et la crue de la Sarthe sera elle-même en avance d'un à deux jours sur la crue du Loir à la confluence Sarthe-Loir.

B.6.4.3 Concomitance des crues de la Maine et de la Loire

B.6.4.3.1 Situations météorologiques pouvant conduire à une concomitance de crues exceptionnelles

Les principales situations météorologiques conduisant à des crues importantes sur la Loire moyenne peuvent être principalement de trois origines (source : D. DUBAND - 153e session du Comité Scientifique et Technique de la SHF - Tours - juin 1996).

- Crues d'origine méditerranéenne extensive

Elles sont engendrées par un flux de Nord créé par une dépression au Sud de l'Irlande et un anti-cyclone sur l'Europe Centrale. Le conflit de masses d'air froid et chaud humide, dont le canal préférentiel est la vallée du Rhône, produit des pluies particulièrement intenses sur les régions cévenoles, pouvant déborder jusqu'au Massif Central Est et Nord-Est, et au Morvan.

En cas de concomitance des crues du haut bassin de la Loire avec celles de l'Allier, une crue importante peut alors se propager depuis le confluent Loire-Allier jusqu'à Blois, voire Tours, avec des durées moyennes, mais surtout des pointes de crue élevées.

Les maxima de ces crues ne sont pas concomitants avec ceux de l'ensemble des autres bassins versants, et de façon générale, les débits entre Blois et Montjean s'atténuent en moyenne de 80 %.

Ce ne sont donc pas ces situations météorologiques qui conduiront à des risques majeurs de concomitance des crues des bassins de la Loire et de la Maine.

- Crues d'origine océanique

Ces crues sont habituellement consécutives à la persistance d'une circulation atmosphérique d'origine atlantique avec des trains successifs de perturbations pouvant s'étaler sur des durées de 1 à 3 mois.

Ces crues sont caractérisées par des débits maxima naturellement très élevés, mais surtout par des volumes très importants, ce que confirment les scénarios des grandes crues de 1910, 1935-1936, 1944, 1982 ou 1995 : la pluie commence à bien humidifier les sols pendant le premier mois par des précipitations de 3 à 6 jours avec des interruptions de quelques jours ; le processus recommence le mois suivant et l'on observe alors une succession de crues qui vont se chevaucher en ondulation. Parmi celles-ci, l'une d'entre elles sera particulièrement importante du fait de la saturation progressive d'un grand nombre de surfaces réceptrices.

On reconnaît dans la description des situations météorologiques et plus particulièrement de ces scénarios, celui relatif à la genèse et au déroulement de la crue de 1995 sur le bassin de la Maine.

C'est naturellement, dans ce type de situation météorologique, que réside un risque important de concomitance de crues importantes sur les bassins de la Loire et de la Maine.

A noter que le volume de crue en amont de Blois ne représente plus que 35 % en moyenne du volume de crue à Montjean, sauf pour quelques crues généralisées où ce pourcentage peut atteindre 50 %.

- Crues « mixtes » : les « crues générales » de Maurice PARDE

On constate cependant que certaines grandes crues dues à des précipitations d'origine océanique peuvent être complétées par une crue résultant de précipitations d'origine méditerranéenne, comme ce fut le cas principalement en mai-juin 1856, mais aussi en novembre-décembre 1910.

La pire situation pour la moyenne et basse Loire se présentera lorsqu'une violente crue méditerranéenne du bassin amont de Gien se superposera à une crue lente à fort débit alimentée par les affluents aval de la Loire (dont la Maine).

Dans ce cas, la situation météorologique peut être décrite comme suit (cf Maurice PARDE : Régime du Rhône - Etude hydrologique - Description de la crue de novembre-décembre 1910) :

- la première décennie de novembre a vu se succéder des précipitations d'origine océanique qui ont provoqué une forte montée des fleuves français, dont la Loire sur son bassin inférieur. Les pluies ont touché également les régions méditerranéennes le 15 novembre.
- fin novembre, le 27, une dépression importante se creuse sur la Mer du Nord alors qu'un anti-cyclone, initialement installé sur l'Espagne, se décale pour laisser le passage à une dépression venue des Açores. Des pluies très importantes, les 27 et 28, caractérisent cet épisode de crue « océanique ».

- le 29, la dépression venue des Açores remonte vers le Golfe de Gascogne, et s'installe progressivement le long d'un axe Gibraltar-Lyon. Cette situation est alors typique de pluies « méditerranéennes » qui s'abattent essentiellement le 30. A partir de cette date, des débits très importants concernent le bassin amont de la Loire qui, en se propageant, vont amplifier les débits déjà très haut sur le bas bassin de la Loire, du fait de l'épisode « océanique ».

B.6.4.3.2 Analyse des crues de la période 1937-1996

L'analyse de la concomitance de crue a déjà fait l'objet d'un rapport d'étude, réalisé par le Laboratoire d'Hydrologie Mathématique de Montpellier en 1982, qui a travaillé sur la période 1937-1975 (et en incluant la crue de février 1977).

La méthode a consisté à analyser les crues maximales annuelles sur chacune des rivières et à calculer les fréquences des événements concomitants. Ce degré de concomitance peut être apprécié en représentant sur un même graphique les crues maximales annuelles sur chacune des rivières, accompagnées du débit correspondant sur l'autre rivière : si les points s'organisent, sur un graphique en fréquence, autour de la première bissectrice, on conclura à la simultanéité.

Le graphique élaboré a été complété par la vingtaine d'années 1977-1997, comprenant naturellement l'épisode de 1995 (cf figure B.6.4).

Le tableau ci-dessous récapitule la répartition de ces crues sur la période complète 1937-1996 (60 ans) en notant que, pour les crues de la Maine, les débits correspondants sur la Loire amont sont répertoriés la veille, et que, pour les crues de la Loire amont, les débits correspondants sur la Maine sont répertoriés le lendemain.

Nombre de fois où sur cette période, le débit maximum sur la Maine correspond à un temps de retour T donné			Répartition des débits maxima correspondants sur la Loire (et temps de retour T')					
			T' ≤ 2	2 ≤ T' < 5	5 ≤ T' < 10	10 ≤ T' < 20	20 ≤ T' < 50	T' ≥ 50
T ≤ 2	origine : crue de la Maine	31 fois	27 fois	4 fois	-	-	-	-
	origine : crue de la Loire	47 fois	20 fois	20 fois	3 fois	2 fois	1 fois	1 fois
2 < T ≤ 5	origine : crue de la Maine	16 fois	10 fois	4 fois	1 fois	1 fois	-	-
	origine : crue de la Loire	10 fois	2 fois	2 fois	-	1 fois	3 fois	2 fois
5 < T ≤ 10	origine : crue de la Maine	7 fois	5 fois	2 fois	-	-	-	-
	origine : crue de la Loire	2 fois	-	-	2 fois	-	-	-
10 < T ≤ 20	origine : crue de la Maine	3 fois	1 fois	1 fois	1 fois	-	-	-
	origine : crue de la Loire	0 fois	-	-	-	-	-	-
20 < T ≤ 50	origine : crue de la Maine	1 fois	-	-	1 fois	-	-	-
	origine : crue de la Loire	1 fois	-	-	1 fois	-	-	-
T > 50	origine : crue de la Maine	2 fois	1 fois	1 fois	-	-	-	-
	origine : crue de la Loire	0 fois	-	-	-	-	-	-

On constate ainsi que, pour des crues de la Loire amont des temps de retour T' supérieur ou égal à 20 ans, ces crues ont correspondu deux fois à des crues sur la Maine de temps de retour T inférieur à 2 ans, et 5 fois à des crues de la Maine de temps de retour T compris entre 2 et 5 ans.

Inversement, pour des crues de la Maine de temps de retour T supérieur ou égal à 20 ans, ces crues ont correspondu deux fois à une crue de la Loire de temps de retour inférieur à 5 ans, et 2 fois à une crue de la Loire de temps de retour T' compris entre 5 et 10 ans.

B.6.4.3.3 Analyse fréquentielle des crues par comparaison avec la Loire à Montjean

Les ajustements sur les débits moyens journaliers maxima annuels de la Maine à Angers, et de la Loire amont (Saumur) et aval (Montjean, *figures B.6.5 à B.6.7*) permettent l'interprétation des résultats suivants :

Si l'on somme, à fréquence égale, les débits à Angers (Maine) et à Saumur (Loire amont), le graphique correspondant se présente largement au-dessus du graphique représentant l'ajustement des débits à Montjean (station pour laquelle l'estimation de la crue centennale est comprise entre 6 500 et 7 000 m³/s). Pour passer de l'un à l'autre, au-delà de la crue décennale, il conviendrait de procéder à un abattement sur les débits à Montjean de l'ordre de 20 à 25 %, du fait de la non simultanéité des crues (*cf graphique de la figure B.6.8*).

En tout état de cause, la probabilité de la concordance d'une crue de type 1995 sur la Maine (1 800 m³/s, valeur quasiment centennale) avec une crue centennale sur la Loire amont (débit de 6 400 m³/s) conduisant à un débit total à Montjean de 8 200 m³/s, est de l'ordre de 1 à 2.10⁻³ (correspondant à un temps de retour de l'ordre de 500 ans au moins).

B.6.4.3.4 Estimation de la cote pouvant être atteinte à Angers

Les niveaux de la Loire au pont de Verdun à Angers sont, en crue, largement influencés par le débit de la Loire en aval de sa confluence avec la Maine. C'est d'une part ce que traduit la forme des courbes d'ajustements statistiques des cotes maximales annuelles à Angers (*cf figure B.6.9*) et des débits maxima annuels à Montjean, et d'autre part ce que traduisent, crue par crue, les évolutions comparées du niveau à Angers et du débit à Montjean représentées en *figures B.6.10 à B.6.12* et en *annexe B.18*. Les formes d'évolution sont tout à fait semblables, ce qui confirme l'effet de remous provoqué par une cote à Montjean représentative de la somme des débits Maine+Loire.

La *figure B.6.13* représente les courbes mettant en relation la cote à Angers et ce débit à Montjean, pour les crues importantes des années 1955 à 1995. Les courbes évoluent dans le temps pratiquement parallèlement à elles-mêmes, dans un faisceau de l'ordre de 60 cm de large.

L'estimation de la cote qui pourrait être atteinte à Angers dans l'hypothèse de la concomitance de crues centennales à la fois sur la Loire et la Maine, correspond à un débit sur l'ensemble Loire+Maine de l'ordre de 8 200 m³/s (6 400 m³/s sur la Loire amont + 1 800 m³/s sur la Maine).

En extrapolant selon une courbe moyenne, le faisceau de courbes R(H) entre le débit à Montjean et la cote à Angers (pont de Verdun), on aboutit à une estimation de cote maximale de l'ordre de 7,50 m.

B.7. EPISODES DE BASSES EAUX ET D'ETIAGE

B.7.1 Recensement des épisodes de basses eaux

L'analyse de l'évolution des débits moyens journaliers au droit des stations représentatives des points nodaux définis dans le cadre du S.D.A.G.E. conduit au recensement des périodes critiques suivantes (année 1976 et années récentes) :

Bassin	Station	Valeur critique (m ³ /s)	Périodes (récentes) où les débits sont inférieurs
Mayenne amont	St Fraimbault	DSA = 1.5	Août 89 Juillet et août 90 Août et septembre 96
Mayenne aval Oudon	Chambellay Port aux Anglais	DSA = 1.0 DSA = 0.02	Août et septembre 96 Août à octobre 90 Août à septembre 91 Juin 92 Août 92 Août et septembre 93 Août à octobre 96
Sarthe amont	Montreuil	QMNA5 = 2.0	Août et septembre 90 Août et septembre 91 Juillet et août 92 Août 96
Huisne	La Pécardière	QMNA5 = 5.1	Août et septembre 90 Août 91 Août 93 Août et septembre 96 Août 97
Sarthe aval	Beffes	QMNA5 = 8.8	Août 91 Juillet et août 92 Août 96
Conie	Vallainville ⁽⁴⁾	DSA = 0.50	Août à septembre 75 Juin à octobre 76 Etés récents
Braye	Confluence	QMNA5 = 1.0	Juillet à octobre 89 juillet à septembre 90 juillet à octobre 91 mai à septembre 92 juin à octobre 96
Loir aval	Durtal	DOE = 7.3	Août et septembre 90 Août 91 Juillet et août 92 Août 93 Août 96

⁴ Station arrêtée à partir de 1986, puis installation d'une nouvelle station au Pont de Blenet (point nodal Conie), à partir d'août 1996.

B.7.2 Analyse de l'évolution des débits au droit des points nodaux lors des périodes de basses eaux

Les graphiques de l'annexe B.18 (exemples en figures B.7.1 et B.7.2) représentent l'évolution des débits moyens hebdomadaires en fonction de la pluviométrie sur 7 jours consécutifs, sur la période du 1er mai au 31 octobre des années 1989 à 1996.

Les valeurs hebdomadaires permettent de lisser la très grande variabilité des débits moyens journaliers en basses eaux.

Ces graphiques sont présentés sur un support semi-log (débits en logarithme décimal, semaines en valeurs arithmétiques), de façon à pouvoir plus aisément représenter l'évolution des courbes de tarissement.

Sur les différents bassins, on peut ainsi mettre en évidence les périodes de décroissance régulière de ces débits, ainsi que leurs valeurs minimales observées (soulignées si ces valeurs atteignent les valeurs des DSA).

Bassin de la Mayenne

Année	Couterne	St Fraimbault (DSA = 1,5 m ³ /s)	Chambellay (DSA = 1,0 m ³ /s)
1989	Avril à fin juin Mi-juillet au 20 septembre Débit minimum : 0,2 m ³ /s	Avril à fin juin Mi-juillet au 20 août <u>Débit minimum : 1,5 m³/s</u>	Avril à fin juin Mi-juillet au fin août Débit minimum : 2,5 m ³ /s
1990	Fin juin au 15 août Septembre Débit minimum : 0,1 m ³ /s	Fin juin à début août Septembre <u>Débit minimum : 0,9 m³/s</u>	Fin juin à mi-août Débit minimum : 1,9 m ³ /s
1991	Mai Fin juin à fin août Débit minimum : 0,15 m ³ /s	Mai Fin juin à fin avril <u>Débit minimum : 0,95 m³/s</u>	Mois de mai Début juillet à fin août Débit minimum : 4,6 m ³ /s
1992	Juillet Débit minimum : 0,19 m ³ /s	Juillet Débit minimum : 1,8 m ³ /s	-
1993	Juillet et août Débit minimum : 2 m ³ /s	Juillet et août Débit minimum : 3 m ³ /s	Début juillet à début septembre Débit minimum : 4,7 m ³ /s
1994		-	
1995	Mi-juillet à début septembre Débit minimum : 0,6 m ³ /s	Mi-juillet à début septembre Débit minimum : 2,8 m ³ /s	Mi-juillet à début septembre Débit minimum : 2,5 m ³ /s
1996	Fin mai à mi-septembre Débit minimum : 0,1 m ³ /s	Fin mai à fin août <u>Débit minimum : 1,2 m³/s</u>	Mi-mai à mi-septembre Débit minimum : 1,2 m ³ /s

Bassin de l'Oudon

Année	Chatelais-Marcillé (débit critique : 0,5 m ³ /s)	Port aux Anglais (DSA : 0,02 m ³ /s)
1989	Mi-mai à mi-juin Mi-juillet à début septembre Débit minimum : 0,01 m ³ /s	Avril à fin juin Débit minimum : 0,1 m ³ /s (puis 0 à partir de fin juillet)
1990	Juillet à mi-août (0 à partir de mi-août)	Juillet (puis 0 à partir d'août)
1991	Mai Fin juin à fin août Débit minimum : 0,02 m ³ /s	Mai Fin juin à fin juillet Débit minimum : 0,07 m ³ /s (puis 0,01 à partir d'août)
1992	Juin Mi-juillet à août Débit minimum : 0,001 m ³ /s	Juin Débit minimum : 0,01 m ³ /s (et idem en août)
1993	Juillet et août Débit minimum : 0,003 m ³ /s	Juillet et août Débit minimum : 0,01 m ³ /s
1994	Juin à mi-juillet Débit minimum : 0,3 m ³ /s	Fin mai à mi-juillet 2ème quinzaine d'août Débit minimum 0,16 m ³ /s
1995	Mi-juillet à début septembre Débit minimum : 0,02 m ³ /s	Mi-juillet à septembre Débit minimum : 0,03 m ³ /s
1996	Mi-juillet à fin septembre Débit minimum : 0,004 m ³ /s	Mi-juillet à début août Débit minimum : 0,01 m ³ /s

Bassin de la Sarthe

Année	La Sarthe à Moulin du Désert (débit critique à Alençon : 0,5 m ³ /s)	La Sarthe à Montreuil QMNA5 = 2	l'Huisne à la Pécardière QMNA5 = 5,1	La Sarthe à Beffes (Débit critique : 9 m ³ /s)
1989	Mi-mai à début octobre Débit minimum : 0,7 m ³ /s		Mi-mai à fin juin mi-juillet à mi mai-août Débit minimum : 5,7 m ³ /s	Mi-mai à mi-août Débit minimum : 8,5 m ³ /s
1990	Débit juillet à mi-août Débit minimum : 0,5 m ³ /s	Début juillet à mi-août Débit minimum : 1,1 m ³ /s	Mi-juillet à mi-août Débit minimum : 4,3 m ³ /s	Mi-juillet à début août Débit minimum : 7,5 m ³ /s
1991	Fin juin à mi-septembre Débit minimum : 0,5 m ³ /s	Fin juin à début septembre Débit minimum : 0,9 m ³ /s	Fin juin à fin août Débit minimum = 4,3 m ³ /s	Juillet à fin août Débit minimum : 8 m ³ /s
1992	Août Débit minimum : 0,5 m ³ /s	Mi-juillet à début août Débit minimum : 0,6 m ³ /s	2ème quinzaine de juillet Débit minimum : 3,5 m ³ /s	Juin à mi-juillet Fin juillet à début août Débit minimum : 4,6 m ³ /s
1993	Début juillet à fin août Débit minimum : 0,7 m ³ /s	Fin juin à début septembre Débit minimum : 1,4 m ³ /s	Fin juin à début septembre Débit minimum : 4 m ³ /s	Juillet et août Débit minimum : 7 m ³ /s
1994	-			
1995	Août Débit minimum : 1 m ³ /s	Juillet Débit minimum : 2,8 m ³ /s	Mi-juin à fin août Débit minimum : 7 m ³ /s	Fin mai-août Débit minimum : 12 m ³ /s
1996	Juillet et fin août Débit minimum : 0,5 m ³ /s	Juillet Débit minimum : 1,4 m ³ /s	Juin Débit minimum : 4,72 m ³ /s	Juillet-août Débit minimum : 6,5 m ³ /s

Bassin du Loir

Année	La Braye QMNA5 - 1	Le Loir à Durtal (DSA : 7,3 m ³ /s)
1989		Mai - Juin <u>Débit minimum : 7 m³/s</u>
1990		Juillet <u>Débit minimum : 5 m³/s</u>
1991		Juillet <u>Débit minimum : 6 m³/s</u>
1992	Mai à début juin <u>Débit minimum : 0,7 m³/s</u>	Juillet <u>Débit minimum : 4 m³/s</u>
1993		Fin juin à fin août <u>Débit minimum : 5,2 m³/s</u>
1994	Début juin à mi-juillet <u>Débit minimum : 0,9 m³/s</u>	Mi juin à mi-juillet Débit minimum : 10 m ³ /s
1995	Juin à mi-août <u>Débit minimum : 0,9 m³/s</u>	Mi juillet à fin août Débit minimum : 10 m ³ /s
1996	Juin <u>Débit minimum : 0,6 m³/s</u>	Début juillet à début août <u>Débit minimum : 5,7 m³/s</u>

B.7.3 Conséquences des épisodes de basses eaux de 1996 à 1997

B.7.3.1 Dispositions réglementaires prises à l'occasion des épisodes de basses eaux des étés 1996 et 1997

Les *tableaux de la figure 7.3* présentent l'ensemble des dispositions prises sur les cours d'eau et la partie de la nappe de Beauce du bassin de la Maine lors des épisodes de basses eaux des étés 1996 et 1997.

On peut noter que les secteurs particulièrement touchés ont été :

- En 1996

- L'ensemble du chevelu du Loir amont et de ses affluents dans le département de l'Eure-et-Loir
- Les petits cours d'eau dans le Loir-et-Cher, hormis le Loir, le Boulon et la Braye
- L'Oudon sur l'ensemble de ses cours d'eau dans les départements de la Mayenne et du Maine-et-Loire
- La Mayenne et ses affluents dans le département de la Mayenne
- La Sarthe en amont du Mans (quelques restrictions).

- En 1997

- La Foussarde, le Loir amont, l'Ozanne aval et l'Yerre amont, puis extension (à compter du 06 octobre) à l'ensemble des cours d'eau du département de l'Eure-et-Loir
- L'Eggonne, l'Aigre, le Gratteloup et la Cendrine dans le département du Loir-et-Cher
- Le sous-bassin de la Sarthe amont du Mans, Deux Fonds, Vègre, Erve.

TOME 1

C. PREVISION

C.1. DESCRIPTION DE L'ORGANISATION ACTUELLE DE L'ANNONCE DE CRUE	2
C.1.1 SERVICE D'ANNONCE DE CRUE DE LA MAYENNE AMONT (SAC DE LAVAL)	2
C.1.2 SERVICE D'ANNONCE DE CRUE DE LA SARTHE AMONT ET LOIR MOYEN (SAC DU MANS)	4
C.1.3 SERVICE D'ANNONCE DE CRUE DU LOIR AMONT	6
C.1.4 SERVICE D'ANNONCE DE CRUE DE LA MAINE (SAC D'ANGERS)	8
C.1.5 SERVICE D'ANNONCE DE CRUE DE LA LOIRE MOYENNE ET AVAL (SAC D'ORLEANS).....	9
C.1.6 DIFFICULTES RENCONTREES PAR LES COMMUNES A L'OCCASION DE LA CRUE DE 1995	9
C.1.7 ANALYSE DES SERVICES D'ANNONCE DE CRUE.....	12
C.1.7.1 SAC de Laval.....	12
C.1.7.2 SAC du Mans.....	13
C.1.7.3 CAC de Bonneval.....	13
C.1.7.4 SAC d'Angers	14
C.2. ELABORATION DE SCHEMAS SIMPLES DE PREVISION DES CRUES	15
C.3. ELABORATION DE SCHEMAS SIMPLES DE PREVISION DES ETIAGES	15
C.3.1 PREVISION D'ETIAGE SUR LE BASSIN DE LA MAYENNE	16
C.3.2 PREVISION D'ETIAGE SUR LE BASSIN DE L' OUDON.....	16
C.3.3 PREVISION D'ETIAGE SUR LE BASSIN DE LA SARTHE	17
C.3.4 PREVISION D'ETIAGE SUR LE BASSIN DU LOIR.....	18
C.4. METHODOLOGIE EN VUE DE LA REALISATION DE MODELES DE DEUXIEME GENERATION	19
C.5. UTILISATION OPERATIONNELLE DES IMAGES RADAR	20
C.6. PRECONISATIONS POUR LA DEFINITION D'UN RESEAU OPERATIONNEL DE GESTION DES CRISES HYDROLOGIQUES	22
C.6.1 PRECONISATIONS TECHNIQUES.....	22
C.6.1.1 Définition du réseau de mesures pour l'annonce des crises hydrologiques	22
C.6.1.1.1 Annonce de crue.....	22
C.6.1.1.2 Prévision des étiages	24
C.6.1.1.3 En résumé.....	24
C.6.1.2 Mise en oeuvre du réseau.....	25
C.6.1.3 Maintenance du réseau	26
C.6.1.4 Répartition des stations par département	26
C.6.1.5 Evaluation du coût du réseau et proposition d'une clé de financement	28
C.6.2 PRECONISATIONS POUR UNE NOUVELLE ORGANISATION	30
C.6.2.1 Seuils de vigilance, pré-alerte et alerte.....	30
C.6.2.2 Fonctionnement de l'annonce de crue sur le bassin de la Maine	31

C.1. DESCRIPTION DE L'ORGANISATION ACTUELLE DE L'ANNONCE DE CRUE

Les dispositions générales de transmission des avis de déclenchement des états de vigilance, pré-alerte et alerte sont décrits ci-après. Ces dispositions peuvent évoluer dans leur forme d'un département à l'autre.

a) Etat de vigilance

Lorsque les hauteurs d'eau à une échelle d'annonce de crue dépassent le seuil de vigilance (ou pour certains services, si des seuils pluviométriques sont atteints), le SAC est mis en état de Vigilance. Il informe le Préfet et le Centre Départemental Météorologique qui lui fera parvenir des bulletins météorologiques.

b) Etats de pré-alerte et d'alerte

Lorsque les hauteurs d'eau à une échelle d'annonce de crue dépassent ou risquent de dépasser le seuil de pré-alerte (ou d'alerte), le SAC propose au(x) Préfet(s) de mettre en pré-alerte (ou d'alerte) les services chargés de la transmission des avis de crue. Lorsque le Préfet a pris la décision de mise en pré-alerte (ou d'alerte), il transmet sa décision aux Sous-Préfets et aux services concernés qui mettent en état de pré-alerte (ou d'alerte) leurs agents concernés. Le message de pré-alerte (ou d'alerte) est ensuite transmis aux maires concernés qui prennent toutes les mesures de sauvegarde nécessaire (mesures de protection des personnes et des biens). Ensuite, les maires doivent se tenir régulièrement informés en interrogeant le répondeur de la Préfecture.

Le SAC tient la Préfecture informée du déroulement de la crue, celle-ci met à jour régulièrement son répondeur.

Les renseignements principaux et le mode de fonctionnement des quatre SAC, décrits par le responsable de l'Annonce de Crue à l'occasion d'entretiens avec le chargé d'étude, sont récapitulés ci-après.

La figure B.3.6 présente l'organisation de l'annonce de crue sur le bassin de la Maine.

C.1.1 Service d'Annonce de Crue de la Mayenne amont (SAC de Laval)

Le Service d'Annonce de Crue de la Mayenne amont dépend de la DDE de la Mayenne. Il assure l'annonce de crue (pour le département de la Mayenne) sur la Mayenne dans le département de la Mayenne, et sur l'Ernée.

Organisation

6 échelles d'annonce de crue concernent le bassin versant supérieur de la Mayenne (hors Oudon) dans le département de la Mayenne.

Ces échelles sont lues par des observateurs, correspondants locaux du SAC :

Echelles	Vigilance	Pré-alerte	Alerte
Pré en Pail - Pont de la Boutrouillère (La Mayenne)	1,60 m	1,80 m	2,20 m
Ambrières - Pont d'Ambloux (La Varenne)	2,50 m	2,80 m	3,30 m
Mayenne (La Mayenne)			
hausses levées	1,40 m		
hausses baissées	1,00 m	1,60 m	1,90 m
Vaugeois - Pont d'Andouillé (L'Ernée)	2,00 m	2,40 m	2,70 m
Laval (La Mayenne)	1,00 m	1,20 m	1,40 m
Chateau Gontier (La Mayenne)	1,10 m	1,40 m	1,60 m

3 stations de jaugeage sont consultées directement sur Minitel :

- St Fraimbault (La Mayenne),
- Bonne (La Mayenne),
- Chateau Gontier (La Mayenne).

Le SAC de Laval reçoit un bulletin d'alerte pluviométrique (BAP) lorsque les seuils de 20 mm en 24 h ou 30 mm en 48 h sont dépassés sur le bassin versant amont. Ce mode de fonctionnement est récent et les seuils de déclenchement sont en cours de mise au point par les Centres Météorologiques Inter Régionaux (CMIR) et peuvent évoluer.

Le SAC consulte un serveur Minitel spécialisé de METEO FRANCE (MF) qui est destiné aux services d'annonces de crue. Trois stations pluviométriques peuvent être consultées sur ce serveur : Pré en Pail, Ernée et Laval.

Moyens

Une seule personne est chargée de l'annonce de crue dans le département de la Mayenne.

Points sensibles

Laval : secteur industriel, rues
Chateau Gontier : maternité, piscine, ruelles.

Méthodes

- Consultation des données pluviométriques sur le Minitel et demande aux observateurs de lecture des échelles (40 % des cas),
- Les observateurs appellent pour donner les informations (60 % des cas).
- Pendant la saison touristique (du 01/04 au 01/11) les éclusiers lisent les échelles amont et aval tous les jours, matin et soir.

Aucun modèle de prévision n'est utilisé par le Service d'Annonce de Crue de Laval.

Remarques

Le SAC de Laval est chargé :

- d'informer le SAC d'Angers lorsqu'il constate la pré-alerte ou alerte à certaines stations,
- de fournir au SAC d'Angers des éléments sur le déroulement de la crue et sur les prévisions aux stations en amont du département du Maine-et-Loire.

C.1.2 Service d'Annonce de Crue de la Sarthe amont et Loir moyen (SAC du Mans)

Le Service d'Annonce de Crue de la Sarthe amont et Loir moyen dépend de la DDE de la Sarthe. Il assure l'annonce de crue (pour le département de la Sarthe, de l'Orne, de l'Eure-et-Loir et du Maine-et-Loire) sur l'Huisne et la Sarthe en amont du département du Maine-et-Loire, sur le Loir depuis son entrée dans le département de la Sarthe jusqu'à Seiches.

Organisation

15 échelles d'annonce de crue sont suivies par le SAC du Mans sur les bassins versants de la Sarthe, de l'Huisne et du Loir.

Ces échelles sont lues par des observateurs (correspondants locaux du SAC) à leur propre initiative ou à l'initiative du SAC du Mans.

Echelles	Vigilance	Pré-alerte	Alerte
Rivière "La Sarthe"			
Le Mêle	1,45 m	1,65 m	1,85 m
Alençon	0,65 m	1,05 m	1,45 m
Beaumont	0,50 m	0,70 m	0,80 m
Montbizot (Orne Saosnoise)	0,20 m	0,30 m	0,40 m
Le Mans (Ecluse des Planches)	0,80 m	1,30 m	1,60 m
La Suze	1,20 m	1,40 m	1,60 m
Sablé	1,20 m	1,50 m	1,70 m

Echelles	Vigilance	Pré-alerte	Alerte
Rivière "L'Huisne"			
Remalard	1,50 m	1,70 m	1,90 m
Nogent le Rotrou	1,10 m	1,25 m	1,35 m
Le Theil	3,00 m (*)	3,30 m	3,50 m (*)
La Ferté Bernard	0,30 m	0,60 m	0,80 m
Connerré	1,30 m	1,50 m	1,70 m
Le Mans (Pontlieue)	0,80 m	1,40 m	1,70 m
Rivière "Le Loir"			
La Chartre	1,00 m	1,10 m	1,20 m
Le Lude	1,10 m	1,30 m	1,40 m
La Flèche	0,90 m	1,50 m	1,65 m

(*) Nouvelles cotes proposées le 8 novembre 1994

L'ensemble des échelles citées dans le tableau précédent sont utilisées pour l'annonce de crue dans le département de la Sarthe ainsi que la station de Vendôme sur le Loir (information fournie par la subdivision de Bonneval de la DDE 28 ou la subdivision de Vendôme de la DDE 41).

Les échelles de Le Mêle, Alençon, Rémalard et Le Theil sont utilisées pour l'annonce de crue dans le département de l'Orne.

Les échelles de Sablé et La Flèche sont utilisées pour l'annonce de crue dans le département du Maine-et-Loire.

3 stations de jaugeage sont consultées directement sur Minitel :

- La Caboché (La Braye),
- Le Petit Brives (La Veuve),
- Asnières (La Vègre).

Le SAC reçoit des bulletins d'alerte météorologique (BAP) par Météo France Ile de France et Météo France Rennes lorsque les seuils de 20 mm en 24 h en hiver (du 01/09 au 31/03) et 30 mm en été, sont dépassés.

6 stations pluviométriques sont consultées par le SAC grâce au serveur de METEO FRANCE : Alençon, Le Mans, Belleme, Théligny, Avrillé, Baugé. Les informations de ces stations ne sont pas toutes mises à disposition simultanément par MF ainsi, Belleme et Théligny ne sont pas disponibles en même temps, Baugé et Avrillé sont rarement disponibles.

Le SAC du Mans est chargé :

- d'informer le SAC d'Angers lorsqu'il met en pré-alerte ou alerte certaines stations,
- de fournir au SAC d'Angers des éléments sur le déroulement des crues de la Sarthe et du Loir et sur ses prévisions aux stations en amont du Maine-et-Loire.

Moyens

3 personnes sont concernées par l'annonce de crue dans le département de la Sarthe, mais seulement 2 personnes réalisent les permanences les soirs et les week-end.

Points sensibles

Le Mans, Sablé/Sarthe, La Ferté Bernard, Nogent le Rotrou, La Suze, La Flèche, Alençon, Fresnay, Beaumont

Méthodes

Pour le Loir : utilisation des abaques mis en place dans le cadre de l'étude Hydratec (1986) sur le Loir, et de documents internes établis par le SAC.

Pour la Sarthe : utilisation de documents internes établis par le SAC.

Remarques

Il n'y a pas d'astreinte à la DDE du Mans, l'annonce de crue le soir et les week-end se fait sur la base du volontariat des agents qui se sont organisés eux-mêmes pour assurer de fait une permanence tous les week-end (de septembre à avril) et pour pouvoir être joints individuellement par un système de messagerie.

C.1.3 Service d'Annonce de Crue du Loir amont

Le Service d'Annonce de Crue du Loir amont dépend de la DDE de l'Eure et Loir. Il assure l'annonce de crue (pour les départements de l'Eure-et-Loir et du Loir-et-Cher) sur le Loir en amont du département de la Sarthe. Il dispose d'un Centre d'Annonce de Crue à Bonneval (CAC de Bonneval).

Organisation

6 échelles d'annonce de crue sont lues par des observateurs qui dépendent de la DDE de l'Eure-et-Loir :

Echelles	Vigilance	Pré-alerte	Alerte
Brou (L'Ozanne)	0,30 m		
Saumeray (Le Loir)	0,30 m		
Bonneval (Le Loir)	0,30 m	0,50 m	0,50 m
Chateaudun (Le Loir)	0,80 m	1,30 m	1,30 m
Vendôme (Le Loir)	1,00 m	1,50 m	1,50 m

La rapidité de montée des crues sur le bassin ne permet pas de distinguer des seuils différents pour la pré-alerte et pour l'alerte.

Les échelles de Brou, Saumeray, Bonneval et Chateaudun sont utilisées pour l'annonce de crue dans le département de l'Eure-et-Loir.

Les échelles de Bonneval, Chateaudun, Cloyes et Vendôme sont utilisées pour l'annonce de crue dans le département du Loir-et-Cher.

3 stations pluviométriques sont relevées quotidiennement par des observateurs :

- Brou,
- Illiers,
- Authon du Perche.

2 stations limnimétriques sont consultées sur Minitel :

- Alluyes (Le Loir),
- Trizay (L'Ozanne)

Quand le seuil de 15 mm en 24 heures entre le 1er Octobre et le 30 Avril ou lors d'un phénomène pluviométrique exceptionnel en dehors de cette période est enregistré à un des postes pluviométriques, l'observateur appelle le CAC de Bonneval. Le CAC peut également appeler les observateurs.

Lorsqu'un message d'alerte de crue est lancé, le CAC avertit Météo France qui envoie alors 2 bulletins par jour.

Moyens

L'annonce de crue est assurée par 3 agents de la subdivision de Bonneval sur la base du volontariat. Elle s'appuie sur les agents d'astreinte pour le service hivernal (du 15/11 au 15/03), qui peuvent également être sollicités pour effectuer des lectures aux échelles.

Points sensibles

Vendôme RN 10
Cloyes.

C.1.4 Service d'Annonce de Crue de la Maine (SAC d'Angers)

Le Service Annonce de Crue de la Maine dépend de la DDE du Maine-et-Loire. Il assure l'annonce des crues (pour le département du Maine-et-Loire) sur la Maine, la Mayenne, la Sarthe et l'Oudon dans le département du Maine-et-Loire, sur le Loir de Seiches à la confluence avec la Sarthe.

Organisation

3 échelles d'annonce de crue sont lues par des observateurs.

Echelles	Vigilance	Pré-alerte	Alerte
Segré (L'Oudon)	0,40 m		0,50 m
Chambellay (La Mayenne)	0,80 m		1,00 m
Angers (La Maine)			
du 16/05 au 31/10	1,30 m		1,50 m
du 01/11 au 15/05	3,50 m		4,00 m

8 stations de jaugeage sont consultées sur Minitel :

- Cossé le Vivien (L'Oudon amont) équipée d'un CERVEIL-FAX qui envoie une télécopie au SAC 49 sur dépassement de seuil,
- Segré (L'Oudon) dans le réseau Cristal,
- Chambellay (La Mayenne) dans le réseau Cristal,
- Durtal (Le Loir) dans le réseau Cristal,
- Beffes (la Sarthe) dans le réseau Cristal,
- Saumur (la Loire) dans le réseau Cristal,
- Pont de Cé (la Loire) dans le réseau Cristal,
- Montjean (la Loire) dans le réseau Cristal.

Il existe un protocole entre le SAC d'Angers et METEO FRANCE. Quand les sols sont saturés sur le bassin versant de l'Oudon, Météo France déclenche un BAP auprès de la Préfecture et du SAC d'Angers, à partir d'un seuil de 30 mm de précipitation observé ou prévu sur 48 heures. La Préfecture téléphone au cadre DDE de permanence pendant les week-ends et jours fériés.

Le SAC consulte le serveur de METEO FRANCE qui donne accès à des lames d'eaux moyennes précipitées ou prévues sur les bassins versants et des hauteurs précipitées sur 24 h à des postes pluviométriques : Martigné Fer Chaud, Candé, Laval.

Moyens

L'annonce de crue est assurée par le chef de la subdivision navigation et son adjoint en liaison avec le chef de Service. Il n'y a pas d'astreinte.

Points sensibles

L'Oudon.

Méthodes

Utilisation de documents internes établis par le SAC d'Angers.

Remarques

Pas d'annonce de crue sur le bassin versant amont de l'Oudon malgré un besoin pour CRAON.

Pas de personnel d'astreinte au SAC d'Angers. En dehors des heures ouvrables, et pendant les week-ends et jours fériés, l'annonce de crues se fait sur la base du volontariat.

Les prévisions sur la Maine sont délicates du fait de l'influence de la Loire.

Le SAC d'Angers est destinataire de messages de préalerte ou d'alerte proposés par les SAC de Laval, du Mans, d'Orléans ainsi que d'informations sur le déroulement des crues dans les parties amont des bassins.

C.1.5 Service d'Annonce de Crue de la Loire moyenne et aval (SAC d'Orléans)

Le Service d'Annonce de Crue de la Loire moyenne et aval dépend de la DDE du Loiret. Il assure l'annonce des crues sur la Loire de son entrée dans le Loiret jusqu'à Nantes (pont Anne de Bretagne).

Il est concerné par l'Annonce de Crue sur la Maine car il transmet des bulletins d'alerte et pré-alerte au SAC d'Angers pour les stations de Saumur, Pont de Cé et Montjean sur la Loire. De plus, il collecte les informations des stations CRISTAL situées sur le bassin de la Maine (Segré (l'Oudon), Chambellay (la Mayenne), Beffes (la Sarthe), Durtal (le Loir)) et demande les prévisions du SAC d'Angers pour prendre en compte les débits de la Maine pour effectuer les prévisions de la Loire à Montjean.

Méthodes

Les prévisions d'une station aval sont calculées, sur le bassin de la Loire en amont de la confluence avec la Maine, d'après le débit amont d'une station donnée en tenant compte du temps de propagation et des apports des affluents.

Le prévisionniste utilise, pour effectuer ces calculs, les courbes de tarage, hauteur/débit de chaque station d'annonce.

C.1.6 Difficultés rencontrées par les communes à l'occasion de la crue de 1995

L'enquête réalisée auprès des communes a permis de mettre en évidence leurs besoins exprimés dans le domaine de l'annonce de crue et les problèmes identifiés (notamment lors de la crue de 1995).

a) Sur la Mayenne

Occupation des sols à dominante agricole.

Secteur ou villes sensibles : Mayenne (habitations)
Laval (usines importantes à l'aval de la ville)
Chateau-Gontier (habitations).

Ces agglomérations souhaitent disposer d'informations sur l'évolution des crues.

Ils signalent que les crues sont rapides. Ils insistent surtout sur la précision des prévisions.

b) Sur l'Oudon

Secteurs sensibles : Segré et Craon avec de nombreuses habitations et commerces inondés en 1995, 1996 et 1997.

Pas d'annonce de crue actuellement : forte demande.

c) Sur la Sarthe

⇒ Sarthe amont (jusqu'à Mieuxce)

Alençon est très sensible :

- . 100 habitations touchées en 1995
- . Usine Moulinex (3 000 salariés) en bordure de rivière
- . Hôpital

Débit de début de dommages : 5 ans.

A Alençon, les services techniques jugent les prévisions tardives. Ils souhaiteraient avoir des informations sur l'évolution de la crue pour rassurer les habitants des quartiers sensibles.

En dehors de l'agglomération d'Alençon, 2 villages sont concernés : Le Mêle (710 hab.), Mieuxce (571 hab.) sinon il s'agit essentiellement de terres agricoles et de prairies.

⇒ Haute Sarthe Mancelle

La Sarthe traverse un secteur sans enjeu majeur, dans une vallée étroite qui s'élargit lorsque l'on se rapproche du Mans.

⇒ Le Mans et Sarthe aval

L'agglomération du Mans et les communes voisines sont très sensibles aux inondations. Les dommages commencent à partir de la crue décennale et 1 500 habitations ont été touchées en 1995.

La Sarthe en aval du Mans coule dans une vallée urbanisée avec de nombreuses installations vulnérables aux inondations (usine Valéo, stations d'épuration et de pompage, habitations).

Sablé/s/Sarthe est particulièrement vulnérable aux inondations : 350 habitations touchées en 1995.

Globalement les villes du Mans et de Sablé/Sarthe sont satisfaites de l'annonce de crues : une anticipation supplémentaire de quelques heures de plus sur les prévisions serait appréciée.

⇒ La Sarthe dans le Maine et Loire

Les enjeux liés aux inondations sont faibles, d'où peu de demande d'amélioration de l'annonce de crue.

d) Sur l'Huisne

Les zones sensibles correspondent aux grandes zones urbanisées :

- Rémalard
- Nogent-le-Rotrou
- La Ferté ("Venise Verte")
- Yvré l'Evêque
- et naturellement Le Mans.

En dehors de ces agglomérations, les enjeux sont essentiellement agricoles.

e) Sur le Loir

⇒ Bonneval, Chateaudun, Cloyes/Loir

. Les prévisions sont tardives et manquent de précision.

Les dégâts concernent essentiellement des habitations et commerces.

Le secteur n'est pas particulièrement sensible (période de retour du débit de début de dommages : 20 ans)

. Deux villages ont été cités ; Alluyes (577 habitants) et Saumeray (333 habitants) ; comme sensibles aux inondations.

. Affluents importants (Yerre, Eggonne, Ozanne, Foussarde) qui rendent les prévisions difficiles.

En conclusion, des prévisions plus précises et plus rapides sont souhaitées.

⇒ Vendôme, Montoire, La Flèche

. Globalement, ces trois communes souhaiteraient disposer d'informations sur l'évolution de la crue, et notamment voir redéfinir les niveaux de vigilance, préalerte et alerte (plus bas et plus espacés)

. Prévision à 24 h, voire 48 h souhaitée.

La ville de la Flèche est particulièrement sensible aux inondations (500 habitations inondées en 1995). Vendôme subit également des dommages à partir du débit de période de retour 5 ans.

⇒ Durtal

Seul le quartier St Léonard est concerné par les inondations à partir d'un débit de période de retour 8 ans. La commune de Durtal souhaiterait disposer d'informations sur l'évolution de la crue.

f) Sur la Maine

L'agglomération d'Angers a été fortement touchée par la crue de janvier 1995 (niveau sensiblement centennal). Le centre urbain et la zone industrielle ont été inondés en 1995.

L'attente concerne essentiellement l'élaboration d'outils de prévisions car lors des récentes crues, aucun outil opérationnel de prévisions n'était disponible.

g) En conclusion, suite aux entretiens menés avec les communes, on peut définir les priorités suivantes concernant les attentes de celles-ci relatives à l'amélioration des prévisions :

1. Le Mans, Angers, La Flèche, Alençon
2. Vendôme, Laval, Chateaudun, La Ferté
3. Chateau-Gontier, Cloyes, Bonneval, Rémalard, Nogent-le-Rotrou, Mayenne, Le Mêle, Mieuxcé.

↳ amélioration des délais de prévision et amélioration de la précision de l'annonce (seulement des tendances actuellement).

↳ les communes demandent fortement des informations sur l'évolution de la crue : information sur le démarrage de la crue trop tardive, seuils de pré-alerte et alerte parfois trop rapprochés, puis information en temps réel sur le déroulement de la crue.

C.1.7 Analyse des Services d'Annonce de Crue

Suite à la crue de janvier 1995, des bilans d'organisation et de fonctionnement de l'Annonce de Crue sur le bassin de la Maine ont été établis par les Services d'Annonce de Crue eux-mêmes.

Les principales difficultés rencontrées sont les suivantes :

C.1.7.1 SAC de Laval

a) Collecte de l'information

Les renseignements fournis par les observateurs remontent parfois avec difficultés au Centre d'Annonce :

- difficultés pour se rendre au droit des échelles à cause des routes inondées
- absence de moyen de communication (téléphone portable ...)
- autres interventions nécessaires de l'observateur (sur le réseau routier par exemple).

Le SAC de Laval évoque donc la nécessité de moderniser (automatiser) la lecture des échelles de crues et de disposer de modèles de prévisions

Il regrette de ne pas avoir d'informations sur l'ensemble des cours d'eau, surtout ceux en dehors du bassin supérieur de la Mayenne (ex : Oudon) ainsi que sur quelques affluents importants (Jouanne, Vicoin ...).

b) Prévisions

La fréquence de relevé en période d'alerte est théoriquement fixée à 3 heures jours et nuits.

A partir des informations fournies par les observateurs et Météo-France et de la lecture des courbes de crues antérieures, des estimations d'évolution de la crue sont établies.

c) Sollicitations du SAC

Celles-ci sont nombreuses car les industriels et/ou les privés qui ont des difficultés à obtenir les renseignements sur l'évolution des crues s'adressent directement au standard de la DDE.

La mise à jour du serveur Minitel et du message du répondeur de la Préfecture n'est pas immédiate ce qui entraîne un décalage entre les annonces du SAC et l'information fournie aux riverains.

C.1.7.2 SAC du Mans

a) Collecte de l'information

Elle se fait par appel téléphonique en provenance ou auprès des 16 observateurs d'échelles soit 96 appels quotidiens au SAC. Cette collecte est d'autant plus lourde que le SAC est également sollicité par des appels de particuliers qui cherchent à se renseigner directement sur l'évolution de la crue.

D'après le SAC du Mans, une modernisation du recueil des données est souhaitable (automatisation des stations).

b) Prévisions

Le SAC du Mans n'effectue pas de prévisions précises à long terme. Il recueille les cotes aux 16 points d'observations, déclenche les différents degrés de mobilisation du Service (vigilance, pré-alerte, alerte) et dégage quelques tendances d'évolution à l'occasion de réunion de la cellule de crises.

Le SAC du Mans regrette de ne pas disposer de modèles de prévision sur les rivières l'Huisne et la Sarthe.

c) Sollicitation du SAC

La sollicitation du SAC par les multiples demandes directes provoque une dispersion de l'action et de la mobilisation des agents induisant une efficacité moindre du SAC en période de crise.

C.1.7.3 CAC de Bonneval

a) Collecte des informations

Elle repose essentiellement sur les relevés des observateurs (échelles d'annonce de crue et pluviomètres).

Le CAC de Bonneval souhaite que la transmission des informations soit automatisée avec la possibilité de suivre l'évolution des crues.

b) Prévisions

Les prévisions sont basées sur l'expérience et la connaissance du terrain.

Le temps de réaction à Bonneval à partir de l'information à Saumeray est court (environ 8 heures) ce qui ne facilite pas la prévision.

c) Sollicitations du CAC

Ce sont les personnes chargées de l'annonce de crue qui sont également observateurs aux échelles, ce qui ajoute une contrainte supplémentaire en période de crue.

C.1.7.4 SAC d'Angers

a) Collecte des informations

Le SAC d'Angers collecte essentiellement les informations en provenance des autres SAC du bassin de la Maine ou de la Loire.

A court terme, il est nécessaire d'améliorer la précision des prévisions des niveaux de la Loire au-delà de 24 heures.

Actuellement, les prévisions "glissantes" à 48 heures et 72 heures présentent des écarts supérieurs à 0,30 mètres. Ces incertitudes ne sont pas pénalisantes pour les prévisions sur le bassin de la Loire mais peuvent l'être sur le bassin de la Maine.

A moyen terme, il est nécessaire d'améliorer les outils de prévisions des crues par installation de stations de mesures télétransmises, et par l'installation de poste de réception et d'interrogation de ces stations au SAC d'Angers.

b) Prévisions

Les prévisions sont faites "manuellement" pour les 24 heures à suivre.

Difficultés :

- pour l'Oudon dont le temps de réponse est court (un épisode pluvieux important au cours de la nuit peut induire des débordements dès le lendemain matin)
- pour intégrer au droit de la Maine, des ondes de crues successives sur les trois sous-bassins (Mayenne, Sarthe, Loir).

c) Sollicitations du SAC

Le SAC d'Angers est très sollicité en période de crues par les élus, la presse et des particuliers. Un répondeur a ainsi dû être mis en service à la DDE.

C.2. ELABORATION DE SCHEMAS SIMPLES DE PREVISION DES CRUES

Les éléments de connaissance des crues passées sur chacune des 24 stations d'annonce des crues ont été rassemblés et rapprochés des données des stations hydrométriques les plus proches afin d'y connaître ou d'y estimer les débits en crue (voir figures C1 à C17).

Toutefois, le nombre quelquefois limité d'épisodes significatifs ayant pu être rassemblés et les moyens disponibles dans le cadre de cette étude n'ont pas permis d'établir d'équations de prévisions suffisamment fiables pour être utilisées en temps réel.

Un approfondissement sur la base des données ainsi rassemblées devrait néanmoins permettre de parvenir, pour la plupart des stations, à établir des équations simples de prévision.

Le réseau de télétransmission proposé, ci-après, permettra ensuite de recueillir de façon fiable et complète des données complémentaires en vue d'établir des modèles de prévision de deuxième génération.

C.3. ELABORATION DE SCHEMAS SIMPLES DE PREVISION DES ETIAGES

L'analyse des courbes de tarissement effectuée dans le cadre de l'état des lieux sur l'hydrologie du bassin, conduit à rechercher les possibilités d'établir des relations simples, à horizon de plusieurs semaines, permettant à partir d'un débit de début de période de basses eaux, de prévoir le délai au bout duquel un débit donné (débit critique, seuil d'alerte) sera atteint.

On aboutit ainsi, à des expressions simples permettant d'estimer le nombre N de semaines au terme desquelles partant d'un débit initial Q_0 , on atteindra le débit-seuil d'alerte ou le débit critique ou le QMNA5 :

$$\log Q_0 - \log Q_{DS} = p \times N$$

avec Q_0 : débit initial

Q_{DS} : débit seuil (QMNA5 ou débit critique ou débit-seuil d'alerte)

p : pente de la courbe de tarissement

N : nombre de semaines

$$\text{soit } N = \frac{\log Q_0 - \log Q_{DS}}{p}$$

De la même manière, il sera possible de déterminer le délai prévisible d'atteinte de seuils de vigilance, restrictions et interdictions qui pourront être déterminés à l'occasion de toute concertation au sein des SAGE.

Ainsi, en début de période d'étiage, connaissant le débit Q_0 (débit moyen sur 7 jours, le jour où le calcul est réalisé), il est possible de déterminer le nombre de semaines au bout desquelles, s'il ne pleut pas, le débit Q_{DS} sera atteint.

Si la période d'étiage est interrompue par un épisode pluvieux, le calcul doit être refait en fin d'épisode pluvieux.

C.3.1 Prévision d'étiage sur le bassin de la Mayenne

Année	Couterne		St Fraimbault		Chambellay	
	Débit initial (m ³ /s)	Pente	Débit initial (m ³ /s)	Pente	Débit initial (m ³ /s)	Pente
1989	3,9	0,10	17	0,09	38,3	0,10
	1,0	0,08	6,1	0,10	10	0,09
1990	1,3	0,14	7,1	0,13	13,7	0,12
1991	3,6	0,17	12,7	0,12	21,2	0,11
	2,1	0,12	9,9	0,11	10,5	0,05
1992	1,2	0,16	4,5	0,10	6,8	0,08
1993	4,21	0,12	15	0,07	25,9	0,10
1994	3,4	0,13	25,7	0,10	44,1	0,11
1995	1,1	0,09	7,5	0,14	7,7	0,10
1996	3,4	0,19	21,8	0,14	33,3	0,13
	0,6	0,08	3,5	0,06	7,3	0,09
Moyenne		0,12		0,11		0,10

Sur le bassin de la Mayenne, les formules simples de prévision d'étiage sont les suivantes :

$$\text{Couterne} : N = \frac{\log Q_0 - \log Q_{DS}}{0,12}$$

$$\text{St Fraimbault} : N = \frac{\log Q_0 - \log Q_{DS}}{0,11}$$

$$\text{Chambellay} : N = \frac{\log Q_0 - \log Q_{DS}}{0,10}$$

C.3.2 Prévision d'étiage sur le bassin de l'Oudon

Année	Marcillé		Port aux Anglais	
	Débit initial (m ³ /s)	Pente	Débit initial (m ³ /s)	Pente
1989	2,6/0,6	0,09/0,30	4,55	0,14
1990	0,9	0,36	1,20	0,34
1991	3,13/1,0	0,17/0,17	7,3/1,84	0,22/0,14
1992	0,10/0,04	0,18/0,29	0,37	0,52
1993	1,79/0,08	0,3/0,08	2,50	0,30
1994	7,6	0,18	13,0/2,14	0,20/0,56

1995		0,15	1,32/0,10	0,58/0,14
1996	0,5/0,07	0,43/0,06	0,70	0,62
Moyenne		0,21		0,34

Sur le bassin de l'Oudon, les formules simples de prévision d'étiage sont les suivantes :

$$\text{Marcillé} : N = \frac{\log Q_0 - \log Q_{DS}}{0,21}$$

$$\text{Port aux Anglais} : N = \frac{\log Q_0 - \log Q_{DS}}{0,34}$$

C.3.3 Prévision d'étiage sur le bassin de la Sarthe

Année	La Sarthe à Moulin du Désert		La Sarthe à Montreuil		L'Huisne à la Pécardière		La Sarthe à Beffes	
	Débit initial (m ³ /s)	Pente						
1989	2,22	0,02			7,24	0,02	18,91	0,03
1990	0,904	0,06	4,36	0,12	7,22	0,04	12,36	0,05
1991	1,74	0,05	4,99	0,07	7,70	0,03	15,83	0,04
1992	0,86	0,05	2,06	0,14	7,94	0,03	10,59	0,03
1993	2,18	0,06	6,80	0,08	7,64	0,03	25,92	0,06
1994	2,92	0,07	21,82	0,17	10,2	0,04	28,27	0,08
1995	1,70	0,04	24,11	0,06	13,5	0,03	33,83	0,03
1996	1,40	0,14	4,55	0,07	7,43	0,03	7,76	0,04
Moyenne		0,06		0,10		0,03		0,05

Sur le bassin de la Sarthe, les formules simples de prévision d'étiage sont les suivantes :

$$\text{La Sarthe à Moulin du Désert} : N = \frac{\log Q_0 - \log Q_{DS}}{0,06}$$

$$\text{La Sarthe à Montreuil} : N = \frac{\log Q_0 - \log Q_{DS}}{0,10}$$

$$\text{L'Huisne à la Pécardière} : N = \frac{\log Q_0 - \log Q_{DS}}{0,03}$$

$$\log Q_0 - \log Q_{DS}$$

$$\text{La Sarthe à Beffes} : N = \frac{\text{-----}}{0,05}$$

C.3.4 Prévision d'étiage sur le bassin du Loir

Année	La Braye		Durtal	
	Débit initial (m ³ /s)	Pente	Débit initial (m ³ /s)	Pente
1989			28,4	0,06
1990			11,83	0,06
1991			12,41	0,08
1992	1,32	0,05	7,2	0,06
1993			15,94	0,06
1994	2,44	0,07	15,97	0,05
1995	1,84	0,02	15,3	0,03
1996	1,43	0,04	12,35	0,14
Moyenne		0,05		0,07

Sur le bassin du Loir, les formules simples de prévision d'étiage sont les suivantes :

$$\text{La Braye} : N = \frac{\log Q_0 - \log Q_{DS}}{0,05}$$

$$\text{Loir à Durtal} : N = \frac{\log Q_0 - \log Q_{DS}}{0,07}$$

C.4. METHODOLOGIE EN VUE DE LA REALISATION DE MODELES DE DEUXIEME GENERATION

L'extension, à terme, du réseau CRISTAL sur l'ensemble du bassin de la Maine permettra de réaliser des modèles de prévision basés sur les éléments suivants :

- Recueil des données et constitution d'échantillons représentatifs
 - * collecte et constitution d'échantillons de crue, à pas de temps maximum de 6 heures, au droit des stations hydrométriques, des échelles d'annonce de crue, et des stations pluviométriques
 - * analyse et critique de ces données avant toute utilisation opérationnelle, soit en calage de modèles, soit en réalisation de prévisions en temps réel
 - * en particulier, vérification de la mise à jour et des domaines d'extrapolation des courbes de tarage.
-
- Modèles de propagation

Les modèles de propagation pourront être étoffés, après constitution d'échantillons fiables et suffisamment nombreux, à partir des considérations suivantes :

- * calculs régressifs d'amont en aval, portant sur l'explication des variations de débit aval en fonction des variations de débit amont, plus ou moins décalées dans le temps
- * calculs assortis de possibilité de recalage en temps réel, au moyen de techniques de traitement des erreurs en temps réel, telles que le filtre de Kalman
- * possibilité d'utiliser plusieurs modèles de régression (ou autre de type MUSKINGUM) en parallèle (comme c'est le cas dans la procédure multi-modèles SOPHIE en cours d'implantation au sein de différents services d'annonce de crue en France).

- Modèles pluies-débits

Ce type de modélisation est beaucoup plus délicat à mettre en oeuvre car basé sur des phénomènes hydrologiques fortement non linéaires (l'influence du facteur "état de saturation du sol" est en effet très importante, surtout pour expliquer et prévoir le démarrage de la crue).

Une technique comme la DPFT (Différence Première de la Fonction de Transfert) présente l'avantage de conduire, par itérations successives, à une estimation simultanée de la "pluie efficace" et de la "fonction de transfert" permettant de passer, via l'hypothèse de l'hydrogramme unitaire, de cette "pluie efficace" aux variations de débit à prévoir à l'exutoire du bassin versant. Cette technique s'applique sur des bassins versants de quelques dizaines à quelques milliers de km², sous réserve que la pluviométrie soit relativement homogène sur l'ensemble de ce sous-bassin, et que la topographie du bassin ne conduise pas à la constitution de fonction de transfert propre à chacun des vallées composant le bassin.

Dans le cas des hauts bassin de la Maine, sur chacun desquels il sera possible de chercher à appliquer cette méthode, ces hypothèses paraissent largement vérifiées.

C.5. UTILISATION OPERATIONNELLE DES IMAGES RADAR

L'utilisation opérationnelle des images radar dans le cadre de l'aide à l'annonce de crue sur l'ensemble du bassin versant de la Maine est présentée dans le document de la société RHEA joint en annexe.

Les principales conclusions sont reprises ci-après.

Les aspects suivants ont été examinés:

- état de la couverture radar potentielle, passée et à venir, pour une exploitation hydrologique des données sur le bassin de la Maine,
- inventaire des données radar historiques disponibles, ainsi que les modes d'accès à ces données,
- analyse et compréhension des phénomènes météorologiques relatifs à la crue de 1995, notamment pour ce qui est des précipitations,
- possibilités d'exploitation des données radar pour l'étude et la gestion des crises hydrologiques de la Maine.

Le bassin de la Maine est en limite de couverture des trois radars de Falaise, Trappes et Treillières. Cette couverture a été étudiée d'un point de vue qualitatif et quantitatif.

D'un point de vue qualitatif, on a constaté qu'une description de la dynamique des précipitations à partir des données radar était cohérente d'un radar à l'autre et avec la situation météorologique. Cependant, le fait que le bassin de la Maine soit en limite de couverture de plusieurs radar présente certains inconvénients :

- il n'y a pas de continuité dans le suivi des zones pluvieuses, qui apparaissent ou disparaissent sur les images en fonction de leur éloignement du radar,
- il y a des risques d'erreurs dans l'interprétation de la situation des précipitations, compte tenu de la discontinuité de la couverture radar.

Une exploitation qualitative des données radar en période de crise ne semble pas être d'un apport significatif pour les équipes chargées de l'annonce de crue, car elle doit se faire en ayant parfaitement conscience des limites de la couverture radar et nécessite d'extrapoler le comportement de la pluie entre deux radars.

D'un point de vue quantitatif, malgré le fait que le bassin de la Maine ne dispose pas d'une couverture optimale et complète pour l'exploitation des données radar de pluie, la couverture actuellement existante devrait permettre une exploitation hydrologique des données radar de pluie, au moins sur la majorité des sous-bassins amont de la Maine. Il semble possible, dans un premier temps, d'atteindre d'une portée supérieure à 80 km pour des perturbations océaniques, sachant que la portée maximale opérationnelle pour un radar hydrologique est de l'ordre de 100 km (voir figure 3 du rapport RHEA en annexe C). Les villes de Mayenne sur la Mayenne, Vivoin sur la Sarthe marquent cette limite de 80 km.

Une étude plus précise d'un événement pour chaque radar, en associant données pluviographiques et radar, doit permettre de préciser les bassins sur lesquels un calcul de lames d'eau est possible, et de définir les conditions qui permettraient de disposer d'une bonne mesure jusqu'à une distance de 100 km, étendant la limite aux secteurs de Laval sur la Mayenne, Le Mans sur la Sarthe, La Ferté-Bernard sur l'Huisne et Châteaudun sur le Loir.

Pour ce qui est de la crue de janvier 1995, il n'a pas possible de réaliser une mesure de lames d'eau sur des sous bassins de la Maine, hormis pour le bassin du Loir, à partir des données Calamar archivées par RHEA.

C.6. PRECONISATIONS POUR LA DEFINITION D'UN RESEAU OPERATIONNEL DE GESTION DES CRISES HYDROLOGIQUES

C.6.1 Préconisations techniques

Une bonne gestion des crises hydrologiques sur le bassin versant de la Maine passe par la connaissance de la situation hydrologique sur l'ensemble du bassin et par des modèles de prévision qui utilisent des données les plus fiables possibles.

On trouvera dans ce qui suit les préconisations concernant la mise en place d'un réseau de mesure correspondant à cette nécessité.

C.6.1.1 Définition du réseau de mesures pour l'annonce des crises hydrologiques

C.6.1.1.1 Annonce de crue

Compte tenu des résultats des recherches d'équations de prévisions des crues et des préconisations faites en vue de l'élaboration de modèles de deuxième génération, le réseau des stations de mesures automatisées du bassin de la Maine relié au réseau CRISTAL peut être structuré autour des 24 échelles d'annonce de crue qui en constitueront l'ossature.

Ces stations seront automatisées en première urgence. En effet, bien que s'agissant de points réglementaires de surveillance, ce sont pratiquement les seuls points de mesures de niveau sur le bassin de la Maine qui ne sont pas télétransmis. De plus, au cours de l'étude et notamment pour l'élaboration des modèles de prévision, on a pu constater que des informations de bonne qualité et en continu au droit des échelles d'annonces de crues faisaient défaut. Par conséquent, l'automatisation de ces sites permettra de constituer une base de données complémentaire aux stations hydrométriques.

Parmi les sites à équiper en première urgence, l'échelle de Rémalard sur l'Huisne sera également à équiper pour améliorer l'annonce à Nogent-le-Rotrou.

Ces stations, qui pour la plupart serviront uniquement pour l'annonce de crue, devront être suivies avec la même rigueur tout au long de l'année. En effet, les données ne pourront être de bonne qualité en période de crue que si la station est maintenue régulièrement. De plus, la mise en oeuvre de jaugeages est à assurer sur les sites pour lesquels ce n'est pas déjà le cas. Elle est indispensable pour avoir des débits en continu au droit des stations pour améliorer les modèles de prévision de première génération.

Ensuite, seront reliées au réseau CRISTAL, les stations principales du réseau, c'est-à-dire celles qui seront nécessaires pour l'utilisation de modèles simples de prévision. Ces stations sont pour la plupart télétransmises à l'exception de Couterne sur la Mayenne qui sera soit intégrée dans le réseau CRISTAL, soit remplacée par la station de Madré (mise en place récemment) après corrélation entre les débits de ces deux stations.

Enfin seront reliées au réseau CRISTAL les stations qui serviront pour améliorer les prévisions et pour les modèles de deuxième génération.

L'ensemble des stations prévues dans le réseau CRISTAL pour la prévision des crises hydrologiques est reporté sur la *figure C.18*.

Les étapes de modernisation de ce réseau sont récapitulées dans le tableau de la page suivante.

PROJET DE RESEAU CRISTAL

<i>Station (Rivière)</i>	<i>objet</i>	<i>1ère urgence</i>	<i>Finalisation</i>
LA MAYENNE			
Madré ou Couterne	HY-PL		X
la Varenne	HY		X
Saint Fraimbault	HY		X
Mayenne	AC	X	
l'Ernée	HY		X
Laval	AC	X	
Bonne	HY		X
la Jouanne	HY		X
Château Gontier-le Pendu	HY-AC	X	
Chambellay	HY-AC	X	
L'OUDON			
Cossé le Vivien	HY-PL		X
Craon	AC		X
la Verzée	HY		X
Segré	HY-AC	X	
LA SARTHE			
Le Mêle/Sarthe	HY		X
Alençon	AC-PL	X	
Moulin du désert	HY		X
le Merdereau	HY		X
Beaumont	AC	X	
Montreuil	HY		X
Le Mans-les planches	AC	X	
Spay	HY		X
La Suze	AC	X	
la Vègre ou l'Erve	HY		X
Sablé	AC	X	
Beffes	HY	X	
L'HUISNE			
Réveillon	HY-PL		X
Remalard	AC	X	
Nogent le Rotrou	HY-AC	X	
la Môme	HY		X
La Ferte Bernard	AC	X	
Connerre	AC	X	
La Pécardière	HY		X
Le Mans-Pontlieue	AC	X	
LE LOIR			
Saumeray ou station amont	HY-PL		X
l'Ozanne	HY		X
Bonneval	AC	X	
St Maur	HY		X
La Conie (Pont de Bleuët)	HY	X	
Chateaudun	AC	X	
l'Yerre (Bêchereau)	HY		X
Cloyes	AC	X	
Vendome	AC	X	
Montoire-Villavard	HY-AC	X	
la Braye (La Caboche)	HY		X
la Braye aval	HY		X
La Chartre	AC	X	
Port Gautier	HY		X
Le Lude	AC	X	
La Flèche	AC	X	
Durtal	HY	X	
LA MAINE			
Angers (La Maine)	AC	X	
Nombre de stations :		27 stations	25 stations

HY : stations hydrométriques utilisables pour l'annonce de crue et les étiages

PL : stations pluviographiques pour les modèles 2ème génération
AC : stations spécifiques à l'annonce de crue

C.6.1.1.2 Préviation des étiages

Dans le cadre d'une préviation des étiages, les stations à intégrer dans le réseau CRISTAL sont les points nodaux (pour lesquels il y a des objectifs de quantité) **en priorité** :

- sur le bassin de la Mayenne = St Fraimbault et Chambellay
- sur le bassin de l'Oudon = Maingué
- sur le bassin du Loir = La Conie au Pont de Bleuet et Durtal.

Ensuite seront reliées au réseau CRISTAL les stations utiles pour la connaissance du flux lié aux aspects qualité :

- sur le bassin de la Sarthe : Montreuil et Beffes
- sur le bassin de l'Huisne : la Pécardière
- sur le bassin du Loir : la Braye aval.

Et enfin, les stations complémentaires pour lesquelles, il existe un arrêté de définition de zones d'alerte et de seuils d'alerte :

- sur le bassin du Loir : Saumeray, St Maur, Cloyes, l'Ozanne, l'Yerre
- sur le bassin de l'Huisne : Nogent-le-Rotrou.

Ces priorités sont compatibles avec les priorités de modernisation pour la préviation de crue. En première urgence, il faudra rajouter pour les étiages la Conie.

Ensuite, il faudra se poser la question de relier à CRISTAL sur la Braye La Caboche et Sargé ou une seule des deux selon les équations de préviation qui auront pu être établies. Lorsque l'historique de données à Sargé sera plus important, une préviation pourra être testée pour établir le délai envisageable à la Chartre.

En complément, la DDE 72 propose une station à Fresnay sur Sarthe sur le bassin de la Sarthe amont pour mieux gérer la répartition des usages de l'eau. L'opportunité d'une telle station devra être approfondie dans une étude détaillée pour voir si les stations déjà proposées (le Mêle, Alençon, Beaumont) ne permettent pas de répondre à la question.

C.6.1.1.3 En résumé

Il apparaît fortement souhaitable pour des raisons techniques et administratives d'installer l'infrastructure nécessaire à l'extension du réseau CRISTAL en une fois. Cela représente une cinquantaine de stations.

S'il fallait phaser la réalisation des stations locales :

- Dans un premier temps, il conviendrait de raccorder les 24 échelles d'annonce de crue ainsi que la station de Rémalard sur l'Huisne (pour la préviation à Nogent le Rotrou), la station d'étiage sur la Conie (point très sensible) et la station de Beffes sur la Sarthe (pour disposer des débits sur les quatre affluents en amont d'Angers.

Ce qui porte à 27 le nombre de stations à intégrer au réseau CRISTAL en première urgence.

- L'ordre de modernisation des stations hydrométriques dans un deuxième temps serait à affiner en fonction des priorités qui seront établies par le maître d'ouvrage.

C.6.1.2 Mise en oeuvre du réseau

Suite aux entretiens avec le gestionnaire du réseau CRISTAL et à l'expérience que possède le chargé d'étude de la gestion d'un réseau hydrométrique (100 stations de mesures télétransmises sur le bassin versant du Rhône), pour intégrer tous les paramètres liés à la modernisation de ce réseau, les solutions techniques préconisées sont les suivantes :

- un réseau composé de 52 stations d'acquisition télétransmises, à la norme PLQ2000 (norme définie par le Ministère de l'Environnement pour la collecte et la transmission des données). Elles seront pour la plupart équipées de limnimètres bulle à bulle mesurant les niveaux d'eau des cours d'eau ; quelques unes seront adaptées au matériel existant compatible avec ces nouvelles stations. Outre le matériel électronique nécessaire à la collecte et à la transmission des données, il faudra prévoir :
 - * des abris adaptés : dans la plupart des cas, les appareils de mesure en place actuellement sont de taille réduite dans des petits abris qui doivent être refaits, d'autres stations ne sont pas encore équipées (une vingtaine de stations d'annonce de crue). Le détail des travaux et par conséquent la détermination fine des coûts sera à ajuster au cas par cas après une étude de terrain.
 - * l'alimentation EDF et FRANCE TELECOM : si un nombre important de stations existantes sont déjà reliées au réseau téléphonique, peu d'entre elles sont reliées au réseau EDF. Ce raccordement peut revenir assez cher en fonction de la distance de la station au réseau EDF mais il est nécessaire pour supporter la consommation énergétique qui peut être élevée si les appareils de mesure sont appelés souvent. De plus, un secours par batterie bien dimensionné est à prévoir
 - * des protections parafoudre : indispensables pour garantir le mieux possible le matériel électronique ;
 - * l'intervention d'un électricien pour le câblage électrique aux normes et parfois pour l'obtention du Consuel;
 - * mise en place de prises de pression (pour la mesure des niveau d'eau) et d'échelles limnimétriques (échelles graduées servant au calage des appareils électroniques) en cas de nécessité notamment pour les nouvelles stations ;
- un système de collecte et de traitement des données. Ce système est composé de concentrateur(s) qui interroge(nt) les stations d'acquisition à des pas de temps définis qui peuvent être variables.

Les données récupérées par le(s) concentrateur(s) sont ensuite collectées par un ou des unité(s) de collecte.

Ce principe évite que plusieurs unités de collecte interrogent la même station d'acquisition et aussi perturbent le bon fonctionnement du relevé des niveaux d'eau.

Les unités de collecte envoient ensuite les informations aux unités de traitement pour le traitement et la visualisation des données.

Les centres chargés du traitement des données devront être équipés d'alimentation électrique de secours pour pouvoir accéder aux données dans toutes les situations.

Dans tous les cas, le système de collecte des données devra être fiable :

- * doublement des concentrateurs qui pourront fonctionner en parallèle ou en mode dégradé (si un des concentrateurs tombe en panne, le deuxième prend le relais et interroge toutes les stations). Ainsi, sur le bassin de la Maine, on peut envisager deux concentrateurs.
- * garantie de l'intégrité et de l'unicité des données. Quelque soit le système de collecte mis en place, il faudra que les données des stations d'acquisition soient centralisées dans une base de données qui contiendra également les courbes de tarage à jour et qui réalisera les calculs fondamentaux (moyennes horaires, journalières...). Ces données seront accessibles aux services chargés de l'annonce des crues.

C.6.1.3 Maintenance du réseau

Pour la maintenance de ce réseau, il faudra prévoir deux techniciens. Ils seront chargés de la maintenance préventive (par des tournées régulières sur les stations) et de la maintenance curative simple en cas de panne de stations. Ils pourront être intégrés dans des équipes d'annonce de crue en soutien mais ne peuvent pas être considérés comme les prévisionnistes car en cas de panne des stations, ils devront intervenir en priorité sur le terrain.

Cette maintenance consiste en un passage périodique d'un technicien pour vérifier un certain nombre de points essentiels :

- bon calage de la cote de l'appareil par rapport à l'échelle ;
- bon fonctionnement des organes essentiels du limnimètre ce qui suppose une bonne connaissance du matériel par le technicien de maintenance ;
- test de l'alimentation électrique qui sera secourue par des batteries suffisamment dimensionnées pour permettre le bon fonctionnement du limnimètre en cas de coupure prolongée de l'alimentation électrique. Cela suppose également un contrôle périodique de la charge des batteries ;
- bon calage de l'horloge du limnimètre.

Le maintien des observateurs chargés de la lecture des échelles d'annonce de crue est souhaitable. Le nombre et leurs tâches seront certainement à redéfinir au cas par cas en fonction des étapes d'équipement du réseau mais ils permettront un soutien logistique non négligeable au gestionnaire du réseau compte tenu de la superficie du bassin versant de la Maine. En effet, en période de crue, ils pourraient être sollicités pour le contrôle des cotes à l'échelle (en cas de mesures douteuses ou aberrantes constatées par le gestionnaire du réseau), pour des vérifications de base en cas de panne avant le déclenchement de l'intervention d'un technicien de maintenance.

C.6.1.4 Répartition des stations par département

A partir du tableau précédent, on identifie ainsi 52 stations sur le bassin versant de la Maine pour la prévision des crises hydrologiques dont l'usage est réparti de la façon suivante :

- 50 stations utilisées pour la prévision des crues ;
- 14 stations utilisées pour le suivi des étiages. Si de nouveaux arrêtés de définition de zone d'alerte et de seuil d'alerte devaient être pris sur le bassin de la Maine, certaines stations complémentaires (déjà utilisées pour la prévision de crues) pourraient être utilisées pour la prévision des étiages.

Ainsi, on constate que certaines stations ont plusieurs usages (prévision des crues et/ou prévision des étiages). Ces éléments sont récapitulés dans le tableau du paragraphe C.5.1.1.1.

Une répartition des stations peut être réalisée par département de la façon suivante :

- pour la prévision des crues, une station sera affectée à un département si elle contribue (ou peut contribuer dans les modèles de deuxième génération) à la prévision dans le département considéré. Sont donc concernées les stations situées à l'intérieur du département et les stations à l'amont nécessaires pour les prévisions.
- pour la prévision des étiages, une station sera affectée à un département si elle contribue à la prévision dans le département considéré. Ne sont concernées que les stations du département considéré.

Naturellement, si une station contribue à la fois à la prévision des crues et à la prévision des étiages pour un département, elle n'est pas comptée deux fois.

Les tableaux suivants récapitulent les stations nécessaires pour la prévision des crises hydrologiques par département :

- Nombre de stations par département pour la prévision des crues dans le département :

5	ORNE	Sur le bassin de la Sarthe : Le Mêle - Alençon
23	SARTHE	Sur le bassin de l'Huisne : Réveillon - Rémalard - Nogent le Rotrou Sur le bassin de la Sarthe : Le Mêle - Moulin du Désert - Merdereau - Beaumont - Montreuil* - Le Mans (Les Planches) - Spay - La Suze - Sablé - Beffes* - la Vègre Sur le bassin de l'Huisne : Nogent-le-Rotrou* - La Ferté Bernard - Connerré - La Pécardière* - Le Mans (Pontlieue) Sur le bassin du Loir : la Braye - Villavard - Vendôme - La Chartre - Port Gautier - Le Lude - La Flèche
11	MAYENNE	Sur le bassin de la Mayenne : la Varenne - Couterne ou Madré - St Fraimbault* - Mayenne - l'Ernée - Laval - Bonne - la Jouanne - Chateau-Gontier Sur le bassin de l'Oudon : Cossé-le-Vivien - Craon.
10	EURE et LOIR	Sur le bassin du Loir : Saumeray* - Brou* - Bonneval - St Maur* - Chateaudun - l'Yerre* - Cloyes*
6	LOIR et CHER	Sur le bassin de l'Huisne : Réveillon - Rémalard - Nogent-le-Rotrou* Sur le bassin du Loir : l'Yerre* - St Maur* - Cloyes* - Vendôme - Villavard - Montoire
14	MAINE ET LOIRE	Sur le bassin de l'Oudon : Cossé-le-Vivien - Craon - la Verzée - Maingué* - Sur le bassin de la Mayenne : Bonne - la Jouanne - Chateau-Gontier - Chambellay* Sur le bassin de la Sarthe : Spay - Beffes* Sur le bassin du Loir : Villavard - Port Gautier - Durtal* Sur la Maine : Angers.

* Ces stations sont également utilisées pour la prévision des étiages.

- Stations nécessaires à la prévision des étiages dans le département en complément des stations pour la prévision des crues :
 - * EURE ET LOIR : La Conie
 - * LOIR ET CHER : La Braye aval

- Le nombre de stations par département pour la prévision des crises hydrologiques (crues et étiages) peut ainsi être réparti de la façon suivante :

➤ ORNE	: 5
➤ SARTHE	: 23
➤ MAYENNE	: 11
➤ EURE ET LOIR	: 11
➤ LOIR ET CHER	: 7
➤ MAINE ET LOIRE	: 14

On constate que le nombre total de stations intéressant les différents départements (72 stations) est supérieur au nombre réel (52 stations : voir tableau du paragraphe C.5.1.1.1). En effet, pour établir des prévisions dans un département, on utilise les stations d'annonce de crue du département et des stations en amont qui peuvent se situer dans un autre département. Ainsi, certaines stations intéressent plusieurs départements.

C.6.1.5 Evaluation du coût du réseau et proposition d'une clé de financement

a) évaluation du coût du réseau

A partir de l'ensemble des éléments techniques :

- communiqués par le gestionnaire du réseau CRISTAL (en ce qui concerne les systèmes de collecte et les stations d'acquisition),
- estimés par le chargé d'étude compte tenu de son expérience de gestionnaire de réseau hydrométrique,
- une enquête auprès des DIREN pour évaluer les coûts liés aux alimentations EDF, France Telecom (distances de la station aux réseaux), aux achats de terrain et aux accès,

le montant de l'investissement pour l'extension du réseau CRISTAL au bassin de la Maine (stations de mesures et équipements des services d'annonce de crue) peut être évalué à **13 MF TTC** sur la base du maintien de la structure administrative actuelle.

Le détail de cette estimation est donnée dans le tableau de la *figure C.19*.

Il ne s'agit là que d'estimations ; ces coûts devant être précisés par une étude détaillée de terrains, et de devis.

Le coût de fonctionnement d'un tel réseau serait de **2,5 MF TTC** (y compris frais de personnel et mesure des débits nécessaires pour la connaissance des crues).

b) proposition d'une clé de financement

Soit C_T le coût total du réseau relatif à N stations.

Dans l'hypothèse où les clefs de répartition pour le réseau CRISTAL actuel sont reconduites, la participation de l'état serait de 50 %, celle de l'Agence de l'Eau de 23 %. La part des collectivités serait donc de 27 % du coût total soit un coût résiduel C_R à répartir entre départements en vue du financement du réseau : $C_R = 0,27 \times C_T$.

C_T = coût total du réseau (*figure C.19*) = 13 MF TTC.

soit, un coût résiduel C_R :

$C_R = 0,27 \times C_T = 3.5$ MF TTC

La proposition de la répartition financière par département (D_i : coût pour le département i) peut être établie en considérant les paramètres suivants :

- soit le nombre n_i de stations, soit situées directement sur le département, soit contribuant (en étant implantée sur un autre département) à l'annonce de crue sur le département i :

$$D_i = C_R \times \frac{n_i}{\sum_i n_i}$$

- soit le coût C_i de la crue de 1995 (crue exceptionnelle et de référence) par département :

$$D_i = C_R \times \frac{C_i}{\sum_i C_i}$$

- soit le linéaire l_i de rivière par département :

$$D_i = C_R \times \frac{l_i}{\sum_i l_i}$$

- soit la surface S_i du champ d'inondation par département de la crue de 1995 :

$$D_i = C_R \times \frac{S_i}{\sum_i S_i}$$

Les résultats sont présentés en pourcentage dans le tableau suivant :

Département	Nombre de stations utilisées pour la prévision des crises hydrologiques	Nombre de stations (en %)	Ci=Coût estimé des dommages de la crue de 1995** (en KF)	Répartition financière en fonction du coût de la crue (en %)	Li=linéaire de rivière (en km)	Répartition financière en fonction du linéaire de rivière (en %)	Si=Surface du champ d'inondation* (en ha)	Répartition financière en fonction de la surface du champ d'inondation (en %)
Orne	5	7 %	48553	6 %	125	14 %	5285	11 %
Sarthe	23	32 %	437966	54 %	303	34 %	18644	39 %
Mayenne	11	15 %	35083	4 %	142	16 %	2149	4 %
Eure-et-Loir	11	15 %	23830	3 %	75	9 %	3089	6 %
Loir-et-Cher	7	10 %	53913	7 %	70	8 %	5796	12 %
Maine-et-Loire	14	20 %	213091	26 %	166	19 %	13262	28 %
Total	71		812436		881		48 225	

Ci : Il s'agit d'un coût estimé de la crue de 1995 ; toutefois, compte tenu des informations fournies dans le cadre de la première phase de l'étude, la fiabilité de ces valeurs n'est pas suffisamment homogène d'un département à l'autre pour pouvoir retenir ce paramètre comme critère déterminant.

Li : Linéaire des rivières principales (Mayenne, Oudon, Sarthe, Huisne, Loir)

Si : Surface estimée à partir de la crue de 1995

C.6.2 Préconisations pour une nouvelle organisation

C.6.2.1 Seuils de vigilance, pré-alerte et alerte

Les entretiens avec les responsables de l'annonce de crue sur le bassin versant de la Maine, l'analyse des cotes relevées aux échelles d'annonce de crue et des "hauteurs, seuils" de début de dommages, nous amènent à formuler les remarques suivantes concernant les seuils de vigilance, pré-alerte et alerte :

a) Bassins versants de la Mayenne et de l'Oudon

A Laval, la cote d'alerte (1,4 m) correspond à la cote du début des dommages par conséquent il conviendrait de choisir une cote d'alerte plus adaptée, en dessous de la cote de pré-alerte (1,2 m) car le passage de la cote de pré-alerte à l'alerte est très rapide (3 à 8 h pour les crues observées).

La même remarque peut être faite pour Château-Gontier avec une cote d'alerte de 1,6 m qui correspond à la cote de début des dommages et un passage très rapide de la cote de pré-alerte à la cote d'alerte (3 à 7 h pour les crues observées).

b) Bassins versant de la Sarthe et de l'Huisne

- A Beaumont, dès la cote de pré-alerte, plusieurs routes sont inondées. De plus, pour de nombreuses crues, le début des relevés de l'échelle se fait après le seuil de vigilance voire après le seuil de pré-alerte.

Par conséquent, les différents seuils sont à revoir à la baisse avec une prévision sur les affluents rive droite de la Sarthe en amont de Beaumont (Merdereau, Vaudelle, et Orthe), ce qui permettrait une anticipation. En effet, une crue peut survenir suite à la montée de ces affluents sans qu'il n'y ait de crue sur la partie amont de la Sarthe.

- Au Mans (écluse de Planches), le seuil de début des dommages (inondation de la crue de la rue d'Australie correspond à la cote de pré-alerte (1,30 m) ; par conséquent, les seuils sont à revoir à la baisse.
- A Nogent-le-Rotrou, les crues montent très vite et le passage du seuil de vigilance (1,1 m) au seuil de pré-alerte (1,25 m) peut prendre seulement 2 à 3 h, de même pour le passage de la cote de pré-alerte à la cote d'alerte (1,35 m). Il conviendrait donc de définir des seuils permettant un délai de réaction plus important par exemple en remontant les seuils de pré-alerte et alerte d'autant que le seuil de début de dommages est de 1,95 m à l'échelle de Nogent-le-Rotrou (étude BRL). La définition d'autres seuils devra se faire en concertation avec les services concernés.

c) Bassin versant du Loir

- A Bonneval, le seuil de début des dommages est de 1,35 m à l'échelle pour une cote d'alerte qui est très basse (0,5 m). Or le passage du seuil de vigilance au seuil de pré-alerte (=seuil d'alerte) ne prend que de 3 à 8 heures. Par conséquent, les seuils de pré-alerte et alerte pourraient être augmentés.
- Au Lude, la cote de pré-alerte (1,3 m) correspond au seuil de début des dommages par conséquent, il conviendrait d'abaisser les différents seuils.

C.6.2.2 Fonctionnement de l'annonce de crue sur le bassin de la Maine

A partir des éléments techniques récapitulés dans le chapitre C.4.1 et de l'analyse du fonctionnement actuel de l'annonce de crue sur le bassin de la Maine, plusieurs options peuvent être proposées :

- **Scénario 1 - Maintien des quatre services d'annonce de crue**

Dans un souci d'adéquation des moyens aux besoins, on peut envisager de localiser les deux concentrateurs et les deux techniciens dans deux des quatre services d'annonce de crue actuels.

Chaque Centre d'Annonce de Crue aurait accès aux données et réaliserait les prévisions au droit des stations d'annonces de crues qui les concerneraient. Le fonctionnement administratif actuel serait maintenu.

L'avantage d'un tel fonctionnement est de maintenir une proximité de terrain et donc une bonne approche du problème de chaque commune.

Les inconvénients sont :

- une charge de travail supplémentaire importante liée à la mise en place de méthodes de prévision. Or, les personnes chargées de l'annonce de crue assurent d'autres missions ;
- une dispersion des moyens humains sur quatre centres avec un risque important de perte de savoir-faire lorsque les responsables de l'annonce de crue dans un centre changeront de poste.

- **Scénario 2 : Deux services d'annonce de crue**

Compte tenu de la répartition des Centres d'Annonce de crue actuels sur le bassin de la Maine et de leur domaine de compétence, cette option consisterait à regrouper l'annonce dans les deux centres du Mans (pour l'annonce de crue sur l'Huisne, la Sarthe et le Loir) et d'Angers (pour l'annonce de crue sur la Maine, la Mayenne et l'Oudon).

Les avantages consistent à concentrer les moyens techniques humains et financiers et favoriser la transmission du savoir-faire au sein d'une équipe de 3 à 4 personnes.

L'inconvénient majeur est le risque d'une moins bonne connaissance du terrain et des problèmes spécifiques de chaque commune. Toutefois, s'il existe une volonté réelle à tous les niveaux (communes, départements, services d'annonce de crue), un transfert de connaissance peut s'envisager vers les services chargés de l'annonce de crue.

Une telle réorganisation implique une "refonte", du fonctionnement administratif actuel qui serait encore moins départementalisé et un engagement de chacun des partenaires (communes, préfectures ...).

- **Scénario 3 : un seul service d'annonce de crue**

Un seul service d'annonce de crue avec une équipe dont l'effectif serait adapté et dont l'unique fonction serait la mission d'annonce de crue et le suivi du réseau hydrométrique.

Ce service pourrait être rattaché à une DDE ou à la DIREN Pays de Loire ou à la DIREN Centre. Il assurerait la totalité de l'annonce de crue (depuis la collecte des données jusqu'à la diffusion de l'information auprès des préfectures du bassin de la Maine).

L'avantage de cette option est de créer une structure avec des techniciens dont les compétences sont déjà liées à l'hydrologie avec une bonne connaissance de l'hydrométrie et une formation facilitée aux méthodes de prévision.

Les effectifs d'une telle structure devraient être adaptés aux besoins (4 à 5 techniciens supplémentaires seraient nécessaires).

L'inconvénient d'une telle solution est un éloignement encore plus important des problèmes spécifiques des communes et pourrait être une découverte complète de l'aspect administratif lié à l'annonce de crue.

- **Scénario 4 :- un centre de collecte de données et élaboration de prévisions
- 4 services d'annonce de crue**

Comme dans l'option précédente, la collecte des données et l'élaboration des prévisions seraient réalisées par un seul centre puis cette information serait transmise aux quatre centres d'annonce de crue de Laval, le Mans, Bonneval et Angers.

L'avantage de cette option est de créer une structure avec des techniciens dont la compétence avait été liée à l'hydrologie (dont les effectifs seraient adaptés à la surcharge de travail) tout en maintenant la structure administrative actuelle.

L'inconvénient est comme dans l'option précédente, un éloignement important des problèmes spécifiques aux communes et un ralentissement de la transmission de l'information du fait de l'ajout d'intervenants.

⇒ **Propositions en vue d'un choix**

Dans une recherche d'efficacité de l'annonce des crises hydrologiques sur le bassin de la Maine, avec un souci d'économie et de valorisation des ressources humaines, les scénarii 2 et 3 sont les solutions préférables pour une réorganisation.

Le scénario 2 présente l'avantage de maintenir le cadre administratif actuel avec une extension du caractère interdépartemental des Services d'Annonce de crue.

Le scénario 3 présente l'avantage d'utiliser et de renforcer des équipes dont les compétences sont déjà liées à l'hydrologie.

Dans tous les cas, les structures chargées de l'annonce des crises hydrologiques sur le bassin de la Maine devront avoir des effectifs adaptés à leur mission. En première analyse, ils peuvent être chiffrés pour le scénario 1 à 3 ou 4 personnes supplémentaires à temps partiel, essentiellement pour la maintenance mais aussi pour la prévision elle-même (2 techniciens de maintenance + 2 autres prévisionnistes).

Pour le scénario 2, ce renforcement pourrait être, moyennant une certaine concentration des effectifs actuels, de l'ordre de 2 à 3 personnes supplémentaires à temps plein de même que pour les scénarii 3 et 4.

La mission d'annonce des crises hydrologiques devra être la mission principale des personnes concernées tant en période de crises qu'après (pour l'analyse des données et les réunions post-crisis) d'autant plus qu'elles seront chargées non seulement des crues mais aussi des étiages.

De plus, tous les aspects organisationnels (affectation des moyens humains et matériels, fonctionnement des services en dehors des heures ouvrables, et prise en considération des heures supplémentaires, diffusion efficace de l'information du prévisionniste à l'utilisateur) devront être pris en compte avant la mise en place des nouvelles structures.

Un effort particulier de formation du personnel devra être fait car la mise en place de modèles de prévision requiert une technicité plus importante que les méthodes actuelles. De plus, le renforcement en moyens humains devrait permettre de conserver le savoir-faire au sein du service malgré la mobilité des agents.

L'ensemble des aspects de cette refonte devrait être discuté au préalable avec la prise en compte des besoins et des contraintes de chacun ce qui permettrait également de résoudre des problèmes rencontrés actuellement (lenteur de transmission de l'information du fait de nombreux intervenants, sollicitation directe des SAC par les riverains, les entreprises, organisation pratique des SAC : charge de travail, heures supplémentaires ...), et d'optimiser les objectifs de l'annonce de crue : la protection des biens et des personnes.

TOME 2

D. PREVENTION

1. INTRODUCTION.....	3
2. DEFINITION DES DOCUMENTS REGLEMENTAIRES.....	4
2.1 GENERALITES	4
2.2 PLAN DE SURFACES SUBMERSIBLES.....	5
2.3 PLAN D'EXPOSITION AUX RISQUES ET ARTICLE R111-3 DU CODE DE L'URBANISME.....	5
2.4 PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS.....	5
2.4.1 <i>Présentation</i>	5
2.4.2 <i>Stratégie de réalisation des PPR</i>	6
2.4.3 <i>Elaboration du PPR</i>	6
2.5 PLAN PARTICULIER D'INTERVENTION (PPI) - GRAND BARRAGE	8
3. INVENTAIRE ET DESCRIPTION DES ATLAS DES ZONES INONDABLES.....	10
3.1 ATLAS SUR L'ENSEMBLE DU BASSIN LOIRE BRETAGNE.....	10
3.2 ATLAS DU DEPARTEMENT DE L'EURE-ET-LOIR (28).....	10
3.3 ATLAS DU DEPARTEMENT DU LOIR-ET-CHER (41)	11
3.4 ATLAS DU DEPARTEMENT DE LA SARTHE (72)	11
3.5 ATLAS DU DEPARTEMENT DE L'ORNE (61).....	12
3.6 ATLAS DU DEPARTEMENT DE LA MAYENNE (53).....	12
3.7 ATLAS DU DEPARTEMENT DU MAINE-ET-LOIRE (49)	13
4. INVENTAIRE ET ANALYSE DES DOCUMENTS REGLEMENTAIRES EXISTANTS ET PROPOSITION D'UNE EVENTUELLE EVOLUTION.....	15
4.1 DEPARTEMENT DE L'EURE-ET-LOIR (28).....	15
4.1.1 <i>Le Loir dans le (28)</i>	15
4.1.2 <i>L'Huisne dans le (28)</i>	16
4.2 DEPARTEMENT DU LOIR-ET-CHER (41).....	17
4.3 DEPARTEMENT DE LA SARTHE (72).....	18
4.3.1 <i>Le Loir dans le (72)</i>	19
4.3.2 <i>La Sarthe dans le (72)</i>	19
4.3.3 <i>L'Huisne dans le (72)</i>	24
4.4 DEPARTEMENT DE L'ORNE (61)	25
4.5 DEPARTEMENT DE LA MAYENNE (53).....	26
4.6 DEPARTEMENT DU MAINE-ET-LOIRE (49).....	28
4.6.1 <i>La Mayenne dans le (49)</i>	29
4.6.2 <i>La Sarthe dans le (49)</i>	29
4.6.3 <i>Le Loir dans le (49)</i>	30
4.6.4 <i>La Maine dans le (49)</i>	31
5. PROPOSITIONS EN VUE DE L'HOMOGENEITE DES PLANS REGLEMENTAIRES POUR LA PREVENTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN DE LA MAINE	32
5.1 DESCRIPTION DES TYPES D'ETUDES A METTRE EN OEUVRE	32
5.1.1 <i>Les études hydrauliques</i>	32

5.1.2	<i>Etudes hydrologiques</i>	33
5.1.3	<i>Approche hydrogéomorphologique de la plaine alluviale</i>	33
5.1.4	<i>Etudes d'archives, enquêtes de terrain et relevés des crues historiques</i>	34
5.1.5	<i>La modélisation mathématique</i>	34
5.1.6	<i>Les études topographiques</i>	35
5.2	DECOUPAGE EN SECTIONS HOMOGENES	35
5.3	PLAN DE TRAVAIL RELATIF A L'ELABORATION DES DOCUMENTS REGLEMENTAIRES	36
5.3.1	<i>Loir Dunois : en amont de Morée</i>	36
5.3.2	<i>Loir Vendômois : de Morée au confluent avec la Braye</i>	38
5.3.3	<i>Loir Fléchois : entre le confluent avec la Braye et Durtal</i>	39
5.3.4	<i>Sarthe normande : en amont de Mieuxcé</i>	40
5.3.5	<i>Haute Sarthe mancelle : de Mieuxcé a l'amont du Mans</i>	42
5.3.6	<i>Sarthe aval, dont l'agglomération du Mans</i>	43
5.3.7	<i>Huisne</i>	44
5.3.8	<i>Haute Mayenne : en amont de Mayenne</i>	45
5.3.9	<i>Mayenne Lavalloise : de Mayenne à Chambellay</i>	45
5.3.10	<i>Oudon</i>	45
5.3.11	<i>Maine et parties basses des rivières situées dans le remous de la confluence Loire-Maine</i>	45
5.4	FONDS DE PLAN DES PPR	45
6.	CONCLUSIONS	45

1. Introduction

La lutte contre les risques d'inondation s'élargit désormais plus clairement à d'autres champs de préoccupation : la maîtrise de l'urbanisme, l'aménagement des zones à risque qui constituent les volets d'une politique globale d'aménagement de l'espace et de gestion des eaux, dont l'objectif est de prévenir ou de limiter les dégâts potentiels.

Ces démarches viennent, avec une meilleure prévision des crues, en complément des moyens de lutte plus traditionnels tels que la réalisation de digues, de barrages, de retenues... dont certains peuvent s'avérer d'un coût prohibitif et qui plus est, lors des situations extrêmes risquent de ne pas offrir une protection complète.

L'objectif de la partie prévention de cette étude est double :

- dresser l'inventaire des documents réglementaires existants ou en cours d'élaboration et des documents techniques pouvant les compléter,
- proposer un plan de travail pour la prévention du risque d'inondation sur l'ensemble du bassin de la Maine.

En s'appuyant sur les résultats de l'étude hydrologique (notamment estimation des débits centennaux), le plan de travail distingue :

- parmi les documents existants :
 - ceux qui n'appellent pas d'observation particulière
 - ceux qui justifient un complément ou une révision.

- parmi ces derniers et pour les secteurs non non couverts actuellement :
 - ceux pour lesquels une crue historique récente peut servir de référence
 - ceux qui nécessiteront la reconstitution d'une crue de référence.

2. Définition des documents réglementaires

Cette présentation des différents documents réglementaires est réalisée à partir des Guides édités par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et du Ministère de l'Équipement et dont les références sont précisées ci dessous :

- "Cartographie des zones inondables - approche hydrogéomorphologique" - Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme (1997)
- Plans de prévention des risques naturels (**PPR**) - Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (1996).

2.1 Généralités

Jusqu'en 1994, l'Etat disposait de plusieurs outils de prise en compte du risque inondation dans une politique d'aménagement du territoire. Parmi ces outils, on distingue deux catégories de documents :

➤ le **Plan de Surfaces Submersibles (PSS)** dont la finalité est principalement hydraulique,

➤ le **Plan d'Exposition aux Risques (PER)** et l'article R111.3 du code de l'urbanisme, dont la vocation est de gérer directement l'occupation des sols,

La relance de la politique de prévention en matière de prise en compte des risques naturels dans l'aménagement du territoire s'est traduite par deux mesures récentes :

- création d'une mesure unique le **PPR** (institué par la loi n°95-101 du 2 février 1995), par refonte des procédures existantes, **PSS**, **PER** et **R111-3**,
- l'augmentation des moyens financiers, avec la volonté de réaliser 2000 **PPR** avant l'an 2000.

Les PPR sont élaborés et mis en application par l'Etat sous l'autorité du préfet de département. La décision de réaliser des PPR appartient à l'Etat.

Le PPR approuvé par arrêté préfectoral vaut servitude d'utilité publique et doit donc être annexé au POS par l'autorité responsable de la réalisation du POS (le maire en général). Le PPR annexé est alors opposable aux demandes de permis de construire et aux autres autorisations d'occupation du sol régies par le code de l'urbanisme. Chacune des mesures des PPR est appliquée et contrôlée par les personnes habituellement compétentes, selon les procédures de droit commun : les services chargés de l'urbanisme et de l'application du droit du sol (les services des DDE ou des collectivités locales) gèrent les mesures qui entrent dans le champ du code de l'urbanisme. Les maîtres d'ouvrage sont responsables des études ou dispositions qui relèvent du code de la construction. Les maîtres d'ouvrage des travaux, aménagements et exploitations sont responsables des prescriptions et interdictions y afférents. Toute autorité administrative qui délivre une autorisation doit tenir compte des règles définies dans les PPR.

Les atlas des zones inondables constituent également un outil de prise en compte du risque inondation. Ils permettent de porter à la connaissance des collectivités locales et du public des éléments d'informations sur les risques d'inondation.

Ils s'inscrivent dans le cadre de la loi du 20 juillet 1987 qui précise (article 21) que "les citoyens ont un droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis". Cependant, les atlas des zones inondables n'ont pas de valeur réglementaire.

2.2 Plan de Surfaces Submersibles

Créé par un décret-loi en 1935, il était destiné à permettre d'assurer le libre écoulement des eaux et la conservation des champs d'expansion des crues. Il soumet à autorisation l'utilisation du sol. Il est approuvé par décret. Ces plans sont institués en application du code du domaine public fluvial et de la navigation intérieure. Avec le PSS, le contrôle des autorisations dans le cadre de l'occupation des sols ne concernait pas directement la sécurité des personnes et des biens.

Le PSS n'a pas permis de prévenir les conséquences (parfois négatives) du cumul de projets successifs le long d'un même tronçon de rivière.

2.3 Plan d'Exposition aux Risques et article R111-3 du Code de l'Urbanisme

La loi 82-600, relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles, a institué les PER, valant servitude d'utilité publique et déterminant les zones exposées aux risques naturels prévisibles et les techniques de prévention à mettre en oeuvre.

Les périmètres de risque délimités par le code de l'urbanisme (Art. R.111.3) ont pour effet d'édicter des règles permettant de refuser ou de subordonner à des conditions spéciales toute demande de permis de construire et par extension toute demande de lotissement situé à l'intérieur de zones inondables ainsi définies.

Ces documents n'étaient pas seulement relatifs au risque inondation. Ils permettaient de gérer également les autres risques tels que par exemple les glissements de terrain. Les PER et R111-3 avaient pour principal objectif de réglementer les autorisations d'utilisation des terrains exposés aux risques.

L'article R111-3 ne concerne que les autorisations délivrées dans le cadre du Code de l'Urbanisme. Il ne s'applique pas à l'existant.

2.4 Plan de Prévention des Risques Naturels

2.4.1 Présentation

Le PPR permet de délimiter les zones concernées par les risques et d'y définir ou d'y prescrire des mesures de prévention.

Il n'y a pas de norme concernant le niveau de précision des études et des prescriptions, ce qui permet d'élaborer un PPR en fonction des seules données disponibles, même sommaires, quand les enjeux le justifient, puis de le réviser en fonction de l'évolution du

degré de risque. Les PPR visent à réglementer un très vaste éventail de projets (tout type de construction d'ouvrages, aménagements ou exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales, ou industrielles) ; cette réglementation peut comprendre des prescriptions allant jusqu'à l'interdiction totale.

Un dossier de PPR comprend les éléments suivants :

- une note de présentation (secteur géographique, nature des phénomènes et leurs conséquences) qui doit préciser les aléas, les enjeux, les objectifs recherchés pour la prévention des risques,
- un ou plusieurs documents graphiques (cartographie des zones inondées, des vitesses ...),
- un règlement (réglementation de l'occupation des sols).

Les PSS, PER et R111-3 approuvés valent PPR à compter du 11 octobre 1995, date de publication du décret relatif aux PPR. Les articles R111-3 deviennent de ce fait des servitudes d'utilité publique qui doivent être annexées au POS.

Toute modification de ces documents doit se faire selon les règles relatives à la modification des PPR, c'est à dire par arrêté préfectoral après consultation et enquête publique dans les seules communes concernées. Lors de la réalisation d'un PPR, on veillera à ce qu'il abroge l'ancienne réglementation lorsque celle-ci existe.

2.4.2 Stratégie de réalisation des PPR

La réalisation d'un PPR dépend de l'importance des enjeux. Si le POS prend en considération de manière satisfaisante les risques naturels, ou si les enjeux sont très faibles, la prescription d'un PPR devient moins prioritaire.

2.4.3 Elaboration du PPR

La conduite des études relatives à un PPR s'appuie sur les données disponibles ; les études sont menées sans rechercher une complexité excessive, et avec le souci d'aboutir directement à des propositions de mesures réglementaires.

Le PPR s'appuie sur trois axes importants :

- la souplesse ; monorisque ou multirisque, variable dans l'espace et le temps, le PPR peut être élaboré à partir d'une cartographie sommaire dans un premier temps, puis modifié ultérieurement
- les études qualitatives pour déterminer l'aléa
- la concertation et le renforcement de celle-ci.

Les PPR peuvent conduire à la mise en oeuvre d'études. Contrairement aux PER pour lesquels il était demandé d'entreprendre des études détaillées, le niveau d'étude pour le PPR est plus global, adapté à l'échelle d'un bassin.

Pour le risque Inondation, on peut distinguer plusieurs type d'études simples ou plus détaillées :

- l'analyse d'archives, relevés des crues historiques et enquêtes de terrain :
- l'approche hydrogéomorphologique de la plaine alluviale,
- l'analyse hydrologique,
- la modélisation mathématique

Le type d'études à mener dépend :

- de l'ancienneté et de la validité des informations historiques
- des enjeux des communes concernées
- des objectifs poursuivis.

Les études menées résulteront autant que possible d'une approche qualitative, qui s'appuiera sur toutes les données disponibles et seront restituées sur un plan à l'échelle 1/25 000 agrandi à l'échelle 1/10 000.

Les études détaillées, comme la modélisation mathématique seront réservées à des situations particulières et des espaces géographiques restreints. Elles seront mises en oeuvre lorsque les informations sur les phénomènes sont trop anciennes ou lorsque l'occupation des sols a évolué de façon notable.

L'utilisation de la modélisation devra conduire aux réflexions suivantes :

- les données d'entrée sont-elles d'une précision suffisante pour que l'on puisse escompter des gains significatifs en connaissance des niveaux ?
- est-il significatif au regard des hypothèses prises par ailleurs, notamment sur le choix d'un événement de référence ?
- quels problèmes permet-il de résoudre en matière de zonage et de réglementation ?
- le surcoût est-il proportionné aux résultats attendus ?

Ces éléments graphiques à produire sont de plusieurs types :

- carte : c'est une représentation conventionnelle d'une portion de la surface du sol à une échelle déterminée, généralement moyenne ou petite (ex. 1/50 000, 1/10 000),
- plan : c'est une représentation plane précise et détaillée d'une surface en principe à grande échelle (ex. 1/5 000, 1/2 000).
- Carte informative des phénomènes naturels ; c'est une carte descriptive des phénomènes observés ou historiques (carte des zones inondées d'une agglomération par exemple)
- Carte des aléas ; elle localise et hiérarchise les zones exposées à des phénomènes potentiels. Elle classe les aléas en plusieurs niveaux. Les cartes de l'aléa inondation croiseront le plus souvent possible les hauteurs d'eau, les vitesses de l'écoulement de l'eau, les durées **d'inondation pour la plus grande crue connue, de fréquence au**

moins centennale. Les terrains protégés par des ouvrages seront toujours considérés comme restant soumis à l'aléa, c'est à dire vulnérables.

- Appréciation des enjeux ; celle-ci reflète l'analyse des enjeux existants ou futurs dans les portions de territoires soumis à l'aléa.
- Plan de zonage du PPR ; ce plan permet de prévenir le risque en réglementant l'occupation et l'utilisation des sols. Il conduit à la définition des zones réglementées sur des critères de constructibilité.
- Documents complémentaires ; par exemple cartes hydrogéomorphologiques, cartes de hauteurs de submersion, des vitesses ...

◇ **Choix de la crue de référence**

La crue de référence est la plus forte connue ou une crue de fréquence centennale si la crue la plus forte connue lui est inférieure (circulaire du 24 janvier 1994).

◇ **Conséquences du PPR**

Selon le code de l'urbanisme, le POS prend en considération l'existence de risques naturels prévisibles dans la délimitation des zones à urbaniser et doit respecter les servitudes d'utilité publique, ce qui est le cas des PPR. **Rappelons qu'un PPR approuvé vaut servitude d'utilité publique.**

◇ **Interdictions et autorisations**

La circulaire du 24 janvier 1994, relative à la prévention des inondations et à la gestion des zones inondables, précise les principes à mettre en oeuvre dans ce cadre :

- interdire toute construction nouvelle dans les zones soumises aux aléas les plus forts
- contrôler strictement l'extension de l'urbanisation dans les zones d'expansion des crues (zones non urbanisées ou peu urbanisées et aménagées)
- éviter tout endiguement ou remblaiement nouveau qui ne serait pas justifié par la protection de lieux fortement urbanisés.

2.5 Plan Particulier d'Intervention (PPI) - Grand barrage

L'arrêté du 1er décembre 1994 (pris en application du décret 92-997 du 15 septembre 1992) relatif aux Plans Particuliers d'Intervention, définit pour les aménagements hydrauliques qui

comportent à la fois un réservoir d'une capacité égale ou supérieure à 15 Mm³ et un barrage ou une digue d'une hauteur d'au moins 20 m :

- les dispositifs techniques de détection et de surveillance
- les dispositifs d'alerte

basés sur une analyse des risques.

Sur le bassin versant de la Maine, aucun aménagement hydraulique ne rentre actuellement dans le cadre d'un PPI.

3. Inventaire et description des atlas des zones inondables

Par définition, un atlas des zones inondables permet d'établir un constat de la situation et a pour objet de porter à la connaissance des Collectivités Locales et du public des éléments d'information sur les risques. Il n'a pas, en tant que tel, de valeur réglementaire. Il représente un outil de référence à la disposition des décideurs publics, ainsi que de tous les acteurs socio-économiques.

3.1 Atlas sur l'ensemble du bassin Loire Bretagne

En général, les atlas sont réalisés au niveau d'un département. Cependant il existe un document général pour l'ensemble du bassin Loire Bretagne, réalisé par le BCEOM en 1968 et inventariant l'ensemble des zones inondables (Inventaire des zones inondables - BCEOM - 1968).

Ce document résulte d'une enquête effectuée pour le compte du Service Central Hydrologique de la Direction des Ports Maritimes et des Voies Navigables. Cet inventaire présente un caractère schématique ; cette enquête n'est pas exhaustive et ses résultats ne sont pas homogènes.

Des cartes au 1/500 000, dont une carte pour le bassin de la Maine, découpées par secteurs hydrographiques représentent schématiquement l'emplacement des secteurs inondables, la surface des zones submersibles, la fréquence des crues économiquement dommageables et la durée moyenne des submersions.

Ces cartes sont complétées par :

- des fiches fournissant des informations plus nombreuses et détaillées sur chaque cours d'eau,
- des fiches relatives aux agglomérations les plus menacées.

3.2 Atlas du département de l'Eure-et-Loir (28)

- Atlas des zones inondables dans le département (28) - janvier 1997 - DDE 28

Ce document regroupe l'ensemble des zones inondables connues de la Direction Départementale de l'Équipement (à partir de laisses de crues, photos aériennes, études, enquêtes de terrain) sur des fonds de carte IGN 1/25 000 agrandis à l'échelle 1/10 000. Cet atlas couvre l'ensemble du réseau hydrographique du département et vise l'exhaustivité. Il a la particularité de représenter les zones inondables selon différentes couleurs en fonction du type de document réglementaire en vigueur au 1er janvier 1997 sur le département. Il convient de noter que la limite des zones inondables de cet atlas ne résulte pas de l'enveloppe d'une crue dont on connaît la période de retour, mais de la réunion de l'ensemble des informations existantes.

3.3 Atlas du département du Loir-et-Cher (41)

- Atlas des zones inondables dans le département du Loir-et-Cher, réalisé par le bureau d'études Hydratec en novembre 1997.

Il contient les éléments suivants :

- ◇ une notice explicative
- ◇ 3 séries de cartes thématiques tracées sur des fonds de carte IGN à l'échelle 1/25 000 :
 - PSS du Loir dans le Loir-et-Cher
 - carte des crues historiques comprenant les éléments suivants :
 - limite du champ d'inondation de la crue centennale
 - limite du champ d'inondation de la crue de 1995,
 - repères des crues de 1910, 1961, 1966, 1983, 1995.
 - carte de l'aléa pour une crue centennale tenant compte de la vitesse d'écoulement et des hauteurs de submersion. La ligne d'eau centennale a été reconstituée à partir de la ligne d'eau de 1995, en lui ajoutant une surcote de 80 cm.

3.4 Atlas du département de la Sarthe (72)

Pour le département de la Sarthe, il existe plusieurs atlas :

- Etude des zones inondables de la Sarthe entre le Mans et Précigné (Antéa - 1996)

Ces cartes représentent le champ d'inondation de la crue de 1995 sur fonds de carte IGN à l'échelle 1/25 000, agrandis à l'échelle 1/10 000.

- Champs d'inondation de la crue de 1995 dans le département de la Sarthe pour la Sarthe en amont du Mans, le Loir et l'Huisne (DDE 72 - Service Aménagement et Urbanisme - 1995)

Ces cartes représentent le champ d'inondation de la crue de 1995 sur fond de carte IGN à l'échelle 1/25 000, agrandi à l'échelle 1/10 000. Ces cartes ont été réalisées à partir de relevés visuels (photos aériennes et enquête de terrain).

- Atlas départemental des risques, réalisé en 1994 et révisé en juin 1996 (Préfecture de la Sarthe - cellule d'analyse et d'information préventive)

Ce document comporte une notice, deux cartes des risques naturels (une pour le département à l'échelle 1/100 000, une pour l'agglomération du Mans à l'échelle 1/25 000) ainsi des documents concernant des risques technologiques et spécifiques.

Pour le risque inondation, le champ d'inondation de la crue de 1995 a été reporté sur ces deux cartes.

➤ Atlas des zones inondables sur la rivière le Loir - en cours de réalisation par le BCEOM.

L'établissement de l'atlas s'appuie essentiellement sur une reconnaissance de terrain et un complément par analyse de la bibliographie existante. Il concerne 26 communes du département de la Sarthe.

Le contenu de l'atlas sera le suivant :

- cartographie de référence (carte des Plus Hautes Eaux Connues) à partir d'une reconnaissance de terrain et une analyse bibliographique conduisant à la reconstitution des laisses des crues de 1983 et 1995 sous forme de cartes à l'échelle 1/10 000 sur fond de plan IGN (contours des zones inondées et PHEC).
- définition de l'aléa : la durée de submersion n'a pas été considérée comme un facteur discriminant et pertinent pour différencier les zones.

L'estimation des vitesses par application de la formule de Manning Strickler a montré qu'elles restent inférieures en moyenne à 0.5 m/s mais peuvent atteindre localement des valeurs plus élevées de l'ordre de 2 à 3 m/s. L'aléa ne dépend donc que de la hauteur d'eau et la cartographie de l'aléa s'apparente donc seulement à une cartographie du paramètre hauteur d'eau pour les PHEC.

3.5 Atlas du département de l'Orne (61)

Les rivières du bassin de la Maine (Huisne, Mayenne et Sarthe) dans le département de l'Orne figurent dans un atlas des zones inondables de la région Basse-Normandie (1996)

Cet atlas présente des cartes de zones inondées ainsi que des cartes de zones inondables et d'aléas. Le fond de plan est issu des cartes IGN agrandies à l'échelle 1/10 000 pour les agglomérations et à l'échelle 1/25 000 pour les zones moins vulnérables.

- Les zones inondées sont relatives à une crue dont la date est indiquée sur chaque carte : l'événement de référence est la crue de 1995, pour les rivières du bassin de la Maine.
- Les zones inondables et aléas représentent les surfaces concernées avec les hauteurs d'eau inférieures ou supérieures à 1 m. Sur ces cartes sont également précisées la durée au dessus de la crue biennale ("très brève à très longue") et l'intensité de la crue ("très faible à très violente").

3.6 Atlas du département de la Mayenne (53)

- Il s'agit d'une cartographie des zones inondées en janvier 1995 pour 29 agglomérations du département de la Mayenne. Les agglomérations de Mayenne, Laval et Chateau-Gontier ne sont pas traitées dans cet atlas.

Les 29 agglomérations sont les suivantes, avec l'échelle du plan correspondant :

ANDOUILLE	sur l'Ernée	1/2000
ASSE-LE-BERANGER	sur l'Erve	1/2000
BALLEE	sur l'Erve	1/2000
BOUERE	inondé par un ruisseau	1/2000
CHAILLAND	sur l'Ernée	1/2000
CHAMMES	sur l'Erve	1/2000
CRAON	sur l'Oudon	1/2000
LA CROPTE	sur la Vaige	1/2000
DAON	sur la Mayenne	1/2000
ERNEE	sur l'Ernée	1/2000
FORCE	sur la Jouanne	1/2000
LASSAY-LES-CHATEAUX	sur la Laissay	1/2000
MENIL	sur la Mayenne	1/2000
MESLAY-DU-MAINE	inondé par un ruisseau	1/2000
MONTSURS	sur la Jouanne	1/2000 + crue de 1996
MOULAY	sur la Mayenne	1/2000
NEAU	sur la Jouanne	1/2000
NUILLE-SUR-VICOIN	sur le Vicoin	1/2000
PARNE-SUR-ROC	sur l'Ouette	1/2000
PRE-EN-PAIL	sur la Mayenne	1/2000
ST BRICE	inondé par un ruisseau	1/1000
ST FRAIMBAULT-DE-PRIERES	sur la Mayenne	1/5000
ST GEORGES-SUR-ERVE	sur l'Erve	1/2000
ST JEAN-SUR-ERVE	sur l'Erve	1/2000
ST JEAN-SUR-MAYENNE	sur la Mayenne	1/2000
ST LOUP-DU-DORAT	inondé par un ruisseau	1/2000
ST PIERRE-SUR-ERVE	sur l'Erve	1/2000
STE SUZANNE	sur l'Erve	1/2000
VAIGES	sur la Vaige	1/2000

On peut également mentionner l'existence d'un enregistrement vidéo de la crue de janvier 1995 entre Laval et Daon.

3.7 Atlas du département du Maine-et-Loire (49)

Deux documents existent, un troisième est en cours d'élaboration :

- Report du niveau des plus hautes eaux de la crue de janvier 1995 sur les bassins de la Maine, de la Sarthe, du Loir, de la Mayenne et de l'Oudon (réalisé en 1995 par la DDE 49).

Cet Atlas représente le champ d'inondation de la crue de janvier 1995 dans le département du Maine-et-Loire (49) sur un fond de cartes IGN à l'échelle 1/25 000.

- Atlas des zones inondables de la vallée de la Loire - Val du Louet et confluence de la Maine et de la Loire (DIREN Centre, Service de Bassin Loire-Bretagne, mai 1995)

Cet atlas comporte les éléments suivants :

- notice explicative
- une carte indiquant le zonage des PSS pour la Loire et la Maine
- carte des PHEC (enveloppe des crues historiques) sur un plan topographique à l'échelle 1/25 000
- carte d'aléa déterminant un zonage en fonction de la gravité des risques en fonction des hauteurs d'eau, des vitesses et des durées de submersion (faible à très fort)

- Atlas des zones inondables du Maine-et-Loire - DDE 49 Service de la navigation - 1998.

Cet Atlas est en cours d'élaboration.

4. Inventaire et analyse des documents réglementaires existants et proposition d'une éventuelle évolution

Cette partie concerne l'inventaire et l'analyse des documents réglementaires dans le but de mettre en évidence les documents qui n'appellent pas d'observation particulière et ceux qui justifient complément ou révision. L'analyse effectuée par le chargé d'étude ne porte que sur les hypothèses hydrologiques des documents réglementaires.

Pour mieux appréhender la finalité de chaque plan réglementaire existant, les appellations d'origine (PSS, PER, ...) sont conservées pour les documents antérieurs au décret du 11 octobre 1995 instituant les PPR. L'inventaire des plans réglementaires est réalisé département par département.

Une carte schématique des plans réglementaires est présentée en *figure D.1*.

4.1 Département de l'Eure-et-Loir (28)

4.1.1 Le Loir dans le (28)

◆ PSS

Alluyes - décret du 11/10/67

Bonneval - décret du 11/10/67

Montigny le Gannelon - décret du 11/10/67

Ces PSS sont établis pour des secteurs limités ; ce sont des zones d'écoulement que les Services de l'Etat ont soumis à réglementation.

A Alluyes, la zone inondable réglementée s'étend sur 2 600 m de long et 250 m de large. Elle concerne une partie du lit majeur rive gauche jusqu'au lieu dit "Beaudoin" et une partie du lit majeur rive droite à l'aval. Elle correspond à deux boucles du Loir court-circuitées en crue. Les plans sont à l'échelle 1/20 000 et 1/2 500.

A Montigny le Gannelon, la zone réglementée concerne une bande de 2 750 m de long ne dépassant pas 150 m de large située en lit majeur rive gauche. Le plan est à l'échelle 1/2500.

Enfin à Bonneval, la zone inondable réglementée concerne 2 km de lit majeur rives droite et gauche, en amont et aval du moulin de Vouvray. Le plan est à l'échelle 1/2 500.

Ces plans réglementaires mériteraient d'être étendus à l'ensemble de la haute vallée du Loir en prenant en compte une crue de période de retour 100 ans dont le débit de pointe serait 205 m³/s à St Maur.

◆ R111.3

Chateaudun - arrêté préfectoral du 10/10/95

Le champ d'inondation de la crue centennale a été établi à partir d'un modèle mathématique réalisé par le BCEOM en 1986. Ce plan ne couvre que la commune de Chateaudun. Le débit de la crue centennale adopté dans les calculs est 210 m³/s. Ce plan définit une zone inconstructible et la limite du champ d'inondation de la crue centennale.

Le débit de crue centennale estimé dans le cadre de la présente étude est 205 m³/s à la station de St Maur, située 10 km environ en amont. Le débit centennal à Chateaudun calculé à partir de la station hydrométrique de Villavard est 230 m³/s. Ces valeurs sont cohérentes avec celle du document existant et n'amènent pas de remarque particulière.

Ce document n'appelle donc pas d'observation particulière.

4.1.2 L'Huisne dans le (28)

◆ *PPR*

Nogent le Rotrou et Margon - Etude réalisée en 1995 par le CETE Normandie Centre - PPR en cours d'approbation.

L'étude d'inondabilité de la vallée de l'Huisne à Nogent-le-Rotrou a été réalisée par le CETE Normandie Centre en 1995.

L'analyse hydrologique de l'étude du CETE conduit à retenir les débits caractéristiques suivants :

$$\begin{aligned}Q_{10} &= 72 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{100} &= 111 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Les débits caractéristiques calculés dans cette présente étude sont les suivants :

$$\begin{aligned}Q_{10} &= 70 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{100} &= 110 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Ces débits ont été obtenus par ajustement de Gumbel des débits maxima annuels (période 71-95). Les calculs ont été effectués par les services de la DIREN Centre et sont concordants avec les calculs statistiques du CETE. Le débit de la Rhône (affluent de l'Huisne à Nogent-le-Rotrou) a été estimé à 1 m³/s pendant la pointe de crue de l'Huisne.

Un modèle mathématique de l'écoulement des crues dans les agglomérations de Nogent-le-Rotrou et Margon a été construit et étalonné sur la crue de 1995 (107 m³/s). Le débit centennal pris en compte est 111 m³/s. La différence de niveau entre la crue de 1995 et la crue centennale est de 0,05 m.

Une sécurité de 0,20 m par rapport à la ligne d'eau centennale a été retenue en concertation avec la DDE 28.

Les estimations CNR et CETE pour les débits Q₁₀ et Q₁₀₀ sont semblables.

L'étude du CETE propose deux cartes :

- zone inondable à l'échelle 1/25000
- zone inondable et cotes des plus hautes eaux à l'échelle 1/10 000.

L'étude ne comporte pas de carte de l'aléa, qui reste donc à élaborer. De plus, on peut s'interroger sur la nécessité de prendre une sécurité de 0,20 m sur les niveaux centennaux calculés sur le modèle mathématique dont le but est justement de déterminer l'aléa centennal avec précision.

Il est donc proposé de compléter cette étude avec une carte d'aléa prenant en compte les vitesses, les durées de submersion et les hauteurs d'eau calculées avec le modèle mathématique. Par souci d'homogénéité avec les PPR sur le bassin de la Maine, il est proposé d'abandonner la surcote de 20 cm ajoutée aux niveaux centennaux calculés avec le modèle mathématique.

4.2 Département du Loir-et-Cher (41)

Le Loir dans le (41)

◆ PSS

Brevainville, St Jean de Froidementel, St Hilaire la Gravelle, Morée, Freteval, Lignièrès, Pezou, Lisle, St Firmin des prés, Meslay, St Ouen, Areines, Vendôme, Naveil, Villiers/Loir, Thorée la Rochette, Mazange, Lunay, St Rimay, Les Roches l'Evêque, Villavard, Lavardin, Montoire/Loir, Troo, St Jacques des Guérets, Sougé sur Braye, Artins, Couture/Loir, Tréhet.
décret du 2/12/83.

Le PSS a été réalisé à la suite de la crue de 1961, et a été reporté sur les plans des communes au 1/2 500 à partir de repères de crue et d'enquêtes.

Ces plans ont servi à la réalisation des cartes réglementaires sur lesquelles les contours de la crue de 1961 ont été reportés. Le contour de la zone B du plan des PSS du Loir dans le (41) est la limite de la crue de 1961, estimée alors à une crue inférieure à la crue centennale.

Cette crue de 1961 a été estimée de période de retour 50 ans à St Maur, 70 ans à Villavard et 80 ans à Durtal par le bureau d'études Hydratec, lors de l'étude de l'aménagement du Loir en 1987.

Le débit de la crue de 1961 est estimé à 300 m³/s dans le Loir-et-Cher (Etude TGV à Naveil), ce qui correspond à une crue de période de retour 70 ans à Villavard selon les résultats de la présente étude.

A noter que le débit de la crue de janvier 1995 est 244 m³/s (30 ans) à Villavard et 457 m³/s à Durtal (55 ans).

La comparaison des limites des champs d'inondation de la crue de janvier 1995 et de la crue de 1961 permet de constater des différences notables dans certains secteurs : des zones inondées en 1995 ne l'étaient pas en 1961 et des zones inondées en 1961 ne l'étaient pas

en 1995, alors que d'une façon générale les cotes de crue de 1961 se situent environ 30 à 50 cm au dessus de la crue de 1995. La connaissance des contours de la crue de 1961 est peu précise. En effet, le report sur le PSS a été réalisé 20 ans après. Cette situation peut expliquer les divergences par rapport à la crue de 1995.

La vallée a connu également de nombreux aménagements ayant pour conséquence une modification des conditions d'écoulement (mise en place de déviations avec remblais dans le lit majeur, remplacement d'ouvrages hydrauliques, modifications de routes, déblais...).

Une révision de ce plan réglementaire est proposée pour prendre en compte la morphologie actuelle de la vallée. Un PPR est en cours d'étude.

◆ *PPR*

Le Loir dans le département du Loir-et-Cher - en cours de réalisation

Une carte d'aléa prenant comme crue de projet du Loir 370 m³/s, crue annoncée de période de retour supérieure à la crue centennale a été tracée et figure dans l'atlas des zones inondables du Loir-et-Cher. Cette valeur est cohérente avec celle correspondant au débit centennal estimé dans la présente étude à 8 % près (débit centennal, 340 m³/s) et n'amène donc pas de remarque particulière.

La ligne d'eau correspondant à la crue centennale a été calculée à partir des hypothèses suivantes :

- les différences de cotes entre 300 et 370 m³/s varient de 20 à 30 cm (étude SNCF),
- les différences de cotes entre la crue de 1961 (300 m³/s) et la crue centennale sont de +30 cm,
- les différences de cotes entre 1995 et 1961 varient de 30 à 50 cm.

L'enveloppe de la crue centennale a donc été reconstituée en ajoutant 80 cm à la crue de 1995, crue récente, pour laquelle de nombreux repères de crue sont disponibles.

La carte de l'aléa inondation a pour fond de plan la carte IGN à l'échelle 1/25 000. Elle prend en compte les hauteurs d'eau et les vitesses, mais pas les durées de submersion.

Il serait intéressant de présenter cette carte à l'échelle 1/10 000.

Pour les agglomérations de Vendôme et Montoire, les PPR sont en cours de réalisation. L'exploitation des modèles mathématiques existants au droit des agglomérations permet d'ajuster la ligne d'eau centennale reconstituée par décalage.

Ce document n'appelle pas d'observation particulière.

4.3 Département de la Sarthe (72)

4.3.1 Le Loir dans le (72)

◆ PPR

La Flèche - arrêté préfectoral du 16/7/98

L'analyse et la cartographie des crues du Loir ont été établies par le bureau d'études Hydratec ; elle s'appuient sur un modèle mathématique, étalonné avec la la crue de 1995.

Les résultats de l'étude hydrologique Hydratec sont les suivants :

Surface du bassin versant à la Flèche = 7700 km²

Surface du bassin versant à la station hydrométrique de Durtal = 7920 km²

Les débits caractéristiques à Durtal estimés respectivement par Hydratec et la présente étude sont les suivants :

Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)
330 / 307	550 / 585

Les valeurs estimées par Hydratec sont obtenues par ajustement d'une loi de Gumbel aux débits maxima annuels sur la période 1961-1995. Hydratec propose une extrapolation de la Loi de Gumbel pour les débits supérieurs à Q₁₀.

Le débit centennal de référence a été pris égal à 550 m³/s. Il est cohérent à 6 % près avec l'estimation établie dans l'étude hydrologique actuelle : 585 m³/s à la station de Durtal. Le débit centennal calculé à la Flèche à partir de l'estimation CNR à Durtal est 572 m³/s, soit 4 % de plus que la valeur retenue par Hydratec.

Les valeurs de la présente étude sont cohérentes avec celle choisie par Hydratec et n'amènent pas de remarque particulière.

Ce document n'appelle donc pas d'observation particulière.

4.3.2 La Sarthe dans le (72)

◆ PSS

Allones - décret du 06/09/68

Juigné/Sarthe - décret du 06/09/68

Le Mans - décret du 06/09/68

Pincé - décret du 06/09/68

Sablé/Sarthe, Solesmes - décret du 06/09/68

La commune de La Suze/Sarthe fait l'objet d'un mémoire explicatif et d'une cartographie des zones inondables en distinguant une zone A, dite de grand débit limitée au lit mineur et une

zone B, dite complémentaire correspondant aux surfaces inondées lors de la crue historique de 1930. Toutefois la commune de La Suze/Sarthe n'est pas citée dans le décret du 6/09/68, évoqué ci-dessus.

Sur ces plans à l'échelle 1/ 10 000, 1/20 000 1/ 5 000 ou 1/ 2 000 suivant les communes, le lit de la rivière est divisé en deux zones A et B :

- la zone A, dite de grand débit, représente le lit mineur étendu de 10 m sur les berges rive droite et rive gauche dans la limite des zones submersibles,
- la zone B, dite complémentaire, représente les surfaces inondées lors des crues exceptionnelles.

La limite des zones inondables est celle de la crue exceptionnelle de 1930. On rappellera que la commune de La Suze n'est pas citée dans le décret.

Analyse détaillée de chaque PSS, agglomération par agglomération :

- Le Mans et Allones

Le PSS est une carte à l'échelle 1/20 000, complétée par une carte au 1/10 000 (fond de plan : plan directeur d'urbanisme du Mans). La zone A correspond à la limite du lit mineur des rivières Huisne et Sarthe. La zone B correspond à la limite du champ d'inondation de la crue de 1930, et ne concerne que la Sarthe en aval du Mans et de l'Huisne. Ce plan ancien est assez peu précis et n'est plus conforme aux ouvrages existants : il ne prend pas en compte les aménagements réalisés dans le lit mineur des rivières (restauration des barrages, recalibrage) et le lit majeur (remblaiement du quartier des Sablons, aménagement de la rocade Desmorieux). De plus le champ d'inondation de la crue de 1995 dépasse les limites de la zone B (ex : quartier O. Heuzé...).

L'évolution importante de la morphologie des lits mineur et majeur de la rivière justifie la révision de ce document. Un PPR est en cours d'étude à partir de la topographie actuelle en prenant en compte un événement de référence centennale.

- Juigné/Sarthe, Solesmes, Sablé/Sarthe et Pincé

Le PSS est une carte à l'échelle 1/20 000, complété par des plans au 1/5 000. La zone A représente le lit mineur de la Sarthe. La zone B représente la limite du champ d'inondation de la crue de 1930, estimée de période retour 64 ans à Sablé/Sarthe par le BCEOM.

La plus forte crue connue à Sablé/Sarthe est la crue de 1881. La crue de janvier 1995, de cote maximum équivalente à la crue de 1881, atteint 600 m³/s en pointe à Beffes, soit 65 ans en période de retour.

Le PSS ne comprend pas un certain nombre de zones inondées en 1995 (aval rive droite de l'hippodrome de Sablé/Sarthe, secteur de la confluence avec l'Erve, secteur du bras de la Marbrerie à Sablé).

De plus, à l'aval de Sablé/Sarthe, le champ d'inondation en rive droite de la Sarthe sur les communes de Souvigné et Saint Denis d'Anjou n'est pas défini.

L'utilisation de la crue de 1930 comme événement de référence, l'évolution de la topographie de la vallée amènent à proposer la révision de ce document. La crue de référence, de période de retour cent ans, conduit à un débit de pointe de 640 m³/s à Sablé/Sarthe. Un PPR est prescrit à Sablé/Sarthe.

- ◆ St Paterne - décret du 29/06/76
La commune sarthoise de St Paterne est prise en compte dans le PPR d'Alençon.
- ◆ R111.3
Le Mans - arrêté préfectoral du 7/5/87

Ce document modifie le règlement des zones inondables sur la ville du Mans établi dans le cadre de l'arrêté préfectoral du 23 juin 1969.

L'arrêté du 23 juin 1969 délimite sur le territoire de la ville du Mans un périmètre de zones inondables à l'intérieur duquel toute construction est interdite.

Quatre secteurs sont concernés :

- Secteur Funay - ZUP
- Saint Georges - Chaoué
- Grand Cimetière, Olivier Heuzé
- Bouche d'Huisne, Pontlieue ZIS.

L'arrêté du 7/05/87 est accompagné de 15 plans à l'échelle au 1/2 000 présentant une répartition des surfaces inondables en 3 zones :

- zones d'étalement des eaux (inconstructibles sauf cas exceptionnels),
- zones intermédiaires (constructible sous réserve des dispositions relatives aux zones submersibles et du respect de certaines contraintes),
- zones contrôlées (constructibles sous réserve des dispositions des zones submersibles et du respect d'un niveau minimal pour le plancher des habitations, de 30 cm au dessus de la cote relevée lors des crues de 1966).

La méthode d'élaboration de ces plans n'est pas précisée. La limite des zones inondables semble être celle de la crue exceptionnelle de 1966, qui est moins importante qu'une crue centennale.

L'évolution de la topographie du secteur et l'événement de référence utilisé conduit à proposer une révision de ce document.

Cette révision sera assurée de fait par le PPR en cours d'étude pour l'agglomération du Mans.

◆ *PPR*

Le Mans, Allones, Arnage, Coulaines, la Chapelle St Aubin, Yvré l'Evêque - étude en cours de réalisation par le BCEOM.

Ce PPR est en cours de réalisation ; il s'appuie sur un modèle mathématique, étalonné sur la crue de 1995 et réalisé par le bureau d'études BCEOM. Le débit centennal choisi pour définir l'aléa inondation a fait l'objet d'une étude hydrologique dont les résultats, concernant les agglomérations de Coulaines, Le Mans, Arnage, Allones, Yvré l'Evêque, la Chapelle St Aubin, sont les suivants :

• Stations hydrologiques utilisées :

- Montreuil - Sarthe amont ; Surface du bassin versant = 2 716 km²
- La Pécardière - Huisne ; Surface du bassin versant = 1 890 km²
- Spay - Sarthe aval ; Surface du bassin versant = 5 285 km²

• Au Mans, les surfaces des bassins versants des rivières sont les suivantes :

- Sarthe amont ; Surface du bassin versant = 2 740 km²
- Huisne ; Surface du bassin versant = 2 545 km²
- Sarthe aval ; Surface du bassin versant = 5 285 km²

• Les débits caractéristiques aux stations sont les suivants (estimation BCEOM) :

	Q10 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)
- Montreuil - Sarthe amont	280	420
- La Pécardière - Huisne	115	192
- Spay - Sarthe aval	280	500

• La crue de janvier 1995 atteint les débits suivants aux stations (estimation BCEOM) :

	Qmax (m ³ /s)	T (ans)
- Montreuil - Sarthe amont	328	20
- La Pécardière - Huisne	178	70
- Spay - Sarthe aval	462	40

- Les débits caractéristiques aux Mans sont (estimation BCEOM) :

	Q100 (m ³ /s)	Q crue 1995 (m ³ /s)
- Sarthe amont	423	330
- Huisne	242	224
- Sarthe aval	500	462

L'événement centennal retenu par le BCEOM conduit à un exhaussement de 10 à 70 cm pour la Sarthe (de l'aval vers l'amont) par rapport à la crue de 1995, et de 10 à 20 cm pour l'Huisne.

Le tableau suivant présente la comparaison entre les estimations respectives BCEOM et la présente étude :

	Q10 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)
- Montreuil - Sarthe amont	280/250	420/410
- La Pécardière - Huisne	115/125	192/200
- Spay - Sarthe aval	280/330	500/540

Ce qui donne au Mans par extrapolation, les débits suivants :

	Q100 (m ³ /s)
- Sarthe amont	423 / 413
- Huisne	242 / 254
- Sarthe aval	500 / 540

Les valeurs de débits caractéristiques calculées dans la présente étude hydrologique sont cohérentes avec les débits de crue centennale retenus par BCEOM pour élaborer le PPR de l'agglomération du Mans.

Ce document n'appelle donc pas d'observation particulière.

◆ *PPR*

Alençon - en cours d'étude par la DDAF de l'Orne

Ce PPR comprend la commune sarthoise de St Paterne.

◆ Un PPR est prescrit à Sablé/Sarthe.

4.3.3 L'Huisne dans le (72)

◆ PPR

La Ferté Bernard - en cours d'étude par le BCEOM

Les documents provisoires relatifs à cette étude comportent :

- une analyse hydrologique,
 - une cartographie de l'aléa,
 - une cartographie de la vulnérabilité.
- La cartographie de l'aléa est réalisée à partir des résultats du modèle mathématique élaboré par le bureau d'études Hydratec dans le cadre de l'étude : "Lutte contre les inondations" - avril 1996.

L'analyse hydrologique est la suivante :

débits caractéristiques aux stations sont selon les estimations respectives du BCEOM et de la présente étude :

	Q10 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)
- Nogent le Rotrou - Huisne	65/70	105/110
- La Pécardière - Huisne	115/125	192/200

La crue de janvier 1995 aux stations a conduit aux débits suivants (estimation BCEOM) :

	Qmax (m ³ /s)	T (ans)
- Nogent - Huisne	107	100
- La Pécardière - Huisne	178	70

Surface des bassins versants :

- Nogent - Huisne	- Surface du bassin versant = 827 km ²
- La Ferté - Huisne	- Surface du bassin versant amont Môme = 1190 km ²
- La Ferté - Huisne	- Surface du bassin versant aval Môme = 1390 km ²
- La Pécardière - Huisne	- Surface du bassin versant = 1890 km ²

- Les débits caractéristiques à la Ferté Bernard (BCEOM) extrapolés à partir de la Pécardière et de Nogent sont :

	Q10 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q crue 1995 (m ³ /s)
- L'Huisne à la Ferté en aval de la Môme	87	154	145
- La Môme à la Ferté	20	34	-

La crue de 1995 est très proche de la crue centennale en débits et surtout en niveaux.

Les débits caractéristiques à La Ferté sont obtenus en faisant la moyenne des débits extrapolés à partir des stations de la Pécardière et de Nogent.

Les débits caractéristiques entre la présente étude et celle du PPR en cours sont cohérents : Ce document n'appelle donc pas d'observation particulière.

4.4 Département de l'Orne (61)

La Sarthe dans le (61)

◆ *PSS*

Alençon, Condé/Sarthe, St Germain du Corbeis, Cerisé - décret du 29/06/76

Ce PSS est constitué de 2 plans, à l'échelle 1/10 000 et 1/2 500
Il comprend la commune sarthoise de St Paterne.

La méthode d'élaboration du PSS n'est pas précisée.

Sur ce document, les conditions d'écoulement de la rivière la Sarthe sont divisées en deux zones A et B :

La zone A, de grand débit, correspond au lit de la rivière.

La zone B, complémentaire, correspond aux surfaces inondées lors des grandes crues.

La limite des zones inondables semble correspondre à la crue de novembre 1966. Le débit de la crue de 1966 est estimé à 150 m³/s, soit 17 % de moins que l'estimation du débit centennal à Moulin du Désert obtenue dans le cadre de la présente étude.

Les deux plans ne sont pas homogènes : à Condé/Sarthe, le lit majeur en rive droite s'étend sur 275 m sur le plan au 1/2500 et sur 400 m sur le plan au 1/10 000 pour un secteur ne présentant pas d'enjeux particuliers.

Le champ d'inondation de la crue de 1995 s'inscrit dans le PSS. La réalisation du remblai du pont de St Paterne (en 1991) n'a pas modifié les limites de la crue.

Une révision de ce document est proposée pour prendre en compte la morphologie actuelle de la vallée. L'événement de référence à retenir, de période de cent ans, conduit à un débit de pointe de 170 m³/s à Alençon.

Cette révision sera assurée de fait par le PPR en cours d'étude à Alençon.

◆ *PPR*

Alençon - en cours de réalisation par la DDAF de l'Orne

Sur le secteur d'Alençon, un PPR est en cours de réalisation par la DDAF 61. Il s'appuie sur une modélisation mathématique en cours d'élaboration en 1998. Ce PPR permettra de confirmer le PSS et de préciser les vitesses d'écoulement et les durées de submersion.

La crue de référence à retenir pour la mise à jour doit être de période de retour cent ans, soit 180 m³/s en débit de pointe à la station hydrométrique de Moulin du Désert, et 170 m³/s en débit de pointe à Alençon.

4.5 Département de la Mayenne (53)

La Mayenne dans le (53)

◆ *PSS*

Laval - décret du 11/09/62

Ce PSS établit des servitudes au droit d'un secteur limité au sud de Laval. La zone inondable réglementée se situe entre la laiterie Besnier et la nouvelle station d'épuration en cours de construction (lieu-dit : Le Bois Gamast). Il ne représente pas une limite de crue, mais une zone d'écoulement que les Services de l'Etat ont soumis à réglementation. La zone inondable réglementée reste à l'intérieur du champ d'inondation de la crue de 1974 de débit de pointe de période de retour 70 ans à Laval.

Pour prendre en compte un événement de référence centennal, ce document mériterait d'être complété et étendu à l'ensemble de l'agglomération de Laval.

◆ *PSS*

Azé - Chateau Gontier - décret du 11/09/62

Ce PSS établit des servitudes au droit d'un secteur limité à l'aval de Chateau-Gontier. La zone inondable réglementée se situe en rive gauche de part et d'autre du remblai du pont de l'Europe. Il ne représente pas une limite de crue, mais une zone d'écoulement que les Services de l'Etat ont soumis à réglementation. La zone inondable réglementée reste inférieure au champ d'inondation de la crue de 1995 de même importance que la crue de 1974 et dont le débit de pointe est de période de retour 60 ans à Chateau-Gontier.

Pour prendre en compte un événement de référence centennal, ce document mériterait d'être complété et étendu à l'ensemble de l'agglomération de Chateau-Gontier.

◆ *PPR*

Mayenne, Moulay, St Baudelle - en cours d'approbation

ANTEA a réalisé l'étude des zones inondables en 1996 à partir d'une synthèse des informations historiques disponibles, complétée par une enquête de terrain.

Les crues historiques de référence utilisées pour établir la carte de l'aléa sont les crues de 1974 et 1995.

Elles sont estimées d'ordre au moins centennal à partir des ajustements statistiques sur les niveaux au barrage de Mayenne (reconstitués à partir des données disponibles à l'échelle du Pendu à Château-Gontier).

La surface du bassin versant de la rivière Mayenne à Mayenne est de 1915 km².

Les caractéristiques des crues à St Fraimbault (1 851 km²) sont :

	Qmax (m ³ /s)	T (ans)
Crue de 1995	344	40

La crue de 1974 a atteint la cote 3,25 m à l'échelle de crue de Mayenne ce qui correspond à un débit de 400 m³/s environ à St Fraimbault, soit 60 ans pour la période de retour du débit de pointe de la crue.

L'étude des zones inondables à Mayenne a permis de dresser une carte de l'aléa pour la ville de Mayenne pour un débit de période de retour de seulement 60 ans environ. Les événements de références utilisés (crues de 1995 et 1974) ne sont pas de période de retour 100 ans.

Une révision des études du PPR est proposée en prenant comme événement de référence la crue centennale, soit un débit de pointe de 480 m³/s dans l'agglomération de Mayenne.

◆ *PPR*

Laval, Changé, L'Huisserie - en cours d'approbation

Le BRGM a réalisé l'étude des zones inondables en 1994 à partir d'une synthèse des informations historiques disponibles, complétée par une enquête de terrain.

Les crues de référence utilisées pour établir la carte de l'aléa sont : 1974 (plus forte crue connue) et 1966.

Ces crues sont estimées d'ordre au moins centennal à partir des statistiques sur les niveaux à l'échelle du Pendu à Château Gontier. La crue de 1995 d'ampleur comparable à 1966, a permis une vérification et une confirmation de la carte de l'aléa établie en 1994.

La surface du bassin versant de la Mayenne à Laval est de 2800 km².

La présente étude hydrologique a cependant conduit aux estimations suivantes :

	Qmax (m ³ /s)	T (ans)
Crue de 1974	604	70
Crue de 1995	517	40

Cette étude a permis l'extension des secteurs à préserver par rapport au décret de 1962. Cependant la période de retour des crues de référence est insuffisante pour représenter l'aléa de période de retour 100 ans.

Il est donc proposé une révision des études du PPR en prenant comme événement de référence la crue centennale, soit un débit de pointe de 670 m³/s dans la traversée de l'agglomération de Laval.

◆ *PPR*

Chateau Gontier, Azé, Fromentières, Loigné/Mayenne, Ménil, Saint Fort -en cours d'approbation

ANTEA a réalisé l'étude des zones inondables en 1995 à partir d'une synthèse des informations disponibles dans le passé, complétée par une enquête de terrain.

Les crues historiques de référence utilisées pour établir la carte de l'aléa sont les crues de 1966, 1974 et 1995.

Les crues de 1974 et 1966 ont été estimées d'ordre au moins centennal à partir des statistiques sur les niveaux au barrage du Pendu à Chateau Gontier.

La surface du bassin versant de la Mayenne à Chateau-Gontier est de 3906 km².

La présente étude hydrologique a cependant conduit aux estimations suivantes :

	Q (m ³ /s)	T (ans)
Crue de 1974	777	60
Crue de 1995	666	40

La crue de 1966 est équivalente à la crue de 1974.

Cette étude a permis l'extension des secteurs à préserver par rapport au décret de 1962. Cependant la période de retour des crues de référence est insuffisante pour représenter l'aléa de période de retour 100 ans.

Il est donc proposé une révision des études du PPR en prenant comme événement de référence la crue centennale, soit un débit de pointe de 920 m³/s dans l'agglomération de Chateau-Gontier.

4.6 Département du Maine-et-Loire (49)

Ce département comprend la Maine et les tronçons du Loir, de la Sarthe, de la Mayenne, de l'Oudon dans le remous de la Maine. En effet, en raison de la proximité de la Loire et des faibles pentes d'écoulement, le niveau des rivières, lors des crues exceptionnelles dépend du niveau de la Maine à Angers, lui-même dépendant de la somme des débits de la Loire et de la Maine.

4.6.1 La Mayenne dans le (49)

◆ **PSS**

Montreuil/Maine, Le Lion d'Angers, Thorigné d'Anjou, Grez Neuville, La Membrolle Longuenée, Pruillé, Feneu, Montreuil Juigné, Cantenay-Epinard, Angers - décret du 29/07/67

Il est composé d'un plan à l'échelle 1/10 000 ancien et assez peu précis et reporté sur un plan à l'échelle 1/2 500 (plan parcellaire) depuis l'aval du barrage de Montreuil jusqu'au confluent avec la Maine.

Le PSS est basé sur les crues des hivers 1960-61 selon la notice explicative jointe au PSS.

La rivière Mayenne ne connaît pas de crues exceptionnelles pendant les hivers 1960 et 1961.

Le niveau maximum à Angers au pont de Verdun est de 5.8 m en 1960 (période de retour 5 ans en niveaux), 6.1 m en 1961 (période de retour 15 ans en niveaux) ; la crue de 1995 atteint la cote de 6.69 m (période de retour de l'ordre de cent ans et correspondant aux plus hautes eaux connues).

La comparaison du PSS et des zones inondées en 1995 permet de constater que certains secteurs inondés en 1995 ne sont pas indiqués dans le PSS (à Montreuil en rive gauche, en rive droite à l'Aubinière).

Compte tenu des aménagements ayant pour conséquence une modification des conditions d'écoulement (mise en place de déviations avec remblais dans le lit majeur, remplacement d'ouvrages hydrauliques, modifications de routes, déblais...) depuis 1967, du choix de la période de retour de la crue de référence, ce document mériterait d'être révisé sur un fond de plans précis et récent, en tenant compte d'un événement de référence de période de retour cent ans.

4.6.2 La Sarthe dans le (49)

◆ **PSS**

Chemiré/Sarthe, Morannes, Brissarthe, Chateaufort/Sarthe, Juvardail, Tiercé, Etriché, Cheffes, Ecoflant, Contigne, Daumeray, Briollay, Soulaire et Bourg, Cantenay Epinard - décret du 02/11/66

Il couvre l'ensemble de la Sarthe dans le Maine-et-Loire (plan à l'échelle 1/10 000).

Les limites des zones B entre le PSS de la Maine et la Sarthe ne sont pas homogènes : le secteur de la zone industrielle St Serge est couverte par une zone B dans le PSS de la Sarthe et n'appartient plus à la zone B dans le PSS de la Maine.

Le PSS est basé sur les crues des hivers 1960-61 selon la notice explicative jointe au PSS. La crue de 1961 pour la Sarthe n'est pas exceptionnelle : temps de retour 11 ans à Sablé/Sarthe.

Le niveau maximum à Angers au pont de Verdun est de 5.8 m en 1960 (période de retour 5 ans en niveaux), 6.1 m en 1961 (période de retour 15 ans en niveaux) ; la crue de 1995 atteint la cote de 6.69 m (période de retour de l'ordre de cent ans et correspondant aux plus hautes eaux connues).

Le champ d'inondation de la crue de 1995 est plus large que celui indiqué dans le PSS et notamment :

- à l'amont de Morannes en rive droite,
- au niveau de Cheffes.

Compte tenu des aménagements ayant pour conséquence une modification des conditions d'écoulement (mise en place de déviations avec remblais dans le lit majeur, remplacement d'ouvrages hydrauliques, modifications de routes, déblais...) depuis 1964, de la période de retour de la crue de référence, ce document mériterait d'être révisé sur un fond de plan précis et récent, en tenant compte d'un événement de référence de période de retour cent ans.

4.6.3 Le Loir dans le (49)

◆ **PSS**

Durtal, Lezigné, Huilé, Baracé, Montreuil/Loir, Seiches/Loir, Corzé, Villevêque, Briollay, Ecoflant, Tiercé - décret du 02/11/66

Il est composé d'un plan à l'échelle 1/10 000 ancien et assez peu précis. Le PSS est basé sur les crues des hivers 1960-61 selon la notice explicative jointe au PSS.

La crue du Loir de 1961 (462 m³/s à Durtal) est équivalente en débit à la crue de 1995 (457 m³/s), de période de retour 55 ans à Durtal.

Le niveau maximum à Angers au pont de Verdun est de 5.8 m en 1960 (période de retour 5 ans en niveaux), 6.1 m en 1961 (période de retour 15 ans en niveaux) ; la crue de 1995 atteint la cote de 6.69 m (période de retour de l'ordre de cent ans et correspondant aux plus hautes eaux connues).

La comparaison du PSS et des zones inondées en 1995 permet de constater que certains secteurs inondés en 1995 ne sont pas indiqués sur le PSS (rive gauche en amont de Prigné, en rive droite à l'aval de Seiches ...).

Compte tenu des aménagements ayant pour conséquence une modification des conditions d'écoulement (mise en place de déviations avec remblais dans le lit majeur, remplacement d'ouvrages hydrauliques, modifications de routes, déblais...) depuis 1966, du choix de la période de retour de la crue de référence, ce document mériterait d'être révisé sur un fond de plan précis et récent en tenant compte d'un événement de référence de période de retour cent ans.

4.6.4 La Maine dans le (49)

◆ **PSS**

Angers, Sainte Gemmes sur Loire, Bouchemaine - décret du 24/02/64.

Il couvre l'ensemble de la Maine, depuis le confluent Sarthe Mayenne jusqu'à la Loire (plan à l'échelle 1/10 000 et 1/5000).

Le PSS est basé sur les crues des hivers 1960-61 selon la notice explicative jointe au PSS, pour lesquelles le niveau de la Loire n'était pas exceptionnellement haut. Les crues de 1910, 1936 et 1995 étaient plus importantes pour la Loire.

Le niveau maximum à Angers au pont de Verdun est de 5.8 m en 1960 (période de retour 5 ans en niveaux), 6.1 m en 1961 (période de retour 15 ans en niveaux) ; la crue de 1995 atteint la cote de 6.69 m (période de retour de l'ordre de cent ans et correspondant aux plus hauts niveaux connus).

Le champ d'inondation de la crue de 1995 est plus important que celui indiqué dans le PSS et notamment :

- entre le pont de Verdun et le pont de Haute Chaîne en rive gauche (Angers)
- zone industrielle St Serge (Angers)
- au niveau de l'Avenue de l'Atlantique, en rive gauche
- ensemble sportif de la Baumette.

Compte tenu des aménagements ayant pour conséquence une modification des conditions d'écoulement (mise en place de déviations avec remblais dans le lit majeur, remplacement d'ouvrages hydrauliques, modifications de routes, déblais...) depuis 1964, de la période de retour de la crue de référence, ce document mériterait d'être révisé sur un fond de plan précis en prenant comme événement de référence la crue de janvier 1995, de période de retour 100 ans en niveaux au pont de Verdun à Angers.

5. Propositions en vue de l'homogénéité des plans réglementaires pour la prévention du risque inondation sur le bassin de la Maine

Dans cette partie, une méthodologie est proposée :

- d'une part pour la révision des documents existants qui le justifient
- d'autre part pour l'établissement de PPR pour les secteurs actuellement non couverts par des plans réglementaires.

Ces propositions ne portent que les hypothèses hydrologiques.

Une carte schématique des plans réglementaires est présentée en *figure D.1*. Cette carte résume également les propositions du chargé d'étude pour les secteurs non couverts par un document réglementaire et pour les documents pour lesquels une évolution est suggérée.

Un tableau résumant, pour l'ensemble des documents réglementaires existants, les propositions faites dans le cadre d'une approche homogène sur le bassin est présenté en *figure D.2*.

Un tableau résumant les propositions de PPR pour les secteurs non couverts actuellement est également présenté en *figure D.3*.

Dans ces tableaux, un ordre de priorité de réalisation est attribué à chaque proposition de révision ou de réalisation de PPR.

L'ordre de priorité dépend essentiellement de la vulnérabilité du secteur et de la prise en compte actuelle du risque d'inondation.

5.1 Description des types d'études à mettre en oeuvre

5.1.1 Les études hydrauliques

Le but de ces études est de déterminer, sur un secteur donné et pour un événement de période de retour cent ans, les conditions d'écoulement nécessaires à l'établissement de cartes de l'aléa inondation :

- hauteurs d'eau,
- vitesses d'écoulement,
- durées de submersion.

On peut distinguer plusieurs niveaux d'études qui permettent d'établir avec plus ou moins de précision ces éléments. Elles sont décrites dans les paragraphes suivants.

5.1.2 Etudes hydrologiques

L'étude hydrologique permet de déterminer les débits et hydrogrammes caractéristiques de la rivière à prendre en compte pour l'estimation de la ligne d'eau, des vitesses et des durées de submersion. Elle est à faire en préalable à toute étude de PPR.

5.1.3 Approche hydrogéomorphologique de la plaine alluviale

L'approche géomorphologique permet la description et l'explication du relief terrestre, lui-même constitué par un système de pentes ou de versants.

En général, le profil transversal d'une plaine alluviale moderne montre l'emboîtement des lits d'étiage, mineur, moyen et majeur.

Les critères permettant la délimitation des lits concernent la morphologie (forme de la vallée), la sédimentologie (nature des formations alluvionnaires déposées par le cours d'eau) et l'occupation des sols (implantation de la couverture naturelle, localisations des constructions, organisation de l'exploitation agricole).

L'approche hydrogéomorphologique consiste à mettre en évidence les éléments naturels et anthropiques caractéristiques qui participent à l'écoulement des eaux.

La méthode repose sur l'utilisation de plusieurs types d'informations et différentes techniques de traitement de données (cartes, levés topographiques, photos aériennes, archives, observations de terrain).

La première étape est l'établissement de la cartographie hydrogéomorphologique (morphologie, sédimentologie, occupation des sols) servant de support aux interprétations suivantes :

- interprétation qualitative qui consiste à affecter aux unités hydrogéomorphologiques une caractérisation en terme de niveau d'exposition d'aléa. Il faut noter que le niveau d'aléa du lit majeur est relativement difficile à évaluer ;
- interprétation semi-quantitative en intégrant dans la démarche des données quantitatives (débits des crues caractéristiques, PHEC, fréquence...) permet d'affecter aux unités hydrogéomorphologiques un ordre de grandeur des hauteurs d'eau, des vitesses d'écoulement et des durées de submersion ;
- une interprétation quantitative en s'appuyant sur un modèle mathématique.

La mise en œuvre de l'approche hydrogéomorphologique est rapide et peu coûteuse. Elle permet de cartographier rapidement d'importants linéaires de plaine alluviale concernant à la fois des cours principaux et leurs affluents, souvent négligés.

Couplée à la connaissance des crues historiques et à l'analyse hydrologique, elle permet l'établissement de cartes assez précises de l'aléa.

5.1.4 Etudes d'archives, enquêtes de terrain et relevés des crues historiques

La synthèse des informations sur les crues du passé permet de reconstituer une ligne d'eau, les vitesses et les durées de submersion.

La méthodologie est la suivante :

- synthèse des résultats des études antérieures et des données existantes
- reconnaissance/enquête de terrain : identification des repères de crues et des zones inondées
- nivellement des repères de crues
- reconstitution des lignes d'eau (analyse critique des informations recueillies)
- tracé des zones inondées

5.1.5 La modélisation mathématique

Un modèle mathématique est un outil de simulation qui permet de connaître et expliquer les conditions d'écoulements dans une rivière. L'étude hydrologique de la rivière précède cette étude et constitue une partie des données d'entrée de la modélisation. Le but d'un tel modèle est de décrire de manière précise les écoulements dans une rivière (niveaux, débits, vitesses ...) correspondant à des événements donnés.

Les modèles permettent de résoudre les équations des écoulements à surface libre graduellement variés en régime permanent ou transitoire en représentant sur plusieurs kilomètres ou dizaines de kilomètres de rivière l'évolution des lignes d'eau en fonction des débits entrants (rivière principale et affluents), des débordements dans le lit majeur ou dans les zones d'accumulation. Les modèles permettent également de représenter les conditions d'écoulement liées à des modifications de gestion des zones inondables ou la mise en place d'aménagements. Le modèle mathématique permet une connaissance précise de la ligne d'eau, des vitesses et des durées de submersion.

Un modèle est un ensemble complet comprenant une représentation de la topographie (lit mineur, lit majeur et champ d'expansion) du terrain et un jeu de paramètres associés résultant de leur adaptation aux données observées.

L'étalonnage du modèle consiste en effet à ajuster certains paramètres (coefficients de frottement, coefficients de débit, répartition lit mineur-lit majeur, casiers d'expansion des crues ...) de manière à reconstituer d'une part, les cotes observées, et d'autre part, l'évolution dans le temps des limnigrammes ou hydrogrammes enregistrés lors d'événements de crue.

A partir d'un modèle correctement étalonné, il sera possible par la suite de simuler une crue donnée (par exemple, la centennale) que l'on n'a pas encore observée sur le bassin dans les conditions actuelles d'occupation des sols.

La précision des résultats d'un modèle mathématique dépend principalement :

- de la finesse des levés bathymétriques et topographiques,
- du nombre et de la précision des observations disponibles pour l'étalonnage du modèle,
- les conditions d'écoulement du tronçon à simuler.

5.1.6 Les études topographiques

Pour délimiter de manière fiable les limites d'un champ d'inondation, les hauteurs d'eau, il faut pouvoir disposer d'un fond de plan suffisamment fiable et précis.

On distingue plusieurs types de carte (représentation conventionnelle) ou plans (représentation plane précise).

- Carte IGN à l'échelle 1/25 000
La précision altimétrique est de 1 m sur les points cotés et 2 à 3 m sur les courbes de niveau. La précision planimétrique est de l'ordre de 5 à 7,50 m. Ces cartes peuvent être difficilement utilisées pour tracer les limites d'un champ d'inondation. On les utilisera essentiellement pour le report des informations.
- Banque de données topographiques (BD topo) de l'IGN
Elle a le même contenu que les cartes au 1/25 000 avec la précision de 0,6 m en altimétrie et 2 m en planimétrie. Cette banque de données est intéressante pour le report des informations.
- Fond de plan topographique

Une bonne échelle pour tracer la carte d'aléa avec précision est le 1/5 000. Il existe plusieurs méthodes pour l'établissement des fonds de plan topographiques : levés terrestres, photogrammétrie et GPS (Global Positioning System).

5.2 Découpage en sections homogènes

Le découpage des rivières en sections homogènes et la description de chaque tronçon sont présentés dans le rapport hydrologique. Ce découpage est repris pour établir le plan de travail des documents réglementaires à élaborer.

Les tronçons de rivière sont les suivants :

- Loir dunois : en amont de Morée
- Loir vendômois : de Morée au confluent avec la Braye
- Loir fléchois : du confluent avec la Braye à Durtal
- Loir dans le remous de la Maine

- Sarthe normande : en amont de Mieuxcé
- Haute Sarthe mancelle : de Mieuxcé au Mans
- Sarthe aval : en aval du Mans
- Sarthe aval dans le remous de la Maine

- Huisne

- Haute Mayenne : en amont de Mayenne
- Mayenne lavalloise : de Mayenne à Chambellay
- Mayenne angevine dans le remous de la Maine

- Oudon

- Maine

5.3 Plan de travail relatif à l'élaboration des documents réglementaires

5.3.1 Loir Dunois : en amont de Morée

◇ Informations historiques

Les principales crues connues sont :

- janvier 1961 (80 ans à St Maur)
(300 m³/s à Villavard - 70 ans)
- avril 1983 (124 m³/s à St Maur - 25 ans)
(256 m³/s à Villavard - 35-40 ans)
- novembre 1984 (102 m³/s à St Maur - 10 ans)
(201 m³/s à Villavard - 10-15 ans)
- janvier 1995 (147 m³/s à St Maur - 55 ans)
(244 m³/s à Villavard - 30 ans).

Les zones inondables connues sont répertoriées dans un atlas réalisé après la crue de 1995 pour le département (28). La limite des zones inondables pour le Loir dans le département de l'Eure-et-Loir est donc bien définie pour une période de retour élevée (55 ans).

◇ Les enjeux

Pour le Loir, les principales agglomérations sensibles aux inondations du Loir et donc particulièrement concernées par la prise en compte du risque inondation sont Bonneval (4420 hab.), Chateaudun (14 500 hab.), Cloyes/Loir (2 600 ha.) ; on peut également citer Alluyes (600 hab.) et Saumeray (350 hab.). Pour le reste le lit majeur est essentiellement constitué de prairies et de terres agricoles.

Les dégâts concernent essentiellement des habitations et des commerces, quelques usines ainsi que l'hôpital psychiatrique de Bonneval.

La période de retour du débit de début de dommage est de l'ordre 20 ans pour ce tronçon de rivière.

◇ Objectifs poursuivis

Une connaissance fine de l'aléa centennal pour les agglomérations de Bonneval, Chateaudun et Cloyes/Loir est indispensable compte tenu des enjeux, pour déterminer de manière précise les zones réglementées sur des critères de constructibilité.

Pour le Loir en dehors de ces agglomérations, une précision moyenne s'avère suffisante.

◇ Propositions pour l'élaboration d'un PPR

Pour Chateaudun, un modèle mathématique a permis en 1986 de déterminer le champ d'inondation pour une crue centennale (débit cohérent avec l'estimation hydrologique de la présente étude) et de délimiter une zone inconstructible. Il serait intéressant de compléter ce plan avec des valeurs de vitesses et hauteurs d'eau issues de l'exploitation du modèle mathématique (carte d'aléa complète).

Une modélisation mathématique pourrait être utilisée pour établir les cartes d'aléa inondation pour Cloyes et Bonneval.

Un examen plus approfondi de la topographie du secteur permettra de s'assurer de la pertinence de l'utilisation d'un modèle mathématique.

Les modèles réalisés en 1987 par Hydratec pourraient être éventuellement réutilisés en les mettant à jour.

Pour le Loir en dehors de ces agglomérations, une ligne d'eau de crue centennale (230 m³/s à St Maur) pourra être reconstituée en majorant la laisse de crue de 1995 (147 m³/s) d'une hauteur représentative de la différence de débit. Cette surcote peut être estimée à partir de l'analyse des courbes de tarage des échelles de crue (existantes, à réactualiser, à établir). A la station hydrométrique de St Maur, la surcote est de l'ordre de 40 cm. Les vitesses et les durées de submersion dépendent de la configuration des lieux et peuvent être estimées avec une précision moyenne. Cette ligne d'eau complétée par une enquête de terrain pourra

permettre l'établissement d'une carte de l'aléa tenant compte des hauteurs d'eau, des vitesses et des durées de submersion.

5.3.2 Loir Vendômois : de Morée au confluent avec la Braye

◇ Informations historiques

Les principales crues connues sont :

janvier 1961	(300 m ³ /s à Villavard - 70 ans)
avril 1983	(256 m ³ /s à Villavard - 35-40 ans)
novembre 1984	(201 m ³ /s à Villavard - 10-15 ans)
janvier 1995	(244 m ³ /s à Villavard - 30 ans)

Les zones inondables connues sont répertoriées dans un atlas réalisé après la crue de 1995.

Une carte de l'aléa du risque inondation centennal permet de dresser la synthèse des informations des crues 1961 et de 1995.

◇ Les enjeux

Le Loir dans le département du Loir-et-Cher traverse des agglomérations importantes comme Vendôme (17 500 hab.), Montoire (4 100 hab.) particulièrement sensibles aux inondations. Pour le reste, le lit majeur est essentiellement constitué de prairies et de terres agricoles.

Les dégâts concernent essentiellement des habitations et des commerces, quelques usines, ainsi que l'hôpital de Vendôme.

La période de retour du débit de début de dommage est de l'ordre 5 à 10 ans.

◇ Objectifs poursuivis

Une connaissance fine de l'aléa centennal pour Montoire et Vendôme (de St Ouen à Naveil) est indispensable compte tenu des enjeux, pour déterminer de manière précise les zones réglementées sur des critères de constructibilité.

Pour le Loir en dehors de ces agglomérations, une précision moyenne s'avère suffisante.

◇ Propositions pour l'élaboration d'un PPR

Un PPR est en cours d'élaboration pour couvrir l'ensemble du Loir dans le département du Loir-et-Cher. Une carte de l'aléa a été tracée en reconstituant la ligne d'eau centennale par décalage de la laisse de la crue de janvier 1995. Cette carte est cohérente avec la présente étude hydrologique.

Pour les agglomérations de Vendôme et Montoire, la réalisation des PPR s'appuie sur des modèles mathématiques.

5.3.3 Loir Fléchois : entre le confluent avec la Braye et Durtal

◇ Informations historiques :

Les principales crues connues sont :

janvier 1961	(462 m ³ /s à Durtal - 55 ans)
avril 1983	(364 m ³ /s à Durtal - 20 ans)
novembre 1984	(292 m ³ /s à Durtal - 8 ans)
janvier 1995	(457 m ³ /s à Durtal - 55 ans)

Les zones inondées lors de la crue de 1995 font l'objet d'un plan à l'échelle 1/10 000 (carte IGN 1/25000 agrandie).

◇ Les enjeux

Le Loir dans le (72) traverse des agglomérations importantes comme La Flèche (15 000 hab.), La Chartre/L (1 700 hab.) et Durtal (3 200 hab.) sensibles aux inondations. La période de retour du débit de début de dommages est de l'ordre de 5 à 10 ans.

La commune de La Flèche est particulièrement vulnérable avec 500 habitations inondées en 1995, 450 en 1983.

La vallée du Loir et son champ d'inondation sont généralement larges et l'occupation des sols est à dominante agricole (terres cultivées et prairies dans les points les plus bas).

◇ Objectifs poursuivis

Une connaissance fine de l'aléa centennal pour La Flèche, est nécessaire compte tenu des enjeux, pour déterminer de manière précise les zones réglementées sur des critères de constructibilité. Un PPR est en cours d'élaboration pour cette ville et s'avère cohérent avec les résultats de la présente étude hydrologique.

Une connaissance précise de l'aléa centennal pour Durtal n'est pas nécessaire. Un PSS existe pour cette ville, sa révision a été proposée.

Pour le Loir en dehors de la Flèche, une précision moyenne s'avère suffisante.

◇ Propositions pour l'élaboration d'un PPR

Pour La Flèche, une étude fine de l'aléa a été effectuée et le PPR concernant cette agglomération a été approuvé le 16/7/98. Il n'amène pas de remarques particulières de la part du chargé d'étude.

Pour le Loir en dehors de la traversé de La Flèche, une ligne d'eau de crue centennale (590 m³/s à Durtal) pourra être reconstituée en majorant la laisse de crue de 1995 (457 m³/s à Durtal) d'une hauteur représentative de la différence de débit. Cette surcote peut être estimée à partir de l'analyse des courbes de tarage des échelles de crue (existantes, à réactualiser, à établir). A la station hydrométrique de Durtal, cette surcote est de l'ordre de 65 cm. A la Chartre sur Loir, la surcote est estimée à 50 cm en extrapolant la courbe Q(h) de l'échelle de crue. Au Lude, la surcote est estimée à 25 cm en extrapolant la courbe Q(h) de l'échelle de crue. A Nogent sur le Loir, en utilisant les résultats de l'étude Hydratec, la surcote est de l'ordre de 25 cm.

Les vitesses et les durées de submersion dépendent de la configuration des lieux et peuvent être estimées avec une précision moyenne.

Cette ligne d'eau complétée par une enquête de terrain pourra permettre l'établissement d'une carte de l'aléa tenant compte des hauteurs d'eau, des vitesses et des durées de submersion.

Cette carte permettra de réviser le PSS établi par décret en 1966, pour le Loir dans le Maine-et-Loire.

5.3.4 Sarthe normande : en amont de Mieucé

◇ Informations historiques

à la station de Moulin du Désert :

novembre 1966	(150 m ³ /s - période de retour 60 ans), plus forte crue connue
février 1990	(72 m ³ /s - période de retour 3 ans)
janvier 1993	(116 m ³ /s - période de retour 20 ans)
janvier 1995	(143 m ³ /s - période de retour 50-55 ans)
février 1996	(87 m ³ /s - période de retour 6 ans)

Un atlas des zones inondables de Basse-Normandie a été réalisé en 1996, il présente des cartes de zones inondées et des cartes de zones inondables et aléas. Les fonds de plans sont les cartes IGN agrandies à l'échelle 1/10 000 pour les agglomérations et 1/25 000 pour les zones moins vulnérables.

◇ Les enjeux

La Sarthe est une rivière à écoulement lent dans le secteur d'Alençon. Le lit mineur déborde rapidement dans un lit majeur plat très large (500 m).

Les principaux enjeux sont les agglomérations d'Alençon (30 000 hab.) et dans une moindre mesure Le Mêle/Sarthe (710 hab.) et Mieuxcé (570 hab.). En 1995, une centaine d'habitations ont été touchées à Alençon. On peut également noter la présence de l'usine Moulinex (3000 salariés) et du centre hospitalier situés dans le champ d'inondation.

◇ Objectifs poursuivis

Une connaissance fine de l'aléa centennal pour l'agglomération d'Alençon (de Cerisé à Condé/Sarthe), est indispensable compte tenu des enjeux, pour déterminer de manière précise les zones réglementées sur des critères de constructibilité. Un PPR est en cours d'élaboration pour cette agglomération par la DDAF de l'Orne.

Pour la Sarthe en dehors d'Alençon, une précision moyenne s'avère suffisante.

◇ Propositions pour l'élaboration d'un PPR

Il est proposé de retenir comme débit de pointe de la crue centennale, soit 180 m³/s à la station hydrométrique de Moulin du Désert.

Pour la Sarthe en dehors de la traversée de l'agglomération d'Alençon, une ligne d'eau de crue centennale pourra être reconstituée en majorant la laisse de crue de 1995 (147 m³/s à Moulin du Désert) d'une hauteur représentative de la différence de débit. Cette surcote peut être estimée à partir de l'analyse des courbes de tarage des échelles de crue (existantes, à réactualiser, à établir).

A la station hydrométrique de Moulin du Désert, la surcote est de l'ordre de 40 cm. Les vitesses et les durées de submersion dépendent de la configuration des lieux et peuvent être estimées avec une précision moyenne.

Cette ligne d'eau complétée par une enquête de terrain pourra permettre l'établissement d'une carte de l'aléa tenant compte des hauteurs d'eau, des vitesses et des durées de submersion.

5.3.5 Haute Sarthe mancelle : de Mieuxcé a l'amont du Mans

◇ Ancienneté et validité des informations historiques

à la station de Montreuil :

novembre 1966

janvier 1993 (217 m³/s - période de retour 6 ans)

janvier 1995 (322 m³/s - période de retour 40 ans)

février 1996 (213 m³/s - période de retour 5 ans)

février 1997 (224 m³/s - période de retour 6 ans)

Une cartographie du champ d'inondation de la crue de 1995 sur fond de plan carte IGN à l'échelle 1/25 000, agrandie à l'échelle 1/10 000, a été réalisée à partir de relevés de terrain.

◇ Les enjeux

De Mieuxcé à Fresnay, la Sarthe traverse les Alpes mancelles dans une vallée étroite sans enjeux particuliers (quelques habitations inondées) : le champ d'inondation ne dépasse pas 200 m de large jusqu'au Gué Ory, et 400 m du Gué Ory à Fresnay.

De Fresnay à Beaumont/Sarthe, le champ d'inondation s'élargit jusqu'à atteindre 1 km. Dans ce secteur, les enjeux sont faibles (quelques habitations inondées).

A l'aval et jusqu'au Mans, la Sarthe traverse les agglomérations de St Marceau, Ste Jamme/Sarthe, Montbizot, La Giuerche, Montreuil, Neuville, St Pavace et Coulaines. La crue de 1995 montre que le secteur présente déjà des enjeux plus importants, avec un nombre significatif de bâtiments inondés.

◇ Objectifs poursuivis

Une connaissance fine de l'aléa n'est pas nécessaire compte tenu des enjeux pour ce tronçon de rivière.

Pour la Sarthe entre Mieuxcé et Le Mans, une précision moyenne s'avère suffisante.

◇ Propositions pour l'élaboration d'un PPR

Pour la Sarthe entre Mieuxcé et Le Mans, une ligne d'eau de crue centennale (410 m³/s à Montreuil) pourra être reconstituée en majorant la laisse de crue de 1995 (322 m³/s à Montreuil) d'une hauteur représentative de la différence de débit. Cette surcote peut être estimée à partir de l'analyse des courbes de tarage des échelles de crue (existantes, à réactualiser, à établir). A la station hydrométrique de Montreuil, la surcote est de l'ordre de 50 cm. Les vitesses et les durées de submersion dépendent de la configuration des lieux et peuvent être estimées avec une précision moyenne.

Cette ligne d'eau complétée par une enquête de terrain pourra permettre l'établissement d'une carte de l'aléa tenant compte des hauteurs d'eau, des vitesses et des durées de submersion.

Le cas de l'agglomération du Mans sera évoqué dans le paragraphe suivant.

5.3.6 Sarthe aval, dont l'agglomération du Mans

◇ Ancienneté et validité des informations historiques :

à la station de Spay

avril 1985	(336 m ³ /s - période de retour 10 ans)
janvier 1993	(302 m ³ /s - période de retour 7 ans)
janvier 1995	(462 m ³ /s - période de retour 60 ans)
janvier 1997	(305 m ³ /s - période de retour 7 ans)

à la station de Beffes

avril 1985	(412 m ³ /s - période de retour 10 ans)
janvier 1993	(390 m ³ /s - période de retour 7 ans)
janvier 1995	(600 m ³ /s - période de retour 65 ans)
janvier 1997	(405 m ³ /s - période de retour 8 ans)

Une cartographie du champ d'inondation de la crue de 1995 sur fond de plan carte IGN à l'échelle 1/25 000, agrandie à l'échelle 1/10 000, a été réalisée par le bureau d'études Antéa après la crue de 1995.

◇ Les enjeux

La ville du Mans a subi des dommages importants en 1995 (1500 habitations inondées, biens publics, industrie).

A l'aval du Mans, la Sarthe traverse les agglomérations de Spay (centre de loisirs et quelques habitations inondés en 1995), Filé (quelques habitations inondées en 1995), Guécelard (station d'épuration et quelques habitations inondées en 1995), Roézé/Sarthe (station de pompage et quelques habitations inondées en 1995), La Suze/Sarthe (usine Valéo très importante, usine de traitement des eaux, piscine, camping et quelques habitations inondés en 1995), Fercé/Sarthe (quelques habitations), Noyen/Sarthe (usine, station d'épuration et quelques habitations inondées en 1995), La Grande Sapinière (centre sportif et quelques habitations inondés en 1995), Parcé/Sarthe (quelques habitations inondées en 1995), et l'agglomération de Sablé/Sarthe (379 déclarations de dommages pour les habitations et les commerces).

◇ Objectifs poursuivis

Une connaissance fine de l'aléa centennal pour les agglomérations du Mans (de Coulaines à Arnage) et de Sablé/Sarthe (de Juigné/S à Pincé), est indispensable compte tenu des enjeux, pour déterminer de manière précise les zones réglementées sur des critères de constructibilité.

Pour la Sarthe en dehors de Sablé et du Mans, une précision moyenne s'avère suffisante.

◇ Propositions pour l'élaboration d'un PPR

Un PPR à partir d'un modèle mathématique est en cours d'élaboration pour la Communauté Urbaine du Mans (CUM) : il est cohérent avec les résultats des estimations de la présente étude hydrologique.

Pour la Sarthe entre Le Mans et Juigné/Sarthe, une ligne d'eau de crue centennale (540 m³/s à Spay, 690 m³/s à Beffes) pourra être reconstituée en majorant la laisse de crue de 1995 (462 m³/s à Spay et 600 m³/s à Beffes) d'une hauteur représentative de la différence de débit. Cette surcote peut être estimée à partir de l'analyse des courbes de tarage des échelles de crue (existantes, à réactualiser, à établir). A la station hydrométrique de Spay, la surcote est de l'ordre de 50 cm. A la station hydrométrique de Beffes, la surcote est de l'ordre de 30 cm. Les vitesses et les durées de submersion dépendent de la configuration des lieux et peuvent être estimées avec une précision moyenne.

Cette ligne d'eau complétée par une enquête de terrain pourra permettre l'établissement d'une carte de l'aléa tenant compte des hauteurs d'eau, des vitesses et des durées de submersion.

Pour l'agglomération de Sablé/Sarthe, compte tenu des enjeux importants, un modèle mathématique permettrait de déterminer avec précision la carte d'aléa inondation. Un examen plus approfondi de la topographie du secteur permettra de s'assurer de la pertinence d'une modélisation mathématique.

Le débit de pointe de la crue centennale à Beffes est de 690 m³/s.

5.3.7 Huisne

◇ Informations historiques

à la station de Nogent le Rotrou :

janvier 1993	(82 m ³ /s - période de retour 20 ans)
janvier 1995	(107 m ³ /s - période de retour 85 ans)
février 1997	(58 m ³ /s - période de retour 5 ans)

à la station de Pécardière :

janvier 1993	(102 m ³ /s - période de retour 5 ans)
janvier 1995	(178 m ³ /s - période de retour 50 ans)
février 1997	(89 m ³ /s - période de retour 5 ans)

Une cartographie du champ d'inondation de la crue de 1995 dans la Sarthe sur fond de plan carte IGN à l'échelle 1/25 000, agrandie à l'échelle 1/10 000, a été réalisée après la crue de 1995. Pour l'Huisne dans l'Orne, il existe un atlas des zones inondables de Basse-Normandie (1996).

◇ Les enjeux

Les crues récentes de 1993 et 1995 ont occasionné des dégâts importants dans la vallée de l'Huisne. La largeur du lit majeur de l'Huisne dans sa partie inférieure est de l'ordre de 1000 m. Les endroits les plus vulnérables correspondent aux grandes zones urbanisées : Rémalard (usine, camping et quelques habitations inondés en 1995), Nogent le Rotrou (débit avant débordement 65 m³/s - 7 ans, nombreuses habitations touchées), La Ferté Bernard (qualifiée de « Venise Verte », zone la plus exposée aux inondations de la vallée) et Yvré l'Evêque (une fabrique et quelques habitations inondées en 1995). En dehors des agglomérations les enjeux sont essentiellement agricoles.

◇ Objectifs poursuivis

Une connaissance fine de l'aléa centennal pour les agglomérations de Rémalard, Nogent, La Ferté-Bernard est indispensable compte tenu des enjeux, pour déterminer de manière précise les zones réglementées sur des critères de constructibilité.

Pour l'Huisne en dehors de ces agglomérations, une précision moyenne s'avère suffisante.

◇ Propositions pour l'élaboration d'un PPR

Un PPR est prescrit à Nogent-le-Rotrou. Les études hydrologiques et hydrauliques ont permis de dresser une carte des zones inondables en ajoutant 20 cm à la ligne d'eau centennale calculée avec un modèle mathématique. Cette étude mériterait d'être complétée avec une carte d'aléa tenant compte des vitesses, des durées de submersion et des hauteurs d'eau centennales calculées, sans surcote pour être homogène avec les autres PPR en cours sur le bassin de la Maine.

Un PPR à partir d'un modèle mathématique est en cours pour la Ferté Bernard : il est cohérent avec les résultats de la présente étude hydrologique.

Pour l'agglomération de Rémalard, une carte de l'aléa précise pourrait être établie en s'appuyant sur une modélisation mathématique. Un examen plus approfondi de la topographie du secteur permettra de juger de la nécessité de recourir à ce type d'étude. Le débit centennal est de 85 m³/s à Rémalard.

Pour l'Huisne en dehors de ces agglomérations , une ligne d'eau de crue centennale (110 m³/s à Nogent, 200 m³/s à La Pécardière) pourra être reconstituée en majorant la laisse de crue de 1995 (107 m³/s à Nogent, 178 m³/s à la Pécardière) d'une hauteur représentative de la différence de débit). A la station hydrométrique de la Pécardière, la surcote est de l'ordre de 10 cm. A Nogent, un modèle mathématique a montré que la surcote est 5 cm.

Les vitesses et les durées de submersion dépendent de la configuration des lieux et peuvent être estimées avec une précision moyenne.

Cette ligne d'eau complétée par une enquête de terrain pourra permettre l'établissement d'une carte de l'aléa tenant compte des hauteurs d'eau, des vitesses et des durées de submersion.

5.3.8 Haute Mayenne : en amont de Mayenne

◇ Informations historiques

à la station de Couterne :

février 1990	(86 m ³ /s - période de retour 6 ans)
janvier 1993	(98 m ³ /s - période de retour 9 ans)
janvier 1995	(113 m ³ /s - période de retour 15 ans)

à la station de St Fraimbault :

février 1990	(321 m ³ /s - période de retour 35 ans)
janvier 1993	(276 m ³ /s - période de retour 15 ans)
janvier 1995	(344 m ³ /s - période de retour 40 ans)

Une cartographie des zones inondées en janvier 1995 a été réalisée pour 29 communes de la Mayenne (ville de Mayenne et aval seulement).

Il n'existe pas de tracé en continu du champ d'inondation de la crue de 1995 pour la Mayenne.

◇ Les enjeux

L'occupation des sols est à dominante agricole. La rivière Mayenne traverse les communes de Couptrain, Couterne, St Fraimbault des Prières et Mayenne. On peut rappeler que la Mayenne est au premier rang des départements français pour le pourcentage d'utilisation de ce territoire pour l'agriculture : 85 % en Mayenne pour 56 % en moyenne nationale.

A Mayenne, quelques bâtiments de l'usine Moulinex ont été inondés en 1974 et 1995 ; en ville, ce sont essentiellement des habitations et des commerces qui ont été concernés. A l'aval de la ville, la station d'épuration est également située en secteur inondable.

◇ Objectifs poursuivis

Une connaissance fine de l'aléa centennial pour l'agglomération de Mayenne est indispensable compte tenu des enjeux, pour déterminer de manière précise les zones réglementées sur des critères de constructibilité.

Pour la Mayenne en dehors de l'agglomération de Mayenne, les enjeux sont très faibles et la prescription d'un PPR ne semble pas prioritaire.

◇ Propositions pour l'élaboration d'un PPR

Une carte d'aléa pour l'agglomération de Mayenne a été réalisée à partir d'une synthèse des informations disponibles et d'une enquête de terrain. Cette carte, basée sur les crues de 1974 et 1995 n'est pas représentative d'un aléa centennial. Une modélisation mathématique pourrait être utilisée pour établir une carte d'aléa inondation précise. Un examen plus approfondi de la topographie du secteur permettra de valider l'utilisation d'un modèle mathématique.

Pour la rivière Mayenne en dehors de la ville de Mayenne, si la prescription d'un PPR ne semble pas prioritaire, un atlas des zones inondables de la vallée de la Mayenne pourrait constituer un outil de référence d'aide à la décision et une première étape vers un éventuel PPR. Dans ce cas, ce PPR en dehors de la ville de Mayenne pourrait être réalisé en reconstituant une ligne d'eau centennale par simple décalage par rapport aux crues de 1974 et 1995. A St Fraimbault, la surcote est de l'ordre de 45 cm par rapport à la crue de 1974 en extrapolant la courbe de tarage.

5.3.9 Mayenne Lavalloise : de Mayenne à Chambellay

◇ Informations historiques

à la station de Bonne :

novembre 1974	(604 m ³ /s - période de retour 70 ans)
janvier 1993	(398 m ³ /s - période de retour 15 ans)
janvier 1995	(517 m ³ /s - période de retour 40 ans)

à la station de Château-Gontier :

novembre 1974	(777 m ³ /s - période de retour 60 ans)
janvier 1993	(528 m ³ /s - période de retour 15 ans)
janvier 1995	(666 m ³ /s - période de retour 40 ans)

Une cartographie des zones inondées a été réalisée en janvier 1995 pour 29 communes de la Mayenne.

Un plan continu du champ d'inondation de la crue de 1995 pour la Mayenne n'existe pas ; cependant la DDE de la Mayenne dispose de photos aériennes de la crue entre Laval et Château-Gontier.

◇ Les enjeux

L'occupation des sols est à dominante agricole.

Les points les plus vulnérables correspondent aux grandes zones urbanisées : Laval (habitations, commerces, centre municipal, quelques industries, station d'épuration), Château-Gontier (usine des eaux, piscine, club nautique, habitations, commerces, maternité, station d'épuration sont situés dans le champ d'inondation).

La Mayenne traverse également les agglomérations suivantes : Montgiroux, St Jean/Mayenne, Changé, Laval, Bazouges, Château-Gontier, Ménil, Daon, Chenillé-Changé, Chambellay, où ce sont essentiellement des habitations qui sont situées en zones inondables.

◇ Objectifs poursuivis

Une connaissance fine de l'aléa centennal pour les agglomérations de Laval et Château-Gontier est indispensable compte tenu des enjeux, pour déterminer de manière précise les zones réglementées sur des critères de constructibilité.

Pour la Mayenne en dehors de ces agglomérations, une précision moyenne s'avère suffisante.

◇ Propositions pour l'élaboration d'un PPR

Une carte d'aléa pour l'agglomération de Laval a été réalisée à partir d'une synthèse des informations disponibles et d'une enquête de terrain. Cette carte, basée sur les crues de 1974 et 1966 n'est pas représentative d'un aléa centennal. Une modélisation mathématique pourrait être réalisée pour prendre en compte un aléa centennal. Un examen plus approfondi de la topographie du secteur permettra de valider le recours à la modélisation mathématique. Le débit centennal à l'écluse de Bonne est de 670 m³/s.

Une carte d'aléa pour l'agglomération de Château-Gontier a été réalisée à partir d'une synthèse des informations disponibles et d'une enquête de terrain. Cette carte, basée sur les crues de 1966, 1974 et 1995 n'est pas représentative d'un aléa centennal. De la même manière que pour Laval, un modèle mathématique pourrait être construit pour déterminer la carte d'aléa inondation centennale. Un examen plus approfondi de la topographie du secteur permettra de valider cette proposition.

Le débit centennal à Château-Gontier est de 920 m³/s.

Pour la Mayenne en dehors de ces agglomérations, une ligne d'eau de crue centennale (670 m³/s à l'écluse de Bonne, 920 m³/s à Château-Gontier) pourra être reconstituée en majorant les laisses de crue de 1974 et 1995 d'une hauteur représentative de la différence de débit.

Cette surcote pourra être estimée à partir des courbes de tarage des échelles de crue (existantes, à réactualiser, à établir). A la station hydrométrique de Laval (écluse de Bonne), la surcote est de l'ordre de 20 cm par rapport à la crue de 1974. Les vitesses et les durées de submersion dépendent de la configuration des lieux et peuvent être estimées avec une précision moyenne. Cette ligne d'eau complétée par une enquête de terrain pourra permettre l'établissement d'une carte de l'aléa tenant compte des hauteurs d'eau, des vitesses et des durées de submersion.

5.3.10 Oudon

◇ Informations historiques :

à l'aval de Craon à la station de Marcillé :

janvier 1993	(57 m ³ /s - période de retour 3 ans)
février 1994	(58 m ³ /s - période de retour 3 ans)
janvier 1995	(100 m ³ /s - période de retour 20 ans)
février 1996	(109 m ³ /s - période de retour 30 ans)
février 1997	(90 m ³ /s - période de retour 12 ans)

à l'aval de Segré à la station de Port-aux-Anglais :

1966	(équivalente à la crue de 1995 en niveau à Segré à l'amont de la Verzée)
janvier 1993	(113 m ³ /s, période de retour 4 ans)
janvier 1995	(légèrement moins forte que 1996 en niveau à Segré, 254 m ³ /s, période de retour 45 ans)
février 1996	(229 m ³ /s, période de retour 35 ans)
février 1997	(184 m ³ /s, période de retour 15 ans)

Une cartographie des zones inondées a été réalisée en janvier 1995 pour 29 communes de la Mayenne.

◇ Les enjeux

L'occupation des sols est à dominante agricole. Les points les plus vulnérables correspondent aux zones urbanisées : Craon, Segré où de nombreuses habitations et commerces ont été inondés en 1995.

L'Oudon traverse également les agglomérations suivantes : Montjean, Méral, Athée, Craon, Chatelais, Nyoiseau, Segré, la Chapelle/Oudon, Le Lion d'Angers, où essentiellement quelques habitations sont situées en zone inondable.

◇ Objectifs poursuivis

Une connaissance fine de l'aléa centennal pour les agglomérations de Segré et Craon est indispensable compte tenu des enjeux, pour déterminer de manière précise les zones réglementées sur des critères de constructibilité.

Pour l'Oudon en dehors de ces agglomérations, les enjeux sont très faibles et la prescription d'un PPR ne semble pas prioritaire.

◇ Propositions pour l'élaboration d'un PPR

Pour les agglomérations de Craon et Segré, les cartes d'aléa pourraient être établies avec précision avec un modèle mathématique étalonné sur les crues de 1995 et 1996. Un examen plus approfondi de la topographie du secteur permettra de s'assurer de la pertinence d'un modèle mathématique.

Le débit centennal à Marcillé est de 175 m³/s, soit 90 m³/s à Craon. Le débit centennal à Port aux Anglais est de 330 m³/s, et 310 m³/s à Segré.

Pour l'Oudon en dehors des agglomérations de Craon et Segré, si la prescription d'un PPR ne semble pas prioritaire, un atlas des zones inondables de la vallée de l'Oudon pourrait constituer un outil de référence d'aide à la décision et une première étape vers un PPR.

Un PPR en dehors de Segré et Craon pourrait être réalisé en reconstituant une ligne d'eau centennale par simple décalage de cotes par rapport aux crues de 1996 et 1995.

5.3.11 *Maine et parties basses des rivières situées dans le remous de la confluence Loire-Maine*

Ce secteur comprend la Maine et les tronçons du Loir, de la Sarthe, de la Mayenne, de l'Oudon dans le remous de la confluence de la Maine et de la Loire. En effet, en raison de la proximité de la Loire et des faibles pentes d'écoulement, le niveau des rivières dépend du niveau de la Maine à Angers, qui dépend lui-même de la somme des débits de la Loire et la Maine.

La Maine n'a qu'une longueur de 11 km entre le confluent Sarthe-Mayenne et la Loire. Son hydrologie est déterminée par les apports de ses affluents, la Mayenne, l'Oudon, la Sarthe, et le Loir, dont les débits sont mesurés respectivement à Chambellay, Port aux Anglais, Beffes et Durtal. Cependant, il n'existe pas de relation univoque entre les niveaux et les débits à Angers.

Le niveau de la Maine dépend directement du niveau de la Loire à Montjean, donc du débit (Maine + Loire) à l'aval de la confluence des deux cours d'eau.

En crue, les vallées des rivières offrent de vastes superficies submersibles qui constituent des zones d'accumulation et d'amortissement considérables des crues.

Compte tenu des pentes des rivières et des informations recueillies auprès des services d'annonce de crue et des services hydrométriques, l'influence de la Loire et de la Maine trouve sa limite entre Durtal et Bazouge sur le Loir, entre Beffes et Juigné/Sarthe pour la Sarthe, entre Chambellay et Menil sur la Mayenne, entre Segré et Noyseau sur l'Oudon.

◇ Informations historiques

Les principales crues en niveaux à Angers au pont de Verdun sont les suivantes :

décembre 1910	(6.63 m - 95 ans en niveau)
janvier 1936	(6.53 m - 60 ans en niveau)
janvier 1961	(6.10 m - 15 ans en niveau)
décembre 1982	(6.28 m - 30 ans en niveau)
janvier 1994	(6.03 m - 10 ans en niveau)
janvier 1995	(6.69 m - T # 100 ans en niveau)

Les périodes de retour sont issues de l'ajustement réalisées sur les hauteurs d'eau maximales annuelles au pont de Verdun. Cet ajustement réalisé par le bureau d'études Sogreah (en 1980) sur la période 1929 - 1979 a été mis à jour par le chargé d'études sur la période 1929 - 1995.

Les caractéristiques de la crue de 1995 en débits sont à :

- Beffes : 600 m³/s - 65 ans,
- Chambellay : 794 m³/s - 55 ans,
- Durtal : 457 m³/s - 55 ans.

Le champ d'inondation de la crue de 1995 a fait l'objet de la réalisation d'un atlas dans le Maine-et-Loire.

◇ Les enjeux

Les points les plus vulnérables correspondent aux zones urbanisées. En dehors des agglomérations les enjeux sont essentiellement agricoles.

Le principal enjeu est l'agglomération d'Angers : le centre urbain, la zone industrielle St Serge (notamment le Marché d'Intérêt National) ont été inondés en 1995. Le quartier rive gauche aval du pont de Haute Chaîne (rue Thiers, quai Gambetta, rue Maillé) où beaucoup d'entreprises sont installées, est situé dans le champ d'inondation.

Pour la Sarthe, en 1995, quelques habitations ont été inondées à Chemiré, Morannes, Chateauneuf/Sarthe, Juvardeil, Briollay. Cheffes était complètement inondé en 1995.

Pour le Loir, on constate quelques habitations inondées en 1995 à Villevêque, Seiches, et Durtal.

Pour la Mayenne, seuls quelques habitations et bâtiments ont été inondés à Montreuil-Juigné et Montreuil/Maine.

Pour l'Oudon, deux communes sont situées dans le champ d'inondation de la rivière : Segré et Le Lion d'Angers.

Pour le Lion d'Angers, on recense de nombreuses installations dans le champ d'inondation de la crue de 1995 : l'hippodrome, l'hôpital, des bâtiments d'usines, station d'épuration, station de pompage et des habitations.

Pour Segré, ce sont essentiellement des habitations qui sont touchées par l'inondation.

◇ Objectifs poursuivis

Une connaissance fine de l'aléa centennal pour l'agglomération d'Angers est indispensable compte tenu des enjeux, pour déterminer de manière précise les zones réglementées sur des critères de constructibilité.

Pour les autres rivières, les enjeux sont faibles et la prescription d'un PPR ne semble pas a priori prioritaire. Cependant, compte tenu de la proximité de grandes agglomérations, un PPR avec une précision moyenne permettra d'anticiper et de bien gérer l'extension des zones urbaines. De plus, ce PPR permettra la révision des PSS en vigueur dans le département du Maine-et-Loire.

◇ Propositions pour l'élaboration d'un PPR

Pour la Maine dans la traversée d'Angers et sur ses 11 km, la crue de 1995 pourra servir de crue de référence pour établir la carte d'aléa inondation, compte tenu de sa période de retour en niveau (100 ans). Si les données recueillies pour reconstituer la ligne d'eau, les vitesses, les durées de submersion de la crue de 1995 sont suffisamment précises et détaillées, le recours à la modélisation mathématique ne sera pas nécessaire.

Il faut noter cependant qu'une modélisation mathématique de la Maine et de ses affluents, permettrait la définition précise des limites de l'influence de la Loire et de la Maine.

Pour les affluents de la Maine et dans les limites de l'influence de celle-ci, une ligne d'eau de crue centennale pourra être reconstituée en majorant la laisse de crue de 1995 d'une hauteur représentative de la différence de débit. Cette surcote pourra être estimée à partir des courbes de tarage des échelles de crue, (cf paragraphe suivant), (existantes, à réactualiser, à établir). Les vitesses et les durées de submersion dépendent de la configuration des lieux et peuvent être estimées avec une précision moyenne. Cette ligne d'eau complétée par une enquête de terrain pourra permettre l'établissement d'une carte de l'aléa tenant compte des hauteurs d'eau, des vitesses et des durées de submersion.

◇ Estimation des surcotes à prendre à Chambellay, Beffes et Durtal

A Durtal, la crue de 1995 atteint 457 m³/s (55 ans) ; la surcote permettant de reconstituer la ligne d'eau centennale est de l'ordre de 65 cm.

A Beffes, la station hydrométrique est fortement influencée par l'aval lors de la crue de 1995. La cote maximale atteinte pour la crue 1995 correspond au débit centennal selon la courbe de tarage de la station. Il n'y a donc pas de surcote à appliquer sur la Sarthe.

A Chambellay, la crue de 1995 atteint 794 m³/s (55 ans). Pour cette crue, la station est fortement influencée par la Maine. Le niveau de la Mayenne à Chambellay atteint lors de la crue de 1995 (2.69 m à l'échelle) dépasse le niveau donné par la relation hauteur-débit (avec influence forte de l'aval) pour un débit centennal calculé dans la présente étude (970 m³/s). La crue de 1995 reste donc la référence. Il n'y a donc pas de surcote à appliquer sur la Mayenne.

A Segré, la crue de 1995 atteint 236 m³/s (à la station hydrométrique de Maingué et 254 m³/s, 45 ans à Port-aux-Anglais) ; la station de Maingué, étant faiblement influencée par l'aval en 1995, la surcote permettant de reconstituer la ligne d'eau centennale est obtenue à l'aide de la courbe de tarage de Maingué à Segré, elle est de l'ordre de 70 cm.

Ces surcotes maximales sont estimées au droit des stations hydrométriques ; elles seront à diminuer de manière linéaire pour s'annuler à Angers.

5.4 Fonds de plan des PPR

On distingue deux types de plans correspondant à deux niveaux d'étude différents :

- les plans utilisés pour l'élaboration de la carte d'aléa : ces plans doivent permettre la définition des hauteurs d'eau et la limite du champ d'inondation à partir de la ligne d'eau reconstituée ou calculée représentant une crue de période de retour centennale
- les plans ou cartes utilisés pour le report des informations (laises de crue historique, hauteurs d'eau, vitesses, aléa d'inondation).

Les premiers sont des plans précis et détaillés à l'échelle 1/10 000, ou mieux 1/5 000 établis soit par levés terrestres ou aériens.

Les seconds sont en général des cartes IGN agrandies à l'échelle 1/10 000 ou des supports informatiques comme les fichiers de la base de données BD TOPO de l'IGN. A titre d'exemple, le cout des fichiers BD TOPO est 1600 FHT/km² dans sa version complète, sachant que 23 % du territoire français est actuellement couvert par ce type de fichiers. Sur le bassin versant de la Maine, quelques fichiers sont disponibles et notamment au niveau d'Angers, Alençon et Laval.

Pour chacun des PPR proposés, en fonction des niveaux centennaux reconstitués, la topographie existante peut s'avérer insuffisante pour lever des incertitudes sur l'inondabilité de certains secteurs ou pour estimer les hauteurs d'eau correspondantes. Des levés topographiques seront donc à réaliser.

Lorsque des modèles mathématiques sont préconisés, des profils en travers de la rivière sont à lever ; leur espacement dépend de la complexité de la rivière et de la présence ou non de singularités hydrauliques.

6. Conclusions

La carte en *figure D1* fait le bilan des documents réglementaires et des propositions du chargé d'étude.

L'analyse des documents réglementaires existants a permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- ◇ La rivière le Loir est couverte par des documents réglementaires à Alluyes, Bonneval, Chateaudun, Montigny le Gannelon, dans l'ensemble des départements du Loir-et-Cher et du Maine-et-Loire. Un PPR couvrant l'agglomération fléchoise a été approuvé le 16/7/98. Un PPR est en cours de réalisation pour le Loir dans le Loir-et-Cher.

Les PPR de la Flèche et Chateaudun n'appellent pas d'observation particulière. Le PPR en cours couvrant le Loir dans le Loir-et-Cher est cohérent avec la présente étude.

Pour le Loir en dehors de Chateaudun et du Loir-et-Cher, il est proposé de réaliser des PPR ou réviser les documents existants (PSS du Maine-et-Loire, de Bonneval, Alluyes et Montigny) :

- par modélisation mathématique pour Bonneval et Cloyes/Loir. Un examen plus approfondi des secteurs permettra de s'assurer de la nécessité de recourir à la modélisation
- par reconstitution des lignes d'eau par référence à la crue de 1995 pour le reste de la rivière.

- ◇ La rivière la Sarthe fait l'objet de documents réglementaires à Alençon, au Mans, à Sablé/Sarthe et dans l'ensemble du département du Maine-et-Loire. Des PPR sont en cours de réalisation à Alençon et au Mans. La prise en compte d'un aléa centennal justifie la révision du document réglementaire concernant Sablé/Sarthe par modélisation mathématique. Pour la Sarthe en dehors de ces trois agglomérations, il est proposé de réaliser des PPR, de réviser les documents existants, par reconstitution des lignes d'eau par référence à la crue de 1995.

- ◇ La rivière l'Huisne ne dispose pas de plans réglementaires dans l'état actuel. Des PPR sont en cours de réalisation à Nogent et La Ferté Bernard. Les études du PPR de Nogent-le-Rotrou mériteraient d'être complétées par une carte d'aléa. Pour l'Huisne en dehors de ces deux agglomérations, il est proposé de réaliser des PPR :

- par modélisation mathématique pour Rémalard en s'assurant de la pertinence de la modélisation par un examen plus approfondi de la topographie du secteur
- par reconstitution des lignes d'eau par référence à la crue de 1995 pour le reste de la rivière.

- ◇ La rivière la Mayenne fait l'objet de documents réglementaires à Laval, Château-Gontier et entre Montreuil-sur-Maine et Angers. Des PPR sont en cours de réalisation à Mayenne, Laval et Château-Gontier. La présente étude hydrologique justifie de compléter ces trois PPR pour prendre en compte un aléa centennal réajusté, en s'appuyant sur une modélisation mathématique. Un examen plus approfondi permettra de valider ces propositions.

Ainsi pour la Mayenne, il est proposé de réaliser des PPR ou réviser les documents existants :

- par modélisation mathématique à Mayenne, Laval et Château-Gontier en s'assurant de la nécessité d'une modélisation par un examen plus approfondi de la topographie des secteurs concernés
- par reconstitution des lignes d'eau par référence à la crue de 1995 et 1974 pour le reste de la rivière.

- ◇ L'Oudon ne dispose d'aucun plan réglementaire. Il est proposé de réaliser des PPR :

- par modélisation mathématique pour Craon et Segré en s'assurant de la nécessité d'une modélisation par un examen plus approfondi de la topographie des secteurs concernés
- par reconstitution des lignes d'eau par référence à la crue de 1995 pour le reste de la rivière.

◆ En résumé

Rappelons que les PPR constituent l'un des volets d'une politique globale d'aménagement de l'espace et de la gestion des eaux et qu'ils doivent permettre de prévenir et de limiter les risques liés notamment aux inondations.

C'est à partir de la crue centennale ou d'un évènement historique d'égale importance au moins que seront identifiées les zones inondables et les hauteurs de submersion.

Pour ces zones d'expansion des crues, identifiées comme présentant un intérêt dans l'écrêtement des crues et dans lesquelles se trouveraient implantées des installations, il ne faut pas exclure éventuellement de déplacer celles-ci.

La réalisation de ces PPR passe par une bonne connaissance de la topographie du terrain naturel à l'échelle du 1/10 000 ou mieux, du 1/5 000 et le levé de profils en travers des rivières lorsqu'une modélisation mathématique est nécessaire.

Les tableaux 2 et 3 fixent les priorités de réalisation des PPR.

Les agglomérations importantes à doter en priorité d'un PPR précis sont le Mans, Alençon et Angers.

Les documents réglementaires existants ou approuvés avec une crue de référence qui n'est pas centennale devront être révisés pour prendre en compte une crue de référence qui sera la centennale ou une crue historique au moins aussi forte.

TOME 2

E. PROTECTION

1. INTRODUCTION.....	3
2. RECUEIL DES DONNEES	3
2.1 ETUDES ANTERIEURES	3
2.2 DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES	3
2.3 CAMPAGNE DE TERRAIN.....	3
3. ANALYSE DES DOMMAGES	3
3.1 SYNTHESE DES INFORMATIONS RECUEILLIES.....	3
3.2 LIMITES ET DIFFICULTES	3
3.3 LE COUT DE LA CRUE DE 1995.....	3
3.4 ESTIMATION DES COUTS ANNUELS MOYENS POUR LES 16 AGGLOMERATIONS	3
3.4.1 <i>Méthode</i>	3
3.4.1.1 Les types de dommages à prendre en compte.....	3
3.4.1.2 Les coûts annuels moyens	3
3.4.2 <i>Résultats</i>	3
3.5 ESTIMATION GLOBALE DES DOMMAGES CONCERNANT LES SOUS-BASSINS	3
3.5.1 <i>Méthode</i>	3
3.5.1.1 Les sources d'information et les dommages pris en compte.....	3
3.5.1.2 Repérage sur carte	3
3.5.1.3 Vérification téléphonique	3
3.5.1.4 Le cas particulier de dommages aux cultures	3
3.5.1.5 Coût des crues à l'échelle de sous-bassins : application de la méthode des coûts unitaires	3
3.5.1.6 Les coûts annuels moyens	3
3.5.2 <i>Résultats</i>	3
3.6 CONCLUSION.....	3
4. DEFINITION ET ANALYSE DES OPTIONS DE PROTECTION	3
4.1 SYNTHESE PREALABLE DES ACTIONS DE PROTECTION PRECONISEES DANS LE CADRE DES ETUDES ANTERIEURES.....	3
4.1.1 <i>Inventaire des études antérieures concernant les options de protection</i>	3
4.1.2 <i>Principaux résultats des études de protection</i>	3
4.2 PROTECTIONS INTERMEDIAIRES	3
4.2.1 <i>Généralités</i>	3
4.2.2 <i>Aspects juridiques</i>	3
4.2.3 <i>Exploitation des ouvrages existants sur la bassin versant de la Maine</i>	3
4.2.4 <i>Mode d'entretien actuel des rivières</i>	3
4.2.5 <i>Etat du lit de la rivière</i>	3

4.2.6	<i>Propositions d'évolution</i>	3
4.2.6.1	Exploitation des ouvrages.....	3
4.2.6.2	Entretien du lit d'écoulement	3
4.2.6.3	Travaux réalisés par les Syndicats.....	3
4.2.7	<i>Synthèse des protections intermédiaires</i>	3
4.3	PROTECTIONS ELOIGNEES	3
4.3.1	<i>Principes des protections éloignées</i>	3
4.3.2	<i>Estimation des volumes concernés</i>	3
4.3.3	<i>Type d'ouvrages de stockage envisageables sur le bassin</i>	3
4.3.4	<i>Retenue de stockage</i>	3
4.3.4.1	Méthodologie.....	3
4.3.4.2	Recherche de sites de retenues de stockage sur le bassin de la Maine	3
4.3.4.3	Effet des retenues	3
4.3.5	<i>Sur-inondation dans le lit majeur par mise en place de levées transversales</i>	3
4.3.5.1	Méthodologie.....	3
4.3.5.2	Recherche de secteurs propices à une sur-inondation.....	3
4.3.5.3	Effet de l'effet des levées transversales.....	3
4.3.6	<i>Synthèse des protections éloignées et estimations sommaires des ouvrages</i>	3
4.4	PROTECTIONS LOCALISEES	3
4.4.1	<i>Diagnostic des risques</i>	3
4.4.2	<i>Les types de travaux de protection localisés</i>	3
4.4.3	<i>Propositions pour les agglomérations</i>	3
4.4.3.1	Bonneval.....	3
4.4.3.2	Chateaudun.....	3
4.4.3.3	Cloyes/Loir.....	3
4.4.3.4	Vendôme	3
4.4.3.5	Montoire/Loir	3
4.4.3.6	Le Lude	3
4.4.3.7	La Flèche	3
4.4.3.8	Durtal.....	3
4.4.3.9	Alençon	3
4.4.3.10	Le Mans.....	3
4.4.3.11	Sablé/Sarthe	3
4.4.3.11	Laval	3
4.4.3.12	Château-Gontier	3
4.4.3.13	Craon.....	3
4.4.3.14	Segré	3
4.4.3.15	Angers.....	3
4.5	PROPOSITIONS DE SCENARIOS D'AMENAGEMENT	3
4.5.1	<i>Proposition d'aménagement pour le sous bassin du Loir</i>	3
4.5.2	<i>Proposition d'aménagement pour le sous bassin de la Sarthe</i>	3
4.5.3	<i>Proposition d'aménagement pour le sous bassin de la Mayenne</i>	3
4.5.4	<i>Scénario d'aménagement à l'échelle du bassin</i>	3
5.	CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS DU CHARGE D'ETUDE	3
5.1.1	<i>Retenues de stockage</i>	3
5.1.2	<i>Levées de terre transversales</i>	3
5.1.3	<i>Protections locales</i>	3

1. Introduction

La cause fondamentale des crues reste - faut-il le rappeler - la pluie, donc d'ordre climatique. Le relief joue également un rôle fondamental, en effet l'eau de pluie peut soit ruisseler, soit s'infiltrer et plus la pente est forte et moins l'eau est absorbée et plus elle ruisselle vite.

Sur le bassin de la Maine, les crues sont du type plaine : les eaux montent progressivement et les rivières débordent lentement dans le lit majeur.

La lutte contre les inondations peut se traduire par deux types de mesures :

- mesures qui visent à limiter ses effets, objet de la prévision et de la prévention des risques en faisant en sorte que se trouve le moins grand nombre possible de personnes dans les zones les plus exposées,
- mesures qui tendent à la réduction des phénomènes.

Après avoir élaboré une stratégie de réalisation de Plan de Prévention des Risques sur le bassin de la Maine et des outils de prévision de crue, l'objet de cette partie est d'étudier de manière globale à l'échelle du bassin de la Maine, ce deuxième type de mesures.

Ces actions, en complément de la prévision et la prévention des crues, font partie des solutions possibles pour améliorer la situation.

Les actions étudiées sont de trois types : intermédiaires, éloignées et localisés. Elles sont détaillées dans ce rapport.

L'étude des protections s'appuie sur une analyse des dommages des crues et un diagnostic des risques pour chaque agglomération citée au cahier des charges. Elle a pour but de mettre en évidence les secteurs à plus forte vulnérabilité.

2. Recueil des données

Le recueil des données disponibles a permis d'établir un état des lieux le plus exhaustif possible en vue d'une bonne connaissance et analyse des phénomènes hydrologiques, hydrauliques, environnementaux, socio-économiques. Cette démarche est le préalable à toute étude globale d'un bassin versant.

Au cours de cette étape, plusieurs réunions ont été organisées avec les organismes concernés par l'étude.

2.1 Etudes antérieures

Une bibliographie précise a été élaborée à partir des documents disponibles sur l'ensemble du bassin versant (lieu d'archivage, auteur, date ...). Chaque document a fait l'objet d'une fiche-résumé (*annexe E.1*).

2.2 Données socio-économiques

Ces données sont indispensables à l'analyse de l'impact des mesures de protection envisagées. Les données nécessaires à l'établissement des coûts des dégâts des crues ont été recueillies auprès des Services de l'Etat (DDE, DDAF, Préfectures) et des Services techniques des 16 agglomérations concernées par l'étude. Ces données ont pu être également complétées à partir d'estimations réalisées à l'occasion d'études antérieures.

2.3 Campagne de terrain

Cette campagne de terrain a consisté à rencontrer in situ les responsables techniques des 16 agglomérations répertoriées dans le cadre de l'étude. Ces entretiens ont été suivis d'une visite terrain.

Elle a permis d'affiner la connaissance des phénomènes hydrologiques, hydrauliques, environnementaux et de visualiser les sites à risques ainsi que les aménagements qui ont pu être réalisés plus ou moins récemment et qui peuvent influencer les conditions d'écoulement.

Le résultat de cette campagne de terrain fait l'objet d'un dossier pour chacune des 16 agglomérations visitées (*annexe E.2*).

Chaque dossier comporte une fiche de synthèse, un plan des zones inondables sur fond de cartes IGN qui indique également les zones à plus forte vulnérabilité et un schéma hydraulique qui permet de situer les ouvrages et singularités hydrauliques.

3. Analyse des dommages

L'analyse des dommages a été réalisée pour les agglomérations citées ci-dessous :

- Sous-bassin Loir : Bonneval, Chateaudun, Cloyes, Vendôme, Montoire, Le Lude, La Flèche, Durtal,
- Sous-bassin Sarthe : Alençon, Le Mans, Sablé,
- Sous-bassin Mayenne : Laval, Château-Gontier,
- Sous-bassin Oudon : Craon, Segré,
- Sous bassin Maine : Angers.

En outre, une analyse des dommages a été réalisée globalement pour chacun des sous-bassins suivants :

- Loir
- Huisne
- Sarthe (amont et aval de l'Huisne)
- Mayenne
- Oudon
- Maine.

3.1 Synthèse des informations recueillies

Les documents recueillis ont permis de synthétiser les informations disponibles actuellement concernant les dommages des crues sur le bassin de la Maine :

- BCEOM: département de la Sarthe - Etude de protection contre les inondations. Bassins de la Sarthe et du Loir, 1968
- LCHF : étude préalable à l'aménagement de la vallée de l'Huisne, 1985.
- LCHF : étude préalable à l'aménagement de la vallée de la Sarthe, 1987.
- HYDRATEC : étude du Loir - Aménagement hydraulique et protection contre les inondations, 1987
- Rapport des DDE suite à la crue de 1995
- BRL : étude du bassin versant de l'Huisne, 1996.
- C. GERAUDIE : Les inondations au Mans. L'exemple de janvier 1995. Analyse géographique et sociale, 1997
- Données recueillies auprès des préfectures et des communes.

Des tableaux de synthèse des éléments recueillis sont présentés en *annexe E.3*.

3.2 Limites et difficultés

- Un certain nombre de données fournies sont des données départementales ou régionales ne concernant qu'un tronçon de rivière. Deux sources d'erreurs sont alors possibles : les doubles comptes et des données incomplètes. La non superposition des bassins au découpage administratif par département impose donc une grande vigilance. Ainsi, il s'avère parfois difficile voire impossible d'utiliser certaines données ne concernant qu'un département et s'appliquant sans distinction à l'ensemble des rivières.

- La méthode des coûts unitaires moyens est à utiliser avec prudence et il convient d'en souligner ici les limites. Le rapport sur les crues au Mans¹ permet de constater que dans un même quartier, il peut exister des divergences de coûts très importantes. A Arnage par exemple, le montant des dégâts est pour 60 % des habitations inondées inférieur à 1 000 F tandis que pour les 40 % restants, le montant des dommages s'avère supérieur à 100 000 F.
- Autre exemple : la préfecture de la Sarthe évalue à environ 43 000 F le coût unitaire des dommages aux habitations, tandis que le bureau d'étude Hydratec a estimé ce même coût entre 13 000 F et 26 000 F (valeur 97). Le plan Loire grandeur Nature estime quant à lui le coût unitaire des dommages par habitation à 145 000 F sur la base d'enquêtes précises sur plusieurs bassins dont la Maine et en travail conjoint avec plusieurs experts d'assurances.

Les données fournies sont très souvent des dénombrements de dommages (nombre d'habitations sinistrées par exemple) sans évaluation financière. Dès lors, il est difficile de calculer un coût moyen des dommages des crues si par ailleurs, on ne dispose pas de coûts unitaires, dont on a vu précédemment qu'ils sont sujets à des estimations très variables.

La non-homogénéité des données rend également très difficile les estimations. Parfois, la frontière entre biens publics, équipements collectifs, privés et entreprises n'est pas toujours rigoureusement respectée. En outre, l'absence de données est d'une interprétation difficile : s'agit-il d'un manque d'information ou de l'absence de dommages ?

Pour chacune des crues considérées comme crue de référence, on a procédé à une **actualisation des dommages** permettant de passer des valeurs en francs courants en francs constants 1997. Ainsi, si la crue de 1961 a conduit à l'époque à une estimation de l'ordre de 2 MF de dommages, cette somme est de 12 MF en francs 1997. De plus depuis 1961, il est certain que l'occupation du territoire a connu des modifications importantes, une urbanisation plus forte, des activités industrielles et commerciales plus développées. En utilisant les dommages des crues anciennes, on pose des hypothèses fortes en terme d'évolution économique et démographique.

L'étude du BCEOM de 1968 sur le bassin de la Sarthe fournit certaines données critiquables. Comme le note le LCHF², cette étude révèle quelques anomalies : en 1961, le nombre de sinistrés déclarés serait deux fois plus élevé que lors de la crue de 1966 alors que cette dernière est une crue de plus forte intensité, et le coût moyen par sinistre serait deux fois plus élevé en 1961 qu'en 1966. Le LCHF conclut donc qu'il convient de renoncer à exploiter ces données de manière quantitative. Or, dans le cas présent les seules données à notre disposition pour le bassin de la Sarthe et du Loir dans la Sarthe sont celles de l'étude BCEOM.

¹ Geraudie Claire: Les inondations au Mans, l'exemple de Janvier 1995, analyse géographique et sociale. Université du Maine, mémoire de Maîtrise de Géographie, 1997.

² LCHF: Etude hydraulique préalable à l'aménagement de la vallée de la Sarthe dans le département de la Sarthe en amont du Mans. 1987.

Par ailleurs, des « coefficients de réévaluation économique » sont utilisés dans l'étude BCEOM afin de tenir compte des évolutions économiques. La justification de ces coefficients n'apparaît pas clairement.

Des divergences notables existent entre les études. Ainsi, concernant l'agglomération de La Flèche, le BCEOM estime à environ 0,5 MF 1997 le coût annuel moyen des crues tandis que dans l'étude Hydratec, ce coût serait de 1,2 MF 1997. Il est probable que cette différence s'explique soit par l'occurrence de crues récentes qui ont permis de mieux estimer les dommages soit par la prise en compte plus étendue de dommages. Néanmoins, cet exemple soulève à nouveau le problème de la fiabilité des données anciennes.

La difficulté principale réside dans l'estimation **des dommages aux activités économiques**: seules les données chiffrées de quelques entreprises contactées directement ont pu être intégrées au calcul. Les entreprises repérées de manière cartographique mais pour lesquelles aucune précision de secteur d'activité et de taille n'a pu être recueillie, ne sont pas intégrées au calcul. D'où une sous-évaluation probable des dommages aux activités économiques. Cependant, cette sous-évaluation est relative dans la mesure où la zone d'étude est majoritairement rurale. Néanmoins, il apparaît que dans la zone d'étude les dommages aux activités économiques ne représentent que 30% des dommages totaux tandis que l'étude sur la Loire menée par le Plan Loire Grandeur Nature juge que 60% des dommages sont des dommages aux activités économiques. Il y aurait donc tout lieu d'affiner l'analyse concernant les dommages aux activités économiques de manière à valider ou infirmer les résultats présentés.

Pour lever les incertitudes qui pèsent sur certaines données, il aurait fallu des investigations plus poussées que la présente étude ne prévoyait pas.

3.3 Le coût de la crue de 1995

◆ Estimation des préfectures

Le chargé d'étude a transmis aux préfectures des départements concernés des tableaux où étaient identifiés les dommages de la crue de 1995, pour obtenir le montant des dommages pour chaque secteur (voirie, entreprises).

Coût de la crue de 1995 selon le type de dommage (en kF) - Données fournies par les préfectures								
	Voirie	Réseaux (eau, électricité)	Ouvrages hydrauliques	Biens publics	Biens privés (habitations, voitures, etc.)	Agriculture	Entreprises	TOTAL
41-Loir-et-cher	1 200		1 200	9 300	7 000		1 600	20 300
49- Maine-et-Loir	12 100			1 511				13 611
53- Mayenne	7 466	110	1 124	2 158	19 535	309	7 530	38 232
61-Orne	20 300	1 800	10 500					32 600
28- Eure-et-Loir	594	65	63	233				955
72- Sarthe*	60 000		11 900		105 000		210 000	386 900
TOTAL	101 660	1 975	24 787	13 202	131 535	309	219 130	492 598

Les cases vides correspondent à des informations non-obtenues, qui selon toute vraisemblance n'existent pas de manière synthétique au niveau départemental.

*La DDE de la Sarthe considère que ces valeurs sont sur-estimées car réalisées durant la crue.

L'absence de données concernant principalement les biens privés et les entreprises nous laisse à penser que le coût de la crue de 1995 est sous-estimé. Le doublement de ce coût serait plus proche de la réalité surtout lorsqu'on sait que les dommages aux biens privés aux entreprises représentent au moins 70% des dommages totaux d'une crue.

◆ Estimation CNR du coût de la crue de 1995 par sous-bassins (en KF)

Les informations transmises par les Préfectures n'étaient pas suffisantes pour prétendre estimer le coût de la crue de 1995. Il a donc fallu reconstituer une partie des valeurs manquantes pour obtenir ce coût global de 800 KF, qui laisse encore apparaître des données manquantes pour certains dommages.

Le tableau présenté ci-dessous fait apparaître les dommages par sous-bassins et par département. Ce découpage par département peut avoir fait l'objet d'erreurs marginales car il a été réalisé de manière cartographique. Lorsque l'on se situe à la limite d'un département, les dommages recensés sur une section de rivière ont pu être rattaché au département voisin.

➤ **Estimations CNR en kF**

	Voirie*	Equipements collectifs**	Biens privés**	Agriculture**	Entreprises***	TOTAL
Le Sous-bassin du loir...						
en Eure-et-Loir (Le Loir dunois)	594	1 045	10 629	1 093		13 361
dans le Loir-et-Cher (Le Loir vendômois)	1 200	5 000	45 245	2 468		53 913
dans la Sarthe (Le Loir flechois)	3 199	3 007	16 730	3 906		26 842
en Maine-et-Loire (Le Loir dans le remous de la Maine)		2 900	17 255	2 071		22 226
TOTAL	4 993	11 952	89 859	9 538		116 342
Le sous-bassin de la Sarthe...						
dans l'Orne (La Sarthe normande)		410	18 800	972		20 182
dans la Sarthe (Haute-Sarthe mancelle)	996	285	58 870	1 442		61 593
dans la Sarthe (Sarthe aval)	2933	3 390	189 413	1 368	70 000	267 104
en Maine-et-Loire (Sarthe à l'aval de Varenne)		3 112	94 960	2 545	40	100 657
TOTAL	3 929	7 197	362 043	6 327	70 040	449 536
Le sous-bassin de l'Huisne...						
dans la Sarthe	1446	5 000	32 182	1 700	42 100	82 428
en Eure-et-Loir			8 600	269		8 869
dans l'Orne		320	2 150	902		3 372
TOTAL	1 446	5320	42932	2870	42100	94 668
Le sous-bassin de la Mayenne...						
en Maine-et-Loire		482	6 815	708		8 005
en Mayenne		1 130	6 000	952	19 535	27 617
TOTAL	6916	1 612	12 815	1 660	19 535	42 538
Le sous-bassin de l'Oudon...						
en Maine-et-Loire	550	525	11 890	396		13 361
TOTAL	550	525	11 890	396		13 361
Le sous-bassin de la Maine...						
en Maine-et-Loire	2492	2 700	43 000	20 649		68 841
BASSIN VERSANT DE LA MAINE	20 326	29 306	562 539	41 440	131 675	785 286

* Données fournies par les Préfectures et le Conseil Général de la Sarthe

** Données établies à partir d'un repérage cartographique CNR. Estimation établie à partir des sources Préfectures de la Sarthe ou du plan Loire Grandeur Nature.

*** Données fournies par les préfectures ou par contact téléphonique direct.

Remarques sur le tableau

Les cases vides correspondent à des informations non-obtenues, qui selon toute vraisemblance n'existent pas.

Les estimations obtenues proviennent pour les dommages à la voirie des préfectures et conseil Général de la Sarthe.

Pour les dommages aux équipements collectifs, aux biens privés et aux surfaces agricoles, l'estimation se fonde sur les relevés cartographiques auxquels ont été appliqués les coûts unitaire moyens calculés par le Plan Loire Grandeur Nature (cf paragraphe 3-5).

Pour les entreprises, les valeurs ont été obtenues soit par les Préfectures, soit par contact téléphonique direct avec les entreprises concernées.

L'absence de carte du champ d'inondation sur certaines sections de rivières empêche le recensement des dommages. C'est le cas pour l'Huisne dans l'Orne et en Eure-et-Loir.

Par ailleurs, les dommages dans les agglomérations de Chateaudun, Cloyes, Vendôme, Montoire, Nogent, Remalard et Angers qui n'ont pas pu être estimés de manière cartographique, ont fait l'objet d'approximations à partir de crues équivalentes dans des villes de tailles comparables, de manière à apparaître dans chacun des sous-bassins. Ainsi, pour Chateaudun et Cloyes, les valeurs des dommages pour la crue de 1995, fournies par la Préfecture, ont été intégrées au sous-bassin du Loir. Pour Vendôme et Montoire, les valeurs de la crue de 1961 équivalente à celle de 1995 ont servi de référence. Pour Nogent et Remalard, on estime à respectivement 200 et 50 le nombre de maisons touchées. Pour Angers, on estime que les dommages sont presque équivalents à ceux du Mans, on retient donc l'hypothèse de 1.000 maisons touchées. A ces valeurs quantitatives, il a été appliqué un coût unitaire moyen de 43.000 F par habitation.

Rappelons que le coût unitaire pour l'estimation des biens privés est de 145.000 F par habitation selon l'équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature tandis que pour la Préfecture de la Sarthe cette valeur n'est que de 43.000 F (source assurance).

◆ Estimation CNR du coût de la crue de 1995 par département (en KF)

Les rubrique réseaux, ouvrages hydrauliques ont été élaborées à partir des informations fournies par les Préfectures.

Les rubriques Voirie, Equipements collectifs, Biens privés, Entreprises et Agriculture sont directement issues des sommations du tableau précédent « Estimation CNR du coût de la crue de 1995 par sous-bassins ».

Les données voirie dans l'Orne et en Mayenne (respectivement 25 000 et 7466 KF) ainsi que la valeur des dommages aux entreprises en Eure-et-Loir (1600 KF) sont fournies par les Préfectures pour l'ensemble du département concerné. On ne les retrouve pas dans le tableau précédent car elles sont susceptibles de prendre en compte d'autres rivières que celles étudiées.

Ces différences expliquent l'écart existant entre le coût de la crue par département (812 436 KF) et le coût par sous-bassin (785 286 KF). Une différence de 27 150 KF (812 436 KF - 785 286 KF) qui s'explique par 25 000 + 1600 + (valeur voirie département Mayenne - valeur sous-bassin Mayenne soit 7466 - 6916 = 550) = 27 150 KF.

	Réseaux*	Ouvrages hydrauliques*	Voirie*	Equipements collectifs**	Biens privés**	Agriculture*	Entreprises***	TOTAL
Eure-et-Loir	65	63	594	1 045	19 229	1 362	1 600	23 830
Loir-et-Cher		1 200	1 200	5 000	45 245	2 468		53 913
Sarthe		11 900	8 574	11 682	297 195	8 415	112 100	437 966
Maine-et-Loire			3 042	9 719	173 920	26 370	40	213 091
Mayenne	110	1 124	7 466	1 130	6 000	952	19 535	35 083
Orne	1 800	10 500	25 000	730	20 950	1 873		48 553
TOTAL	1 975	24 787	45 876	29 306	562 539	41 440	133 275	812 436

* Données fournies par les Préfectures et le Conseil Général de la Sarthe

** Données établies à partir d'un repérage cartographique CNR. Estimation établie à partir des sources Préfectures de la Sarthe ou du plan Loire Grandeur Nature.

*** Données fournies par les préfectures ou par contact téléphonique direct.

◆ Estimation CNR de la crue de 1995 par agglomérations

	Coût actualisé (valeur 1997) de la crue de 1995 selon le type de dommage (en kF)							
	Voirie	Réseaux (eau, électricité)	Ouvrages hydrauliques	Biens publics	Biens privés (habitations, voitures, etc.)	Agriculture	Entreprises	TOTAL
LOIR								
Bonneval								
Chateaudun								35
Cloyes								54
Vendôme								
Montoire								
Le Lude	312							312
La Fleche				2 388	7 788			10 176
Durtal	104	135						239
SARTHE								
Alençon					4 300 *			4 300
Le Mans	10 000		23 000	11 822	64 000 *		1 000	109 822
Sablé				2 907	16 297 *			19 204
MAYENNE								
Laval								>5 000
Chateau Gontier				550	800		197	1 547
MAINE	2 492			2 700	43 000	20 649		68 841
Angers	2 492		1 869	831	43 000 **			48 192
OUDON								
Craon								>1 000
Segré								

Source: Renseignements obtenus sur le terrain, par repérage cartographique et par les Préfectures.

* Estimé à partir du nombre de maisons déclarées sinistrées et du coût unitaire moyen de 43 000F fourni par les Préfectures d'après des informations d'assurances.

** On estime que les dommages sont presque équivalents à ceux du Mans, on retient donc l'hypothèse de 1000 maisons touchées.

Résultats

D'une manière globale, on estime que le coût des dommages de la crue de 1995 est d'environ 800 millions de francs, avec une marge d'incertitude forte liée à l'absence et la non-homogénéité des données. Il paraît fort probable que cette valeur soit sous-estimée et le coût des dommages de la crue de 1995 s'approche plutôt du milliard de francs que de 500 millions de francs.

3.4 Estimation des coûts annuels moyens pour les 16 agglomérations

3.4.1 Méthode

3.4.1.1 Les types de dommages à prendre en compte

Plusieurs documents³ permettent de dresser une liste très étendue de dommages, comme par exemple, les dommages liés aux remontées de nappe ou aux dysfonctionnements des réseaux d'assainissements, les dommages concernant le patrimoine paysager et culturel, et de façon générale l'économie régionale.

Mais dans le cas actuel, la faiblesse des données disponibles exposée précédemment oblige à s'intéresser aux dommages les plus significatifs.

- Dommages aux voiries
- Dommages aux réseaux (électrique, eau, etc.)
- Dommage aux ouvrages hydrauliques
- Dommages aux biens publics
- Dommages aux biens privés
- Dommages aux activités et bâtiments agricoles
- Dommages aux activités industrielles et commerciales.

3.4.1.2 Les coûts annuels moyens

L'estimation des coûts annuels moyens est fondée sur la détermination du couple de valeurs (C, N) pour un certain nombre de crues de référence:

C = coût des crues

T = temps de retour

N = 1/T = fréquence des crues.

Dès lors, on peut tracer la courbe C(N) représentant le coût de ces crues en fonction de leur fréquence.

³ Bachoc, Thépot, Camp'huis: *Stratégie d'écrêtement des crues en Loire moyenne*
In: La Loire, colloque d'Hydrotechnique. SHF, 1996.

BCEOM: *Lutte contre les nuisances des inondations, méthode sommaire d'évaluation des critères économiques*, 1980.

L'optimum serait de déterminer 3 à 4 points (C, N) correspondant à différents niveaux de crue :

- crue d'une durée de retour correspondant au seuil de débordement et de coût nul (point "zéro)
- crues intermédiaires de référence (C1,N1), (C2,N2), etc.
- crue extrême de type centennale ou plus, pour laquelle, on estime que la courbe devient asymptotique à l'axe des coûts, dans la mesure où il s'agit d'agglomérations représentant un potentiel économique important. On parle alors de "coût limite".

Le coût annuel moyen des dommages est égal à l'espérance mathématique des coûts chaque année, soit dans le système d'axe (C,1/N) :

$$C_m = \int_0^N C(N) dN$$

Graphiquement, le coût annuel moyen des dommages correspond à la surface comprise entre cette courbe et les axes (C, N).

3.4.2 Résultats

	Coût annuel moyen issu du calcul CNR (en KF, valeur 1997)	Coût annuel moyen issu des études antérieures* (en KF, valeur 1997)
Segré (1)	31	
Le Lude (2)	40	33
Durtal (3)	52	79
Cloyes (4)	102	277
Craon (5)	114	
Chateau Gontier	151	
Chateaudun	156	184
Bonneval	156	277
Montoire	177	171
Laval	369	
Alençon	506	674
Sablé	659	
Vendôme	718	830
La Fleche	966	1 185
Angers	2 677	
Le Mans	5 500	1 286

* Etude Hydratec 1987 et BCEOM 1968

(1) Le calcul se fonde uniquement sur la valeur des dommages à la voirie et aux biens publics de la crue de 1996. Ces informations partielles ne permettent pas de calculer le coût annuel moyen réel.

(2) Le calcul se fonde uniquement sur la valeur des dommages aux biens privés de la crue de 1961 et des dommages à l'agriculture et aux biens privés de la crue de 1983. Ces informations partielles ne permettent pas de calculer le coût annuel moyen réel.

(3) Le calcul se fonde uniquement sur la valeur des dommages aux biens privés de la crue de 1961 et 1983. Ces informations partielles ne permettent pas de calculer le coût annuel moyen réel.

(4) Le calcul se fonde uniquement sur la valeur des dommages aux biens privés de la crue de 1961 et les dommages aux biens publics et privés de la crue de 1983. Ces informations partielles ne permettent pas de calculer le coût annuel moyen réel.

(5) Le calcul se fonde uniquement sur la valeur globale des dommages de la crue de 1995, sans détail quant à la composition de ce coût donc sans certitude sur la prise en compte de l'ensemble des dommages réels.

Les agglomérations qui subissent le plus fortement le coût des crues sont Angers et Le Mans. Cela s'explique principalement par un tissu urbain et économique dense sur lequel les impacts des crues génèrent des coûts élevés.

Pour le Mans, l'écart entre les coûts annuels moyens (5 500 KF et 1286 KF) s'explique sans doute par la prise en compte de la crue de 1995, qui a été particulièrement forte dans l'agglomération puisque ce sont près de 110 MF de dégâts qui ont été estimés (dont 64MF pour les biens privés). En outre, le recueil d'information effectué par les associations et les autorités locales a été particulièrement précis et détaillé, ce qui n'était peut-être pas le cas pour les crues antérieures, de telle sorte que l'ensemble des dommages évalué est proche de la réalité.

A noter qu'il existe des divergences entre les études. Ainsi, concernant l'agglomération de La Flèche, le BCEOM estime à environ 0,5 MF 1997 le coût annuel moyen des crues tandis que dans l'étude Hydratec, ce coût serait de 1,2 MF 1997. Il est probable que cette différence s'explique soit par l'occurrence de crues récentes qui ont permis de mieux estimer les dommages soit par la prise en compte plus étendue de dommages. Néanmoins, cet exemple soulève à nouveau le problème de la fiabilité des données anciennes.

Pour certaines agglomérations, il serait intéressant d'enrichir les informations disponibles pour des crues de durée de retour différentes, de manière non seulement à refléter au mieux la réalité des coûts, mais aussi dans certains cas à valider un ordre de grandeur du coût annuel moyen. Ces agglomérations sont principalement Château-Gontier, Segré et Craon.

Les graphiques présentant les coûts annuels moyens, sont présentés en *annexe E.4*.

3.5 Estimation globale des dommages concernant les sous-bassins

3.5.1 Méthode

3.5.1.1 Les sources d'information et les dommages pris en compte

Les dommages pris en compte sont dans les faits :

- ceux disponibles auprès des acteurs locaux (communes, DDE, DDAF, préfectures, association de riverains CADVIL, ADSPQI) ; ce sont principalement les dommages à la voirie, aux biens publics, aux particuliers et aux entreprises
- ceux repérables de manière cartographique: habitations, station d'épuration, station de pompage, stade, camping, complexe sportif, terres agricoles et voirie
- dans une moindre mesure, les articles de presse parus lors de la crue de 1995 permettent un tour d'horizon assez complet des dégâts de la crue.

Remarque : l'information recueillie étant imparfaite, il est important de préciser les limites de l'évaluation. Ainsi, pour 5 agglomérations (Bonneval, Chateaudun, Cloyes-sur-Loir, Vendôme et Montoire) il n'a pas été possible d'obtenir de données chiffrées des dégâts de la crue de 1995. On peut donc supposer qu'il y a une sous-estimation globale des dommages.

Certains dommages sont mieux estimés que d'autres. C'est le cas des dommages privés, des dommages aux surfaces agricoles, des équipements collectifs. A l'inverse, les dommages aux ouvrages hydrauliques, aux réseaux et aux entreprises sont plus mal connus, pour ces derniers la sous-estimation est probable.

3.5.1.2 Repérage sur carte

Un repérage sur carte (1/25 000) du champ d'inondation (crue de 1995) a permis de recenser les dommages potentiels. Ceux-ci sont principalement les dommages aux habitations, aux exploitations agricoles, aux voiries, et aux biens publics (station d'épuration, de pompage, camping, stade). A noter que pour certaines sections de rivières ce repérage n'a pas été possible, soit qu'il n'existe pas d'atlas des zones inondables ou qu'il ne nous a pas été fourni.

L'ensemble des dommages potentiels pour chacun des sous-bassins est consultable en *annexe E.5*.

Ce repérage cartographique a le mérite de l'exhaustivité quant aux dommages physiques. Cependant, il présente des limites :

- l'absence de carte du champ d'inondation sur certaines sections de rivières empêche le recensement des dommages. C'est le cas pour la Mayenne aval, la Sarthe normande, l'Huisne dans l'Orne.
- il limite les types de dommages pris en compte: les dommages aux activités économiques ou aux réseaux (d'eau, d'électricité) ne peuvent être estimés puisqu'ils ne sont pas « repérables » visuellement ;

- il ne permet de distinguer l'usage du bâtiment repéré : s'agit-il d'une habitation, d'un bâtiment agricole, d'un équipement municipal, d'un commerce, d'une entreprise ? Or, il existe une forte dispersion de coûts pour les équipements municipaux⁴.
- il ne permet pas de savoir si les bâtiments touchés l'ont été beaucoup ou faiblement: cette limite est néanmoins à relativiser dans la mesure où l'on constate que le coût d'une habitation faiblement touchée varie dans un rapport de 1 à 4 avec une habitation fortement touchée, c'est-à-dire que le coût du dommage d'une habitation inondée jusqu'au premier étage peut être 4 fois supérieur au coût d'une maison inondée au sous-sol.

3.5.1.3 Vérification téléphonique

Il a été procédé à une vérification téléphonique des informations recueillies de manière cartographique. Cette vérification s'est faite pour les communes fortement inondées ou celles qui présentaient des zones d'activités touchées. Ce procédé ne permet pas toujours d'obtenir des renseignements valides car la ou les personnes disposant des informations ne sont pas identifiées et par conséquent pas toujours accessibles. Néanmoins, ces appels téléphoniques ont montré que toutes les habitations recensées dans le champ d'inondation n'ont pas subi de dommages financiers; il est donc probable qu'il y ait une surestimation des dommages aux biens privés.

Toutes les communes contactées sont signalées en *annexe E.5* : ce sont celles dont le numéro de téléphone de la mairie figure sous le nom de la commune.

3.5.1.4 Le cas particulier de dommages aux cultures

Les surfaces agricoles situées dans le champ d'inondation de la crue de 1995 ont été estimées en hectares de manière cartographique (planimétrie). Le support cartographique est composé de cartes IGN au 1/25 000 e. Les surfaces agricoles prises en compte sont celles situées dans le champ d'inondation de la crue de 1995. Sont exclues de la planimétrie, les zones urbaines, surfaces boisées, surfaces en eaux (étang, lacs), routes et autoroutes, bâtiments et maisons, aires de loisirs.

L'estimation des surfaces agricoles ne permet pas de connaître les types de cultures pratiqués sur les sols agricoles, c'est pourquoi, il a ensuite été appliqué à ces surfaces les % de répartition de la SAU entre les différentes cultures. Ces données ont été fournies soit directement par les DDA, soit par le recensement général agricole, soit par des études d'aménagement de bassin : il s'avère que globalement la répartition des surfaces agricoles est la suivante : 1/3 de surfaces toujours en herbe, 1/3 de fourrages, 1/3 de cultures céréalières.

Pour les sections de rivières sur lesquelles nous ne disposons pas des atlas des zones inondables, il a été appliqué une surface agricole moyenne par kilomètre de linéaire de rivière.

Les coûts estimés des dommages aux cultures sont en *annexe E.6*.

3.5.1.5 Coût des crues à l'échelle de sous-bassins : application de la méthode des coûts unitaires

⁴ Equipe pluridisciplinaire Plan Loire grandeur nature

Avec l'aide de l'équipe pluridisciplinaire du Plan Loire grandeur nature, il a été appliqué aux catégories de dommages potentiels des coûts unitaires moyens.

La méthode des coûts unitaires moyens est à utiliser avec prudence et il convient d'en souligner ici les limites. Le rapport sur les crues au Mans⁵ permet de constater que dans un même quartier, il peut exister des divergences de coûts très importantes. A Arnage par exemple, le montant des dégâts est pour 60 % des habitations inondées inférieur à 1 000 F tandis que pour les 40 % restants, le montant des dommages s'avère supérieur à 100 000F. Autre exemple : la Préfecture de la Sarthe évalue à environ 43 000 F le coût unitaire des dommages aux habitations, tandis que le bureau d'étude Hydratec a estimé ce même coût entre 13 000 F et 26 000 F (valeur 97). Le Plan Loire grandeur nature évalue quant à lui le coût unitaire des habitations à 145 000F.

Concernant **les dommages aux cultures**, deux scénarios sont proposés : un qui estime les dommages pour une crue de type 1995 survenant au printemps et un qui estime les dommages pour une crue de type 1995 survenant en automne (sept fois moins dommageable que la précédente). Les résultats de ce calcul sont présentés en *annexe E.5*. Dans les calculs d'estimation globale des dommages, il a été choisi de ne conserver que les valeurs des dommages en automne, par analogie avec la crue de 1995 survenue en hiver, période moins vulnérable pour l'agriculture.

La difficulté principale réside dans l'estimation **des dommages aux activités économiques** : seules les données chiffrées de quelques entreprises contactées directement ont pu être intégrées au calcul. Les entreprises repérées de manière cartographique mais pour lesquelles aucune précision de secteur d'activité et de taille n'a pu être recueillie, ne sont pas intégrées au calcul. D'où une sous-évaluation probable des dommages aux activités économiques. Cependant, cette sous-évaluation est relative dans la mesure où la zone d'étude est majoritairement rurale. Néanmoins, il apparaît que dans la zone d'étude les dommages aux activités économiques ne représentent que 30% des dommages totaux tandis que l'étude sur la Loire menée par le Plan Loire Grandeur Nature a jugé que 60% des dommages sont des dommages aux activités économiques. Il y aurait donc tout lieu d'affiner l'analyse concernant les dommages aux activités économiques de manière à valider ou infirmer les résultats présentés.

3.5.1.6 Les coûts annuels moyens

Les coûts annuels moyens pour chaque sous-bassin ont été calculé de la même manière que pour les agglomérations.

Il a été réalisé un graphique intégrant les couples :

- coût de la crue de 1995 associé à son temps de retour
- coût zéro de la crue de début de dommages associé à son temps de retour.

L'exploitation de ces informations permet d'estimer le montant annuel des dommages produits lors des crues.

⁵ Geraudie Claire: Les inondations au Mans, l'exemple de Janvier 1995, analyse géographique et sociale. Université du Maine, mémoire de Maîtrise de Géographie, 1997.

Les graphiques présentant les coûts annuels moyens par sous-bassins sont présentés en *annexe E.7.*

3.5.2 Résultats

Sous-bassins	Coût annuel moyen en KF	Linéaire de rivière en km
Sarthe	27 110	260
Huisne	5 702	123
Mayenne	3 540	176
Loir	7 101	267
Maine	3 820	11
Oudon	797	80

On distingue **3 catégories** parmi les sous-bassins:

- La Sarthe et la Maine fortement touchées avec un coût annuel moyen élevé lié à la présence de nombreuses agglomérations au tissu urbain et économique dense dans la Sarthe (Le Mans, Sablé, Alençon) et le Maine (Angers).
- Le Loir et l'Huisne ont des coûts annuels moyens relativement élevés, du fait d'un linéaire important mais aussi de la présence de quelques agglomérations de taille significatives (Bonneval, Chateaudun, Cloyes, Vendôme, Montoire, Le Lude, La Flèche).
- la Mayenne et l'Oudon ont le coût annuel moyen le plus faible car ces deux rivières traversent principalement des zones rurales ou des agglomérations qui sont par ailleurs faiblement touchées comme Craon et Segré.

3.6 Conclusion

La détermination des dommages des crues met en lumière la difficulté d'opérer en faisant une synthèse des données disponibles. On peut estimer que les sous-bassins pour lesquels le recueil d'information a été effectué de manière précise sont ceux qui ont été le plus fortement touché par la crue. La méthode la plus efficace est sans aucun doute le repérage sur le terrain de manière à valider, faire correspondre et compléter les informations recueillies par ailleurs. Il conviendrait donc dans un second temps, de prévoir un travail d'homogénéisation et d'investigations supplémentaires si l'on souhaite estimer le coût des dommages avec une précision meilleure. Ceci est particulièrement vrai pour les activités économiques (agricoles, industrielles et commerciales).

Les coûts actuels des dommages aux biens résultent de l'absence ou de l'insuffisance de prévention. Il serait intéressant d'estimer ultérieurement l'impact financier des politiques de prévention.

4. Définition et analyse des options de protection

Ces options peuvent être répertoriées selon trois catégories :

- les actions intermédiaires
- les actions éloignées
- les actions localisées

➤ **Les actions localisées (c'est-à-dire situées à l'endroit même qu'on vise à protéger)**

Le principe des actions locales de protections est de diminuer les niveaux dans les zones inondées pour un même débit traversant celles-ci, contrairement aux protections éloignées qui se traduisent par une diminution de débit.

Elles concernent :

- un abaissement local des lignes d'eau par amélioration ponctuelle de l'écoulement,
- une protection de certains secteurs par endiguement.

Ces actions ne seront proposées que pour la protection des zones à forte vulnérabilité. En effet, tout abaissement de la ligne d'eau ou endiguement entraîne une réduction des volumes de stockage et une éventuelle aggravation des crues à l'aval.

➤ **Les actions éloignées (c'est-à-dire situées en amont des lieux à protéger en vue d'y diminuer les débits de pointe en crue)**

Le principe de ce type d'actions est de retenir l'eau à l'amont, dans les secteurs les moins vulnérables, pour diminuer le débit de pointe de la crue en aval des stockages et par conséquent abaisser les niveaux d'eau. Elle sont basées sur le principe de solidarité amont - aval.

Elles sont du type :

- ralentissement dynamique, à savoir la recherche de zones anciennement inondables, de zones sur-inondables dans le bassin versant, pouvant conduire à un volume d'écrêtement conséquent,
- écrêtement des crues par des retenues.

➤ **Les actions intermédiaires**

Elles concernent le mode de gestion des ouvrages et le mode d'entretien des rivières pour obtenir de meilleures conditions d'écoulement des crues. En effet, les rives mal entretenues contribuent à freiner l'écoulement et induisent des exhaussements des niveaux d'eau. En outre, les manipulations d'ouvrages pourraient contribuer à des stockages supplémentaires (abaissements préventifs des niveaux des biefs) ou à augmenter la capacité de transit du lit de la rivière (ouverture des portes des écluses).

4.1 Synthèse préalable des actions de protection préconisées dans le cadre des études antérieures

4.1.1 Inventaire des études antérieures concernant les options de protection

Une synthèse des principales études antérieures a été effectuée, et a permis de les classer comme suit :

➤ les actions généralisées :

- étude BRL (1997) pour l'Huisne
- étude Hydratec (1987) pour le Loir
- étude Géohydraulique (1973) pour le haut bassin du Loir
- l'étude BCEOM de 1968.

➤ les actions intermédiaires :

- étude BRL (1997) pour l'Huisne
- étude BCEOM 1968

➤ les actions localisées :

- étude Hydratec (1996) pour La Ferté Bernard
- étude Hydratec (1987) pour le Loir
- étude LCHF (1987) pour la Sarthe amont
- étude LCHF (1985) pour l'Huisne
- étude Géohydraulique (1973) pour le haut bassin du Loir
- étude BCEOM (1968) pour la Sarthe
- Etude ISL (fin prévue pour l'été 1998) pour Nogent-le-Rotrou.

4.1.2 Principaux résultats des études de protection

Les principaux résultats des études antérieures sont les suivants :

◆ Etude BRL (1997) pour l'Huisne

Propositions d'aménagement visant essentiellement à privilégier la rétention des eaux en crue :

- retenues d'écrêtement des crues : 13 sites étudiés (8 Mm³) mais trois sites proposés (4 Mm³) Mauves, Margon, Rémalard pour un coût de 24 MF HT.

- aménagement des ouvrages existants (modification d'ouvrages vannés, élargissement ou approfondissement du lit de la rivière, création de lits secondaires, endiguements) : cas de Rémalard, Nogent le Rotrou, la Ferté Bernard (coût global 7,4 MF HT)
- micro aménagements de rétention (sur les petits bassins en tête des affluents) : micro-digues perméables, merlons ouverts, banquettes périphériques aux espaces labourés, végétalisations transversales ou longitudinales (coût total de 12 MF HT pour une cinquantaine d'ouvrages).
- ralentissement dynamique par la réalisation de levées transversales dans le lit majeur de l'Huisne entre Nogent et La Ferté Bernard.

Cette étude très récente propose des actions qui n'ont pas été mises en œuvre et peuvent encore faire l'objet de développements. Notamment l'effet des levées transversales a été estimé à partir d'une modélisation du lit majeur à la précision au 1/ 25 000. Il est proposé par le BRL d'affiner ces résultats avec une topographie plus précise. Les premiers calculs effectués permettent d'avoir une première estimation de l'effet des levées. En fonction des résultats de la présente étude, si le maître d'ouvrage décide de s'engager dans ce type d'actions, des études complémentaires sont indispensables. Elles seront basées sur une topographie plus fine dont l'utilité ne se limitera pas à ces études, mais pourra être utilisée pour la réalisation de PPR par exemple.

◆ Etude Hydratec (1996) pour La Ferté Bernard

➤ Phase 1

- mise en évidence des points singuliers pour l'écoulement (ponts, vannes, déversoirs)
- modélisation des écoulements (calage sur la crue de 1995, qui a une période de retour de 60 ans)
- caractéristiques hydrauliques, débits maximums avant débordement en divers points du réseau
- détermination des zones prioritaires pour les aménagements.

➤ Phase 2

4 catégories d'aménagements ont été étudiées :

- amélioration des conditions aval
- aménagements sur l'affluent la Mème
- aménagements sur l'Huisne au sud de l'agglomération de La Ferté Bernard
- aménagements sur les bras de l'Huisne.

Analyse des impacts des aménagements

(baisse significative des lignes d'eau, impact négligeable en aval, augmentation de la capacité du lit).

Cette étude a préconisé des actions locales visant à améliorer les conditions d'écoulement en crue dans la traversée de la Ferté Bernard. En effet, les études existantes ont montré que l'urbanisation a obstrué le lit de l'Huisne.

Les aménagements préconisés sont en cours de réalisation : on peut citer la mise en service prochaine d'un canal de dérivation (canal des Ajeux) permettant de transiter 30 % du débit d'une crue centennale.

◆ Etude Hydratec (1987) pour le Loir

proposition d'un programme d'aménagement hydraulique du bassin :

- . protections locales assurant au moins la protection décennale, pour 13 agglomérations (environ 33 MF)
- . aménagement de trois barrages sur le bassin du Loir amont (environ 48 MF) pour le soutien d'étiage et l'écrêtement des crues
- . aménagement d'un barrage d'écrêtement des crues sur l'Yerre aval (37 MF) et d'un barrage de soutien d'étiage sur la Braye aval (51 MF)
- . amélioration du système actuel de prévision des crues
- . amélioration des conditions d'application de la réglementation en vigueur (prévention).

Les actions proposées sont de deux types :

- actions locales au droit de 13 agglomérations
- actions de protections par écrêtement.

Suite aux préconisations d'Hydratec des aménagements locaux proposés ont été réalisés dans les agglomérations suivantes :

- Cloyes/Loir
- La Chartre/Loir
- Château du Loir
- La Flèche.

Ces travaux achevés avant la crue de 1995 (sauf l'élargissement rive gauche du Pont de la République à la Flèche) ont permis une amélioration de l'écoulement des crues.

L'annexe E.8 analyse de manière plus détaillée l'étude.

◆ Etude LCHF (1987) pour la Sarthe amont

L'étude préconise d'améliorer l'écoulement des crues par :

- des manoeuvres adaptées des ouvrages (moulins privés notamment)
- la réfection, voire suppression de moulins
- le nettoyage du lit
- le remembrement / drainage.

Ce dernier point n'a pas de conséquence significative sur les inondations.

Localement, l'étude suggère d'aménager les secteurs suivants :

- zone de Fresnay : chutes de St Aubin, Bourgneuf et la Coursure
- zone de Vivoin-Beaumont
- zone de Montbizot
- zone de St Pavace.

◆ Etude LCHF (1985) pour l'Huisne

L'étude permet de déterminer la capacité hydraulique actuelle des lits et des déversoirs.

Elle préconise :

- le nettoyage du lit mineur
- l'inventaire moulin par moulin des actions à entreprendre sur les seuils
- les recommandations pour une politique générale d'aménagement hydraulique de la vallée de l'Huisne.

Les deux études du LCHF font un état des lieux des cours d'eau et proposent essentiellement des mesures à étudier en détail et des recommandations d'ordre général. Elles dressent également un inventaire des travaux à envisager sur les moulins et leurs coûts. Ces études ont permis d'orienter les actions des syndicats.

◆ Etude Géohydraulique (1973) pour le haut bassin du Loir

L'objectif de l'étude est de réduire une crue de 20 ans (103 m³/s) à une crue de 2 ans (55 m³/s) à Bonneval, Chateaudun et Cloyes/Loir.

Une recherche de sites de stockage été effectuée et l'effet des retenues envisagées testé sur modèle mathématique.

Parallèlement à cette étude, il était envisagé par la DDE, des travaux d'aménagements hydrauliques à Bonneval, Vouvray et Cloyes.

Le schéma d'aménagement proposé dans l'étude pour atteindre d'objectif est, par ordre de priorité :

- la réalisation des travaux projetés par la DDE
- aménagement des gravières d'Alluyes pour l'écrêtement des crues
- réalisation d'une retenue sur l'Ozanne
- réalisation d'une retenue sur l'Yerre en fonction de l'effet constaté des aménagements précédents.

Les actions visant à l'écrêtement des crues n'ont pas été mises en œuvre (retenues et gravières).

◆ Etude BCEOM de 1968

Les conclusions de l'étude sont les suivantes :

- aucun site techniquement et économiquement intéressant pour une retenue d'écrêtement sur la Sarthe dans le département de la Sarthe n'a pu être répertorié
- la détérioration alarmante des lits mineurs et majeurs des cours d'eau du département (absence d'entretien, et vétusté des aménagements)
- le rappel des consignes de manoeuvre des vannes / ouverture des portes des écluses en crue
- les travaux de protection localisés envisagés secteur par secteur :
 - . la Sarthe en amont du Mans
 - . la Sarthe en aval du Mans
 - . l'Huisne en amont du Mans
 - . Le Mans
 - . Le Loir en amont de la Flèche
 - . La Flèche.

Cette étude, qui fait suite aux inondations de 1966 sur l'Huisne et la Sarthe a mis en évidence le mauvais état général de la rivière (lit et ouvrages). Les nombreuses préconisations concernant l'entretien de la rivière et la réfection des ouvrages ont été mises en application par les syndicats de rivière.

4.2 Protections intermédiaires

4.2.1 Généralités

Les actions de protections intermédiaires concernent le mode d'entretien des rivières et le mode de gestion des ouvrages.

Le défaut d'entretien des cours d'eau constitue un facteur aggravant des inondations : les rives des rivières encombrées freinent l'écoulement et conduisent à l'exhaussement des niveaux (voir 4.2.5).

En outre, si l'obstruction de la rivière est importante, il y a risque d'embâcles.

Des manipulations d'ouvrages pourraient contribuer à des stockages supplémentaires (abaissements préventifs des niveaux des biefs) ou à augmenter la capacité de transit du lit de la rivière (ouverture des portes des écluses) (voir 4.2.6).

En revanche, les actions qui visent localement à abaisser la ligne d'eau, comme le nettoyage et le débroussaillage du lit de la rivière, entraînent une réduction des volumes de stockage. Il n'est pas exclu que ces actions aient une incidence à l'aval. Il conviendra de s'en assurer au cas par cas.

4.2.2 Aspects juridiques

Ce chapitre est issu des renseignements collectés lors de la campagne de terrain réalisée au niveau des 16 agglomérations concernées par les crues, et représentatives des problèmes posés au niveau du bassin.

On s'appuiera également sur les études antérieures et notamment sur les schémas d'aménagement des eaux :

- du bassin de la Mayenne et de l'Oudon dans le Maine-et-Loire,
- dans le département de la Mayenne.

Pour rappel, le droit de l'eau a évolué en trois étapes :

➤ **1898 : favoriser l'usage de l'eau**

La loi du 8 avril 1898 régleme les usages de l'eau à finalité industrielle et agricole en vue de favoriser la production. Elle attribue la propriété des rivières non domaniales aux riverains : le lit de la rivière appartient jusqu'au milieu du cours d'eau au propriétaire de la rive. Le riverain est tenu d'entretenir la berge ; en contrepartie, le droit de pêche lui est accordé.

➤ **1964 : préserver les ressources**

Création des Agences Financières de Bassin et introduction des notions liées à la qualité et du principe du "pollueur-payeur".

➤ **1992 : concilier les usages et la protection des milieux**

Mise en place de la Loi sur l'eau et des SDAGE

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Loire Bretagne fixe pour ce bassin hydrographique les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée.

Sur le bassin versant du Loir, une étude préalable à un contrat de rivière est en cours de réalisation par le BCEOM dans les départements de l'Eure-et-Loir et du Loir-et-Cher. Un contrat de rivière est un programme de remise en état d'un cours d'eau que les différents partenaires - financeurs institutionnels et maîtres d'ouvrage - s'engagent à réaliser dans les cinq ans.

Un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) est en cours de préparation pour le bassin de l'Oudon. Le SAGE porte sur un périmètre plus réduit que le SDAGE, correspondant à une entité géographique sur lequel une Commission Locale de l'Eau (CLE) élabore un projet cohérent de gestion intégrée de l'eau et des milieux aquatiques.

Un SAGE pour la Mayenne est en début de phase d'élaboration. Un SAGE pour l'Huisne est en phase d'émergence.

L'entretien des cours d'eau est de la responsabilité légale des propriétaires riverains privés (pour les cours d'eau non domaniaux), de l'Etat ou du concessionnaire (pour les cours d'eau domaniaux). Les cours d'eau domaniaux sont les cours d'eau navigables. Cependant depuis la loi du 16 décembre 1964, les voies navigables déclassées restent dans le domaine public (cas du Loir jusqu'à la Chartre/Loir).

Le régime juridique des rivières du bassin versant de la Maine est le suivant :

Rivière	Département	Régime juridique
MAYENNE	61	non domanial
	53	non domanial jusqu'à Mayenne (barrage de Brives), domanial navigable à l'aval.
OUDON	49	domanial navigable
	53	non domanial à l'amont jusqu'à Segré, domanial navigable à l'aval
SARTHE	49	domanial navigable
	61	non domanial
HUISNE	72	non domanial jusqu'au Mans, domanial navigable à l'aval
	49	domanial navigable
LOIR	61	non domanial
	28	non domanial
MAINE	72	non domanial
	28	non domanial
	41	non domanial
MAINE	72	non domanial jusqu'à la Chartre/Loir
	49	domanial non navigable à l'aval (voie navigable déclassée)
	49	domanial non navigable (voie navigable déclassée)
MAINE	49	domanial navigable

La Maine est navigable sur l'ensemble de son cours (11 km). De l'amont vers l'aval, la Mayenne est navigable jusqu'à Mayenne, l'Oudon jusqu'à Segré et la Sarthe jusqu'au Mans. Le Loir était anciennement navigable jusqu'à La Chartre/Loir, situé à l'aval du confluent avec La Braye (radié de la nomenclature des voies navigables en 1957). Actuellement, la navigation pour les cours d'eau navigables est exclusivement touristique ; la navigation commerciale a été arrêtée en 1975. Les écluses sont au gabarit Freycinet.

Les rivières domaniales font l'objet de concession. La concession est un contrat dont les clauses définissent les rapports entre le concessionnaire et l'Etat. Elle concerne l'exploitation et l'entretien de la voie d'eau. La concession d'une voie d'eau par l'Etat ne peut être accordée qu'à une collectivité locale ou à un établissement public.

L'Etat reste responsable :

- de la police de la conservation du domaine public fluvial,
- de la police de la navigation,
- de la police des eaux, de la pêche, de la chasse au gibier d'eau et des règles de sécurité.

Les cours d'eau domaniaux font l'objet de concessions qui concernent l'exploitation et l'entretien de la voie d'eau.

Sur le bassin de la Maine, le concessionnaire est :

- le Conseil Général du Maine et Loire pour l'Oudon, la Mayenne et la Sarthe dans le département du Maine-et-Loire ;
- le Conseil Général du Maine et Loire pour la Mayenne dans le département de la Mayenne ;
- le Syndicat Mixte de la Sarthe aval pour la Sarthe dans le département de la Sarthe ;
- le Syndicat Intercommunal du Loir pour le Loir déclassé, anciennement navigable ; une demande est en cours auprès du ministère de l'Environnement pour transférer la concession au Syndicat Mixte du Loir.

4.2.3 Exploitation des ouvrages existants sur la bassin versant de la Maine

◆ Ouvrages hydrauliques existants sur le bassin versant de la Maine

Sur l'ensemble du bassin versant, on distingue différents types d'ouvrages hydrauliques :

➤ **anciens moulins ou usines** (déversoir, vannage manuel) désaffectés

Ces anciens ouvrages, utilisés initialement pour l'énergie hydraulique sont conservés pour le maintien des plans d'eau à l'étiage. Ces ouvrages posent cependant des problèmes en crue et lors du ressuyage du lit majeur à la décrue, en augmentant les niveaux et les durées de submersion de certaines crues. Ils sont généralement vétustes et certains ne sont plus manoeuvrables.

➤ **anciens moulins ou usines rénovées** (déversoir, vannage manuel ou automatique) en activité ou non

Ces ouvrages ont fait l'objet de travaux : abaissement des cotes de seuils, réfection des déversoirs et vannages, mise en place de vannages automatiques ou semi automatiques.

➤ **ouvrages de navigation** (déversoir, vannage manuel, vannage automatique, écluse au gabarit Freycinet) en activité

Le but de ces ouvrages est le maintien des tirants d'eau dans le chenal navigable :

- mouillage théorique : 1.50 m à 1.60 m
- tirant d'eau au repos : 1.40 m à 1.60 m

➤ **ouvrages hydroélectriques en activité**

Une cinquantaine d'ouvrages dont le but est la production d'énergie sont recensés dans la récente étude « Fish Pass » (cf 4.2.6.3) traitant des potentialités de restauration des poissons migrateurs du bassin de la Maine.

Les ouvrages hydrauliques font l'objet de règlements d'eau déposés en préfecture qui précisent les droits et obligations des propriétaires quant à l'exploitation des ouvrages. En général, les ouvrages permettent le maintien d'un niveau de consigne : le débit augmentant, les vannages sont à manoeuvrer progressivement jusqu'à ouverture complète, de manière à maintenir le plus longtemps possible ce niveau de consigne.

◆ **Exploitation des ouvrages**

Ces ouvrages appartiennent soit à des propriétaires privés, soit à des syndicats de rivière, soit à des collectivités territoriales, soit à l'Etat pour les ouvrages de navigation. L'exploitation dépend du gestionnaire, ainsi :

➤ **pour les ouvrages privés**

L'exploitation et l'entretien des ouvrages sont de la responsabilité des propriétaires. En dehors des ouvrages encore en exploitation, ce sont en général des vannages manuels associés à des seuils fixes, (ouvrages d'anciens moulins), plus ou moins abandonnés, et parfois en mauvais état.

Les propriétaires ont pour obligation de respecter les consignes d'exploitation des ouvrages. Certains moulins sont des résidences secondaires, et les propriétaires "oublent" trop souvent le respect des consignes liées à l'application de ces règlements.

➤ **pour les ouvrages de navigation**

Sur le bassin de la Maine, les concessionnaires des voies d'eau sont les Conseils Généraux des départements concernés par les rivières ou des Syndicats de rivière. Les concessionnaires gèrent les ouvrages avec l'appui et les moyens techniques des Services de l'Etat. Les ouvrages sont alors surveillés, entretenus et exploités par les DDE.

➤ **pour les ouvrages des syndicats de rivière et des collectivités territoriales**

Les Syndicats de Rivière créés généralement suite aux crues des années 1960 possèdent un certain nombre d'ouvrages qu'ils ont acquis pour le franc symbolique auprès de propriétaires privés qui ne parvenaient plus à assumer financièrement l'entretien de ces ouvrages.

Les Syndicats, organisés par département, regroupent les communes riveraines des rivières et dans certains cas les Conseils Généraux. Les ouvrages sont alors surveillés, entretenus par les Syndicats, avec l'appui technique des Services de l'Etat.

L'exploitation technique des ouvrages des Syndicats est assurée soit par les Services techniques de l'Etat, soit par les Services Techniques des agglomérations concernées.

Le tableau suivant présente les différents syndicats qui ont pu être identifiés sur le bassin versant :

Rivière	Département	Syndicats
MAYENNE	61	
	53	Syndicat Mixte de la rivière Mayenne pour la partie domaniale de la rivière
	49	
OUDON	53	Syndicat de Bassin de l'Oudon Syndicat de l'Argos, Syndicat de la Verzée La Gaule Craonnaise
	49	Syndicat Intercommunal pour l'Aménagement de l'Araize-Oudon
SARTHE	61, 72	Syndicat Intercommunal de la rivière la Sarthe amont
	72	Syndicat Intercommunal de la Sarthe amont Syndicat Intercommunal de la Sarthe aval Syndicat Mixte de la Sarthe amont Syndicat Mixte de la Sarthe aval
	49	
HUISNE	61	
	28	
	72	Syndicat intercommunal de l'Huisne Syndicat mixte de l'Huisne
LOIR	28	Syndicat Intercommunal de la Vallée du Loir (SIVL)
	41	Syndicat Intercommunal d'Etude et de Réalisation d'Aménagement de la Vallée du Loir (SIERAVL)
	72	Syndicat Intercommunal du Loir Syndicat Mixte du Loir (SML)
	49	Syndicat du Loir
MAINE	49	

Certains ouvrages hydrauliques sont exploités et entretenus par les Services Techniques des communes qui en sont les propriétaires.

4.2.4 Mode d'entretien actuel des rivières

➤ Cours d'eau domaniaux

Les concessionnaires des cours d'eau domaniaux s'appuient sur des syndicats de rivières (regroupant l'ensemble des communes riveraines du cours d'eau) qui ont pour mission de proposer des programmes de travaux. Ces syndicats réalisent les travaux d'entretien courant de la rivière avec l'appui technique des Services de l'Etat. Des visites annuelles permettent

de dresser un état de la rivière. Les travaux les plus importants ont lieu lors des écourues - période pendant laquelle les biefs sont vidés à la fin de l'été. Les écourues sont réalisées tous les 3 ans environ.

Pour les voies navigables, les travaux consistent à nettoyer les rives, procéder à des curages lorsque c'est nécessaire pour maintenir le chenal navigable, ainsi qu'à la réfection d'ouvrages hydrauliques ou à leur remplacement. Les travaux visent à satisfaire les intérêts des divers utilisateurs de la voie d'eau.

Sur les cours d'eau domaniaux anciennement navigables, le concessionnaire a obligation de conduire des travaux qui permettent le libre écoulement des eaux (curage, entretien des berges), compte tenu des besoins de l'industrie, de l'agriculture, de la pêche, du tourisme et de l'hygiène publique.

➤ Cours d'eau non domaniaux

Pour les parties de rivière privées, l'entretien est totalement de la responsabilité des propriétaires : des privés, des communes ou des syndicats de rivière selon les cas.

➤ Les ouvrages de franchissement

L'entretien des ouvrages de franchissement est assuré par leurs propriétaires ou gestionnaires respectifs (DDE, Collectivités Territoriales, privés).

4.2.5 Etat du lit de la rivière

L'état de la rivière, résultant de sa gestion et de son entretien, dépend essentiellement des intérêts de chacun des différents intervenants :

➤ Pour les tronçons de rivière domaniaux situés sur le bassin de la Maine, ainsi que les tronçons gérés par un syndicat ou une commune, l'état du lit, des berges et des ouvrages hydrauliques annexes est en général satisfaisant.

➤ En ce qui concerne les tronçons de rivière du domaine privé, ils sont souvent délaissés par les riverains, qui ne ressentent pas de contraintes particulières. Ceux qui en assuraient traditionnellement l'entretien ne trouvent plus d'intérêt particulier pour l'entretien des cours d'eau, leurs principaux besoins (bois, énergie et approvisionnement en eau) étant aujourd'hui assurés par la collectivité. Les propriétaires s'en désintéressent d'autant plus que le coût des travaux d'entretien est élevé. Cet abandon se traduit par :

- l'envasement
- l'encombrement du lit mineur et majeur par les arbres,
- l'effondrement des berges
- l'accumulation de déchets divers.

Les ouvrages hydrauliques sont également souvent abandonnés.

D'autre part, les usages de l'eau de la rivière sont devenus au fil du temps de plus en plus « d'intérêt général » :

- prélèvement d'eau, rejets,
- protection du milieu, du site, du patrimoine bâti,
- modernisation pour les loisirs.

Ainsi le riverain, tout en conservant ses obligations légales, se trouve d'une certaine manière dépossédé de l'exercice de ses responsabilités. L'entretien de la rivière devient progressivement à ses yeux l'affaire de la collectivité.

4.2.6 Propositions d'évolution

Le SDAGE définit sept objectifs vitaux pour le bassin ; deux concernent plus particulièrement le lit des rivières :

- retrouver des rivières vivantes et mieux les gérer :
 - assurer un débit minimal
 - respecter, voire rétablir des dynamiques naturelles : entretenir mieux le lit des cours d'eau, grâce à la mise en place de structures pérennes d'entretien, de suivi et de financement stables.
 - assurer le retour de certaines espèces de poissons
- sauvegarder et mettre en valeur les zones humides

4.2.6.1 Exploitation des ouvrages

◆ Abaissement préventif des biefs avant la saison des crues

- Les ouvrages hydrauliques, ceux des moulins en particulier, construites par le passé ont déterminé un nouvel équilibre hydrologique et écologique (qui n'est pas forcément le meilleur sur le plan qualitatif) dans les tronçons de rivière situés immédiatement en amont, ainsi qu'une modification des usages et de la sensibilité des riverains même s'ils ont, du même coup, créé une rupture dans la continuité hydraulique des rivières. Sur nombre de rivières, le rétablissement de cette continuité est un objectif souhaitable, voire nécessaire, moyennant un certain nombre de précautions.
- Lorsque ces ouvrages sont en bon état, ils peuvent empêcher le passage des poissons migrateurs, ce qui concerne notamment les grandes rivières du bassin de la Maine.

La question de l'abaissement préventif de ces ouvrages est souvent évoquée dans le public, dans un dessein de lutte contre les crues ; ils ne jouent pas de rôle sensible, en réalité, dans ce domaine en raison des faibles volumes mis en jeu. Les avantages et inconvénients de cet abaissement préventif sont les suivants :

- *avantages* :

- . favorise un peu plus l'évacuation des sédiments déposés dans le bief amont que s'il n'y a ouverture que lors des crues ;
- . garantit l'ouverture des ouvrages manuels en cas de forte crue, lorsque leur manœuvre est difficile ou dangereuse, compte tenu de la montée des eaux ;
- . psychologique : bien ressenti par une partie du public, même si cet aspect est basé sur une fausse appréhension de l'influence hydrologique de l'ouverture des vannages;
- . permet un passage plus facile des poissons.

- *inconvénients* :

- . modifie l'équilibre mentionné ci-dessus (hydrologique, écologique, sociologique) ;
- . ne change rien à la coupure hydraulique lors des basses ou moyennes eaux et à ses inconvénients (dépôts de sédiments, eutrophisation...);
- . ne permet pas de répondre efficacement à l'attente du public en matière de diminution de l'impact des crues puisqu'il est pratiquement sans effet sur l'écrêtement des crues gênantes ou dommageables.

➤ Au plan quantitatif, l'impact sur l'écoulement des crues de la pratique de l'abaissement préventif du niveau des biefs s'avère de peu d'intérêt ; en effet, les volumes de stockage dans les biefs ne sont pas du même ordre de grandeur que les volumes qui transitent lors des crues (voir exemples suivants).

- **Premier exemple** : abaissement préventif des retenues des biefs navigables de l'Oudon entre Segré (depuis l'aval du moulin Sous la Tour) et le barrage de Grez-Neuville (sur la Mayenne), soit un linéaire de rivière de 19 km.

En prenant comme largeur moyenne de la rivière 50 m et un abaissement extrême de 1 m, le volume disponible pour le stockage serait égal à 950 000 m³. Le volume écoulé lors de la crue de 1995 entre le 19/01/95 et le 26/01/95 (premier pic de la crue) est de 80 000 000 m³ correspondant à 100 fois environ le volume disponible.

Le volume des biefs, négligeable devant le volume de crue, se remplit pendant la montée de la crue comme le montre le schéma en figure E.1 et ne présente plus aucune disponibilité au moment du débordement.

- **Deuxième exemple** : cas des étangs de l'Oudon

Pour mémoire, l'Oudon présente, pour une superficie totale de 1 515 km² et une longueur de 92 km, une pente moyenne de 1,4 ‰ (de la cote 145 à la cote 15).

Le bassin de l'Oudon supérieur présente, à partir de l'étang de la Gravelle (Lorion), un réseau dense de ruisseaux qui serpentent. Ce réseau présente un aspect convergent vers l'exutoire de Marcillé (surface de bassin versant de 734 km²).

Ces ruisseaux alimentent un grand nombre d'étang dont les principaux sont :

- l'étang du grand moulin (10 hectares environ),
- l'étang du Château (30 hectares environ),
- l'étang de la Guéhardière (20 hectares environ sur l'Oudon),

La capacité de stockage obtenue par abaissement préventif ne représenterait que peu d'intérêt pour l'écrêtement des crues.

De plus, ces étangs sont généralement alimentés par des ruisseaux qui représente de faibles apports. Ne se situant pas directement sur l'Oudon, les surfaces de bassin versant contrôlées sont très faibles. Leur effet sur l'écrêtement des crues ne peut donc pas être significatif.

- **Troisième exemple** : abaissement préventif des biefs du Loir en amont de Bonneval.

En procédant de la même manière que dans l'exemple 1, un abaissement extrême de 1 m conduit à un volume disponible pour le stockage de l'ordre 400 000 m³. Le volume écoulé lors de la crue de 1995 entre le 22/01/95 et le 25/01/95 à Bonneval est de 20 000 000 m³ correspondant à 50 fois ce volume disponible. Le volume des biefs, négligeable devant le volume de crue, se remplit pendant la montée de la crue comme le montre le schéma en figure E.1 et ne présente plus aucune disponibilité au moment du débordement. Ces abaissements préventifs ne présentent pas d'intérêt vis à vis de l'amélioration de l'écoulement des crues pour Bonneval.

- Les abaissements préventifs, s'ils ne sont pas réalisés de manière progressive, peuvent provoquer une montée rapide des eaux à l'aval. La stabilité des berges sera également menacée par une vidange trop rapide des niveaux à cause des pressions intersticielles.
- Ces abaissements posent également le problème de la manoeuvrabilité et de la manoeuvre effective des vannes. Les vannages anciens ne permettent pas d'évacuer des débits importants, ce qui compromet la vidange des biefs. Les pertuis de vidange de biefs de navigation, ouverts pendant la crue, peuvent s'obstruer et rendre ainsi difficile leur fermeture. La manoeuvre des ouvrages sera rendue difficile dans le cas des résidences secondaires et des ouvrages mal entretenus.
- La manoeuvre anticipée des ouvrages permettra de s'assurer de leur ouverture avant l'arrivée de la crue. Ainsi, on sera certain que les ouvrages hydrauliques génèrent le minimum d'obstacle possible en situation de crise.

- Le maintien des ouvrages ouverts après la crue favorisera le ressuyage des zones inondées et donc diminuera les durées de submersion. Un niveau bas des biefs favorisera également l'écoulement des crues des affluents lorsque la rivière principale n'est pas elle-même en crue.
- Maintenir un niveau bas des rivières pendant les périodes à risque (en hiver essentiellement) présente un impact psychologique positif sur les populations, qu'il ne faut pas négliger. Les populations riveraines des cours d'eau ont en effet le sentiment que toutes les précautions ont été prises.
- **Conclusion pour les abaissements préventifs**

En conclusion, l'abaissement préventif des ouvrages hydrauliques est, moyennant une concertation locale, vraisemblablement à réserver aux ouvrages situés en aval de zones habitées soumises à des risques d'inondation, lorsqu'on est sûr que la fermeture de ces ouvrages présente un caractère aggravant.

◆ **Ouvertures des portes des écluses en crue**

Les écluses, si elles sont ouvertes en crue, peuvent être le siège de vitesses importantes avec pour conséquences des affouillements, qui peuvent entraîner la ruine de l'ouvrage, en particulier lorsque la voie navigable emprunte une dérivation qui court-circuite un méandre de la rivière. C'est le cas à l'aval du Mans, au droit du Moulin St Georges. Les corps flottants et dépôts dans le sas de l'écluse pourraient endommager les mécanismes de celles-ci. De plus, les portes des écluses de type busqué ne s'ouvrent pas en charge. **L'ouverture des portes des écluses en crue n'est pas recommandée.** Cependant les vantelles peuvent être ouverte en crue.

◆ **Maintien des barrages sur le bassin versant**

Dans le cas où ces ouvrages seraient en mauvais état, leur restauration ne doit pas être posée comme un principe d'action ; il apparaît plutôt très souhaitable, moyennant une concertation préalable avec les usagers intéressés (pas seulement locaux), de rendre à la rivière concernée sa continuité hydraulique.

Dans le cadre de cette concertation, on examinera les divers choix possibles :

- effacer les ouvrages en mauvais état, en n'effectuant éventuellement que le minimum de travaux nécessaires à la conservation de leurs appuis ou à la restauration du lit ;
- réaménager les ouvrages sous une forme qui, à la conception, garantit le transit du débit minimum biologique et de la faune piscicole ;
- enfin, reconstruire les ouvrages à l'identique du point de vue de leur fonction, sans permettre le passage des poissons en permanence ; dans ce cas, on peut se demander si des subventions doivent être accordées au titre de l'Environnement.

◆ **Audit des ouvrages**

Il existe sur l'ensemble du bassin un nombre important de petits ouvrages. Chaque ouvrage a un mode de fonctionnement et d'exploitation spécifique.

Il conviendra de réaliser une analyse plus fine des fonctionnements des ouvrages dans le cadre des pouvoirs de police de l'Etat, pour déterminer les améliorations à apporter au point de vue gestion de l'ouvrage ou modification de celui-ci.

4.2.6.2 Entretien du lit d'écoulement

Le débit d'une rivière dépend en première approximation de la pente, de la hauteur d'eau, et de la rugosité du lit. La rugosité globale du lit pourra être diminuée par des techniques d'intervention telles que le débroussaillage, l'abattage sélectif, l'enlèvement des atterrissements (et végétation associée) et l'élagage.

L'enlèvement des obstacles générateurs de pertes de charges localisées est préconisé en priorité pour la traversée des agglomérations et leur aval immédiat.

A l'opposé, les amonts des rivières qui ont subi des recalibrages avec des conséquences souvent négatives sont à restaurer et entretenir de manière moins intensive. En effet, les débordements générés sur des secteurs où les enjeux sont faibles, contribuent à l'écrêtement des crues.

Si la diminution des durées et niveaux de submersion constitue un résultat positif en matière de protection, il faut souligner que celle-ci a un effet négatif pour le fonctionnement de l'hydrosystème, surtout si elle s'applique aux petites crues. L'inondation est un facteur important dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et humides.

Une coordination des travaux d'entretien entre les différents intervenants (riverains, syndicats, services de l'Etat) est recommandée. Elle ne peut se faire sans regrouper les différents acteurs de la rivière (collectivités territoriales, riverains, services techniques de l'état) au sein de structures de concertation. Ces actions permettront d'impliquer et responsabiliser les riverains privés qui, dans la majorité des cas, n'entretiennent pas les rives et ouvrages hydrauliques des rivières. Elles permettront également de guider et d'encadrer les riverains pour l'exploitation des ouvrages et les techniques d'entretien à mettre en oeuvre en tenant compte des préconisations du SDAGE.

D'une manière plus générale, l'entretien du lit n'a pas pour unique objectif l'amélioration de l'écoulement des crues. Un entretien régulier de la rivière est préconisé pour assurer la tenue des berges et l'équilibre de l'écosystème.

4.2.6.3 Travaux réalisés par les Syndicats

Selon la cellule Plan Loire du Conseil Supérieure de la Pêche, sur la base des cours d'eau décrits dans les Schémas Départementaux de Vocation Piscicole, 1 350 ouvrages ont été recensés sur les cours d'eau du bassin versant de la Maine. Avant l'intervention des Syndicats d'Aménagement, les vannages étaient souvent fermés et la plus grande partie du débit transitait sur le seuil qui permettait ainsi le passage de certaines catégories de la faune piscicole. Les travaux des syndicats ont consisté à remplacer les vannages manuels par des clapets automatiques qui ont amélioré le passage des petites crues mais restent sans influence sur l'écoulement des crues importantes, pour lesquelles les ouvrages sont soumis à des conditions hydrauliques d'écoulement noyé.

La conséquence de la mise en place de ces clapets est une diminution du débit sur les seuils lorsqu'une grande partie du débit transite par les vannes mobiles provoquant ainsi :

- une perte d'inondabilité affectant le fonctionnement des frayères sur les biefs amont (ressuyage des zones humides productives),
- une aggravation des conditions de franchissement des ouvrages par les poissons (attraction des migrateurs aux pieds de jets plongeants infranchissables).

Cette situation est le résultat d'une politique d'aménagement du lit de la rivière sans prise en compte de critères liés au développement de la faune piscicole. Seul le critère « amélioration des conditions de l'écoulement » des crues avait été pris en compte. Par exemple, les seuils anciens à parement incliné sont aujourd'hui remplacés par des seuils droits (palplanches + béton). La prise en compte de la faune piscicole aurait conduit à d'autres solutions (passes à poissons ...).

Pour assurer le retour des poissons, et plus généralement respecter les préconisations du SDAGE, (retrouver des rivières vivantes, sauvegarder et mettre en valeur les zones humides), il est indispensable d'intégrer les critères environnementaux dans les réalisations des Syndicats. Un effort d'analyse est conduit actuellement à l'échelle du bassin dans le domaine de la restauration des milieux aquatiques. En particulier, on peut citer l'étude « Fish Pass », dont l'objet est d'étudier les potentialités de restauration des poissons migrateurs dans le bassin de la Maine. Cette étude s'inscrit dans le cadre du "contrat retour aux sources" initié par le Ministère de l'Environnement. L'objectif de cette démarche tend à restaurer les populations de poissons migrateurs amphihalins sur leur aire continentale de répartition. Plus précisément, le Plan de Gestion à l'Echelle du bassin versant de la Loire a défini des objectifs spécifiques pour les espèces migratrices.

4.2.7 Synthèse des protections intermédiaires

Il y a lieu de noter qu'en ce qui concerne les protections intermédiaires, il n'est pas possible de tirer une conclusion générale. C'est au cas par cas qu'il convient d'examiner pour tel ou tel ouvrage la politique à mettre en place.

4.3 Protections éloignées

4.3.1 Principes des protections éloignées

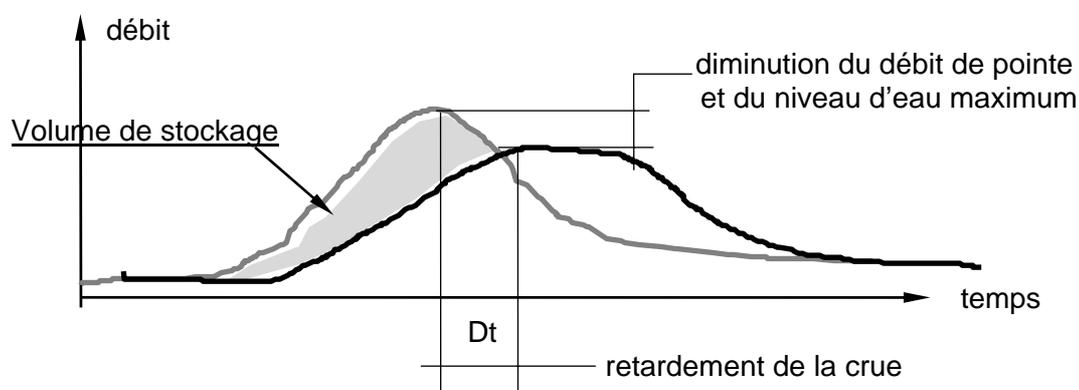
Il s'agit de définir ou réactualiser les possibilités d'une protection d'ensemble par écrêtement ou ralentissement des crues (sur-inondation de zones inondables dans le cadre du ralentissement dynamique, aménagements d'ouvrages existants, réflexion sur l'intérêt de barrages écrêteurs de crue).

Cette analyse est réalisée pour :

- l'Oudon
- la Mayenne (limitée à une synthèse sur les ouvrages existants et en projet)
- la Sarthe (en reprenant, pour le sous-bassin Huisne, les résultats de l'étude récente du BRL)
- le Loir (limitée à un rappel et une actualisation de l'étude Hydratec de 1987).

Le principe de la protection par écrêtement d'un secteur est de retenir en amont une partie du volume d'eau de la crue et de les relâcher progressivement. Le stockage peut se faire de manière ponctuelle sous la forme d'une retenue ou de manière diffuse par sur-inondation de secteurs déjà inondés au moyen de levées transversales de terre.

La conséquence de tels aménagements est le laminage de l'hydrogramme de la crue (évolution en fonction du temps) ; la crue devient moins forte (en débit et donc en niveaux) et apparaît plus tard comme le montre le graphique suivant :



- hydrogramme sans protection
- hydrogramme avec protection par écrêtement

Le retardement et la montée plus douce de la crue sont favorables à la prévision des crues.

Cependant des précautions sont à prendre au niveau des confluences ; en effet, le retardement de la crue, quand il va dans le sens de la synchronisation des pointes de crue peut conduire à une aggravation des crues.

Il convient donc de vérifier la non aggravation en étudiant la concomitance des crues. Au contraire, lorsque le retardement va dans le sens de la désynchronisation des débits de pointe, il contribue à améliorer la situation.

De la même manière, le remplissage des volumes relatifs au lit mineur, au lit majeur et aux champs d'inondation fait que le débit de la crue se transmettant à l'aval s'en trouve diminué par effet d'écrêtement. En conséquence, toute diminution du remplissage des zones de stockage du lit de la rivière entraîne un déficit d'écrêtement et une aggravation des inondations à l'aval.

L'efficacité d'une protection par écrêtement dépend essentiellement de l'importance du volume de stockage devant le volume de la crue. Plus le volume de stockage est grand devant le volume de la crue, et plus l'amélioration sera importante. Ainsi pour deux crues de débits de pointe identiques, l'effet des retenues dépend de la durée de la crue : une crue longue en durée, avec un volume plus important donc sera moins écrêtée qu'une crue plus courte.

L'efficacité des retenues dépend également de l'importance de surface de bassin versant contrôlée par le barrage.

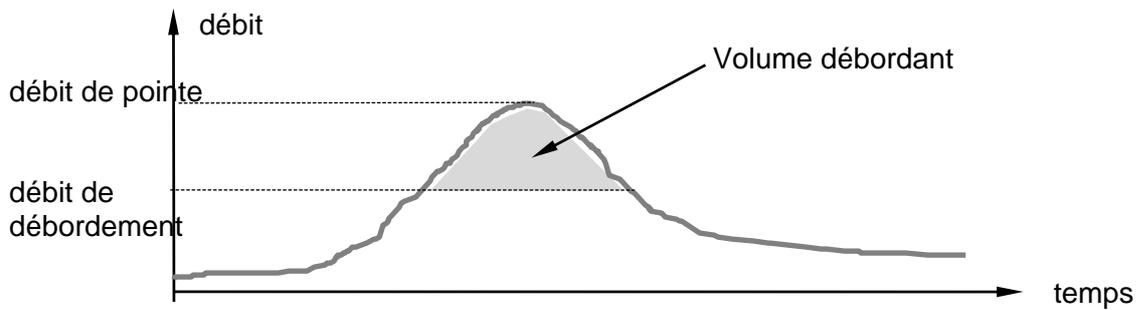
L'effet d'écrêtement diminue lorsqu'on s'éloigne du site du fait de l'augmentation de la surface du bassin versant non contrôlée par la retenue.

Afin d'avoir une première idée de la faisabilité d'une protection par écrêtement, il convient d'évaluer les volumes de crue en jeu.

4.3.2 Estimation des volumes concernés

Une crue se caractérise par un débit de pointe et un volume. La période de retour de la crue est calculée par rapport au débit de pointe. Pour la protection par écrêtement, ce qui est important c'est le volume d'eau qui transite pendant la crue.

Le volume débordant est illustré par le schéma suivant.



Le volume débordant est le volume qu'il conviendrait de stocker pour éviter totalement l'inondation à l'amont immédiat du site à protéger.

Si la retenue se trouvait très en amont du site à protéger, il conviendrait de stocker des volumes nettement plus importants pour tenir compte de l'accroissement de débit lié à l'augmentation du bassin versant.

Les volumes débordants pour les crues récentes sont donnés dans le tableau suivant :

Ville	rivière	seuil de début de dommages	Crue T < 15 ans () période de retour	Crue 15 < T < 35 ans () période de retour	Crue T > 35 ans () période de retour
Bonneval	Loir	25 ans/110 m ³ /s	-	avril 1983 (25)	janvier 1995 (55)
		vol. (Mm ³)	-	0.4	2.6
Vendôme	Loir	5 ans/140 m ³ /s	novembre 1984 (10-15)	janvier 1995 (30)	avril 1983 (35-40)
		vol. (Mm ³)	9.7	32.2	21.7
La Flèche	Loir	5-10 ans/280 m ³ /s	novembre 1984 (8)	avril 1983 (20)	janvier 1995 (55 ans)
		vol. (Mm ³)	0.5	20.7	76.1
Alençon	Sarthe	5 ans/75 m ³ /s	février 1996 (6)	janvier 1993 (20)	janvier 1995 (50-55)
		vol. (Mm ³)	0.8	4.8	23.1
Sarthe amont Huisne	Sarthe	10 ans/250 m ³ /s	-	-	janvier 1995 (40)
		vol. (Mm ³)	-	-	24.2
Le Mans	Sarthe	10 ans/330 m ³ /s	avril 1985 (10)	-	janvier 1995 (65)
		vol. (Mm ³)	0.1	-	69.4
Sable/ Sarthe	Sarthe	10 ans/400 m ³ /s	février 1979 (11)	-	janvier 1995 (60)
		vol. (Mm ³)	3.8	-	118.5
Craon	Oudon	12 ans/50 m ³ /s	février 1997 (12)	janvier 1995 (20)	-
		vol. (Mm ³)	1.5	9.2	-
Segré	Oudon	10-15 ans / 175 m ³ /s	-	février 1996 (35)	janvier 1995 (45)
		vol. (Mm ³)	-	3.2	11.8
Laval	Mayenne	15 ans / 400 m ³ /s	février 1990 (12)	janvier 1995 (32)	novembre 1974 (50)
		vol. (Mm ³)	1.4	12.9	13.1
Chateau Gontier	Mayenne	10-15 ans / 500 m ³ /s	janvier 1993 (8)	janvier 1995 (25)	novembre 1974 (38)
		vol. (Mm ³)	0.6	27.1	19.5

Le tableau ci-dessus nous montre que les volumes débordants sont considérables (plusieurs dizaines de millions de m³). Ceci nous amène à rechercher des sites de stockage à volume important et contrôlant de grandes surfaces de bassin versant.

4.3.3 Type d'ouvrages de stockage envisageables sur le bassin

Différents types d'ouvrages de stockage sont envisageables sur le bassin versant de la Maine :

➤ Retenue de type barrage

- retenues collinaires (sites contrôlant de petits bassins versants, petit volume de stockage)
Elles sont peu favorables à l'écrêtement des crues du fait de leurs faibles volumes de stockage. Elles répondent généralement à un besoin local de soutien d'étiage : ce sont par exemple des réserves d'eau agricole, utilisées pour l'irrigation lorsque les apports des cours d'eau sont insuffisants. Ces retenues collinaires ne présentent pas ou très peu d'intérêt vis à vis de l'écrêtement. Elles ne seront pas étudiées dans le cadre de cette étude.
- retenues de vallée (surface de bassins versants contrôlés importante et volume de stockage non négligeable devant le volume de la crue)
Ce type de retenue est intéressant pour l'écrêtement des crues. Elles seront envisagées sur le bassin versant de la Maine.

➤ Retenue en parallèle dans le lit majeur

Ces retenues consistent en des aménagements du lit majeur avec des systèmes de digues, de vannes d'alimentation et d'ouvrages de vidange (pompage ou canal), qui permettrait d'augmenter les capacités de stockages du lit majeur. Les sites propices à de tels aménagements sont les gravières ou ballastières.

Du fait de la nappe d'accompagnement en relation plus ou moins étroite avec la rivière, le niveau et donc le volume utile pour le stockage dans ce type d'aménagement est difficilement maîtrisable. Pour avoir un effet significatif, une vidange complète permanente est nécessaire, solution incompatible avec l'usage actuellement fait des gravières (plan d'eau permanent). L'utilisation de zones de lit majeur à faible vulnérabilité comme retenue colinéaire soulève les mêmes problèmes.

L'étude Hydratec avait mis en évidence 6 sites de gravières (Saumeray-Alluyes, Cloyes, Morée, St Firmin, Meslay, Varennes, Villiers, Montoire-Lavardin). L'effet des gravières a été mis en évidence à partir de courbe du type « Gain en débit = fonction (volume de stockage) ». Ces sites de gravières posant des problèmes de gestion hydraulique, d'acquisitions foncières et de compatibilité avec l'exploitation de granulats ont été éliminés.

Pour des raisons similaires, le BRL (Etude Huisne de 1997) a écarté l'utilisation des gravières et ballastières existantes sur la partie de l'Huisne entre Nogent le Rotrou et Le Mans.

Les zones de gravières, peu vulnérables aux inondations sont plus favorables à la réalisation de stockage par sur-inondation par création de levées transversales. C'est dans ce cadre que nous les prendrons en compte pour l'écrêtement des crues dans la présente étude.

- Sur-inondation dans le lit majeur par mise en place de levées transversales dans celui-ci.

L'idée est de sur-inonder les zones naturellement inondables situées le long des cours d'eau, et qui présentent une faible vulnérabilité vis à vis des crues. Cette possibilité sera envisagée.

- En résumé, nous nous intéresserons donc dans la suite de l'étude à l'effet des retenues contrôlant une surface de bassin importante ainsi qu'à l'effet de la création de levées transversales dans le lit majeur.

4.3.4 Retenue de stockage

4.3.4.1 Méthodologie

L'effet des retenues sur l'écrêtement des crues dépend :

- du volume de stockage du site par rapport au volume de la crue à cet endroit
- de la surface de bassin versant contrôlée
- du type de gestion de l'ouvrage

L'effet des retenues sera estimé sur une crue de type centennale reconstituée à partir des débits de pointe estimés dans la présente étude, et de la forme des crues observées.

On distingue deux types de gestion des retenues :

- retenue sèche à fonctionnement libre sans ouvrage vanné (gestion passive)

Une retenue sèche est une retenue qui, hors période de crue, est vide.

Un ouvrage de fond permet le passage du débit non débordant ; le débit augmentant l'ouvrage de fond se met en charge et la retenue se remplit. Un ouvrage de surface permet d'évacuer les crues exceptionnelles.

Ce type de retenue présente l'avantage de se remplir et se vider sans intervention humaine. Ce qui signifie pour la crue suivante que la retenue est vide et il est ainsi possible de mobiliser le volume maximal de stockage.

C'est le type de retenue proposée dans l'étude BRL de 1997.

- retenue sèche à fonctionnement régulé avec ouvrage vanné

Le débit sortant ne dépasse pas le débit de débordement tant que la retenue n'est pas remplie. Ce type de gestion est intéressant pour des retenues de grande capacité.

Dans le cas d'une retenue à fonctionnement régulé, la manoeuvre des vannes doit faire l'objet d'un règlement préalable qui définit les périodes et les conditions d'ouverture en fonction des conditions hydrologiques.

Une gestion régulée suppose une prévision en amont et une décision de gestion, ce qui peut être très exigeant. Compte tenu du niveau de cadrage de l'étude, il a été pris en compte une gestion régulée parfaite.

➤ comparaison entre gestion passive et régulée

La solution 2 (voir graphique) est la plus efficace, elle permet d'optimiser l'utilisation du volume de stockage. Mais elle nécessite des ouvrages vannés et engendre un coût d'exploitation. Elle est applicable lorsque les volumes de stockage sont importants et permet de retenir la crue dans son ensemble à partir du débit de débordement.

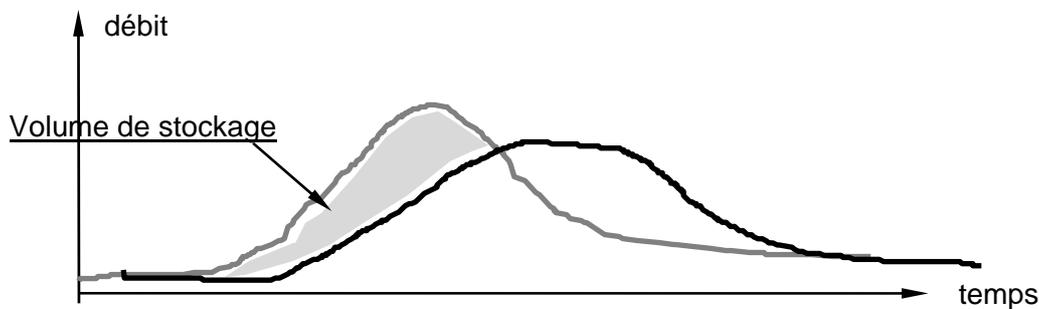
La solution 1 (voir graphique) reste simple à mettre en œuvre. Son fonctionnement est relativement transparent vis à vis des crues les plus courantes.

Ces retenues sèches sont systématiquement vidangées après chaque crue ce qui permet pour la crue suivante de disposer du volume maximum de stockage sous réserve que les crues soient espacées de quelques jours.

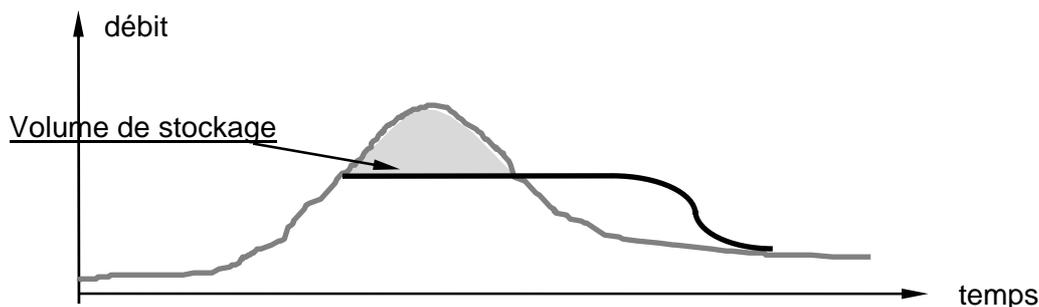
En revanche, on peut difficilement envisager une utilisation à buts multiples puisque l'objectif est de vider la retenue dès que possible.

Au droit du site, le calcul du laminage de la crue permet l'estimation du pourcentage d'écrêtement à l'aval immédiat de la retenue :

Gestion 1 : (gestion passive)



Gestion 2 : (gestion régulée)



Le pourcentage d'écrêtement de la crue est fonction du type de gestion. Il est plus important dans le cadre d'une gestion régulée. Il faut noter que dans ce cas de figures, il y a mise en place d'automatismes et donc nécessité d'un contrôle par des opérateurs avertis.

➤ Evaluation de l'écrêtement à l'aval des retenues

Les études antérieures ont permis d'estimer les écrêtements possibles pour les retenues envisagées sur le Loir et l'Huisne. Le chargé d'étude a estimé les écrêtements possibles dus aux retenues envisagées sur la Sarthe, la Mayenne et l'Oudon. Par la suite, les courbes hauteurs/débits ont permis de traduire en abaissement de niveau la réduction de débits.

Pour évaluer l'impact de la retenue sur l'écrêtement plus en aval du bassin versant et en l'absence de modélisation mathématique, on utilisera une formulation du type :

à l'aval direct du site :

Surface du bassin versant = A

Q_{a100} = débit centennal de pointe

Q_{a100}' = débit centennal écrêté (résultat de l'effet de laminage).

en un point B, plus en aval :

Surface du bassin versant = B

Q_{b100} = débit centennal de pointe

Q_{b100}' = débit centennal calculé.

$$\text{alors } Q_{b100}' = Q_{b100} * ((B - A * (1 - (Q_{a100}' / Q_{a100})^{1.25})) / B)^{0.8}$$

assimilant ainsi l'écrêtement de la crue à une réduction de bassin versant.

L'écrêtement d'une crue entraîne un effet de retardement du pic de crue. Le calcul de laminage au droit du site doit permettre d'estimer ce retard au droit du site. Par contre, sans modélisation, il est difficile d'estimer avec précision le retard de la crue provoqué par un ensemble de retenues sur un point situé plus en aval. La connaissance des volumes de stockage permet toutefois d'en faire une première approximation.

4.3.4.2 Recherche de sites de retenues de stockage sur le bassin de la Maine

Des études antérieures ont mis en évidence un grand nombre de sites possibles pour l'implantation de retenue de stockage.

Cependant, parmi les sites envisagés un nombre important ne présentent aucun intérêt pour l'écrêtement des crues du fait de leur faible capacité de stockage (faible volume des cuvettes, surface de bassin contrôlée faible).

Le chargé d'étude, à l'examen des études, a sélectionné les sites les plus efficaces à l'égard de l'écrêtement des crues.

De plus, le chargé d'étude a procédé à une recherche de sites nouveaux intéressants sur carte IGN au 1/25 000.

Les critères de sélection des sites pour cette analyse à l'échelle du bassin sont les suivants :

- le volume disponible pour amortir la crue,
- la surface du bassin versant contrôlée,
- les caractéristiques géologiques.

➤ Le Loir

L'étude Hydratec recense trois types de sites : les sites collinaires contrôlant les hauts bassin, les sites de vallées contrôlant des bassins versants plus importants et des sites de gravières aménageables. Il a été mis en évidence 13 sites. L'effet de 7 sites a été testé sur modèle mathématique. L'analyse des résultats sur les plans hydraulique et économique conduit à proposer la réalisation de 4 retenues d'écrêtement. Il faut noter que la seule fonction écrêtement des crues ne permet pas de justifier la réalisation de barrages écrêteurs.

L'examen par le chargé d'étude des cartes au 1/25 000 du bassin versant du Loir et des photos aériennes de la crue de 1995 ne met pas en évidence de nouveaux sites de retenues sur le bassin versant du Loir.

Les sites sont rappelés dans le tableau suivant :

Site	Rivière	Surface de bassin versant contrôlée (km ²)	Volume de la retenue (Mm ³)	Hauteur (m)
Thironne	Thironne	64	2,7	14
Foussarde	Foussarde	78	2,3	11,5
Ozanne	Ozanne	34	1,6	11,5
Yerre	Yerre	47	8	12,5

➤ La Sarthe

L'étude du BCEOM réalisée en 1968 n'avait pas permis de mettre en évidence des sites potentiels de retenues sur la Sarthe.

L'examen par le chargé d'étude des cartes IGN au 1/ 25 000 et des photos aériennes de la crue de 1995 confirme ces conclusions. Le relief peu marqué de la vallée de la Sarthe ne fournit pas de site de retenue. La construction d'un barrage conduirait à des submersions importantes de zones habitations, d'infrastructures routières, ...

En amont d'Alençon (830 km² de surface de bassin versant), la Sarthe ne présente pas de site favorable à la réalisation d'une retenue. Le champ d'inondation est relativement large et est plutôt favorable à la réalisation de levées transversales dans le lit majeur.

A l'aval, la Sarthe traverse les Alpes Mancelles dans une vallée très étroite (largeur du champ d'inondation inférieure à 200 m) ne présentant pas de site intéressant, à part le site du Gué Ory.

A la sortie des Alpes Mancelles, la Sarthe coule dans une plaine assez large comprenant de nombreuses agglomérations.

A l'aval du Mans, compte tenu de l'occupation des sols (nombreuses agglomérations) et de la forme de la vallée, aucun site de retenue potentiel n'a pu être retenu.

Concernant les affluents, l'examen des possibilités de retenues a été limité au bassin de l'Orne Saosnoise (sauf le site à Averton sur le Merdereau, répertorié dans le SAE Mayenne). Les autres affluents ne présentent pas de surfaces de bassin versant significatives au regard de la surface du bassin versant de la Sarthe à leur confluence :

Citons les plus importants :

- la Vègre à Asnières : 410 km²
- l'Erve à Moulin la Roche : 380 km²
- la Vaige à Bouessay : 233 km²

la surface du bassin versant à Beffes étant de 7380 km².

L'examen sur carte au 1/25 000 de la vallée de l'Orne Saosnoise (550 km²) montre que cette vallée est très plate et ne permet pas la localisation de sites potentiels de retenue.

Cependant l'étude a examiné trois sites :

Site	rivière	surface de BV contrôlée (km ²)	volume de la retenue (Mm ³)	hauteur (m)	remarques
Site du Gué Ory	Sarthe	1 206	7,5	10	Précision de la carte 1/25000)
Déviation de St Marceau	Sarthe	2 500	2	2,5	Précision de la carte (1/25000)
Averton	Merdereau	113	5,6	28	Submersion de 3 bâtiments

Dans le secteur du site de St Marceau, la pente de la Sarthe est égale à 0.5 ‰. A 5 km en amont de la déviation de St Marceau, la ville de Beaumont et plus particulièrement le secteur de la Croix Verte, se trouve en zone inondable. Le volume de l'éventuelle retenue est donc limité à 2 Mm³ pour une hauteur d'eau de 2.5 m en première approximation. Le volume de stockage n'est pas du même ordre de grandeur que le volume écoulé lors d'une crue de la Sarthe (de l'ordre de 100 millions de m³ pour une de période de retour 100 ans). Cet aménagement serait sans effet significatif sur les crues.

Le site d'Averton sur le Merdereau est proposé dans le schéma d'aménagement des eaux du département de la Mayenne (Hydratec 1991).

En conclusion pour la Sarthe, seuls les sites du Gué Ory et d'Averton sont potentiellement intéressants vis à vis de l'écrêtement des crues, soit 2 sites pour un volume de stockage de 13.1 Mm³.

➤ L'Huisne

L'étude Huisne du BRL a étudié 13 sites (volume de stockage : 8 Mm³) et proposée trois sites (Volume de stockage : 4 Mm³) Mauves, Margon, Rémalard.

Les sites de Margon et Mauves sont placés directement sur l'Huisne et offrent les plus grandes capacités de stockage.

Le chargé d'étude confirme l'intérêt de ces trois sites.

Le tableau suivant rappelle les caractéristiques des sites :

Site	Rivière	Surface de BV contrôlée (km ²)	Volume de retenue	Hauteur
Mauves	Huisne	195	1,370	4,5
Margon	Huisne	690	2,310	4
Rémalard	Ruisseau de Boiscorde	17	0,336	7,5

➤ La Mayenne

16 sites potentiels de retenue ont été identifiés dans le cadre du **Schéma d'Aménagement des Eaux de la Mayenne** (Hydratec 1991) :

Site	rivière	surface de BV (km ²)	volume (Mm ³)	hauteur (m)	remarques
St Calais du Désert	Mayenne	112	15	32	Submersion des routes D535,D244
Ambrières	Mayenne	860	26	13	Nombreuses submersions : bâtiments et 5 km de route
Ambrières	Varenne	660	11,4	15	Retenue très longue. Site plat. Les surfaces inondables sont très importantes (nombreuses submersions de zones bâties)
Oisseau	Colmont	230	16	26	Rivière à vocation loisirs Canoë-Kayak
Ernée	Ernée	65	3	23	Peu de submersions
Andouillé	Ernée	358	8,4	14	Submersion de 2 km de routes et de quelques bâtiments
Mézières	Fresnes	20	9	27	Alimentation par pompage dans la Mayenne
St Jean de Mayenne	Fresnes	9	23	31	N162 à reprendre
Entrames	Ouette	119	2,9	9	Submersion moyenne
Montigné Le Brillant	Rau La Paillardière	32	5,5	18	Submersion de la route N270
Houssay	Rau de Brault	36,7	6	6	Submersion de la D215 et présence d'une ligne électrique
Bazouges	Rau du Bouillon	15,5	6	22	Submersion de la route D112
Menil	Rau de Rouillad	21	5	13	Présence de lignes électriques
Bierné	Béron	15	2,4	10	Submersion de quelques fermes.

La retenue de St Fraimbault, conçue essentiellement pour le soutien d'étiage, n'a pas été prise en compte dans le cadre d'une hypothèse d'écrêtement des crues. Sa vocation n'est pas compatible avec l'écrêtement des crues. Le volume d'eau stocké est 4.5 Mm³, pour une surface de 143 hectares et une profondeur maximum de 8.50 m. L'évacuation des crues est assurée par 4 passes, équipées chacune d'un clapet de 25 m x 2.5 m.

Tenu compte des surfaces de bassin versant contrôlés, seuls les sites de St Calais, Ambrières, Oisseau, Andouillé sont potentiellement intéressants vis-à-vis de l'écrêtement des crues, soit 5 sites pour un volume de stockage de 76.8 Mm³.

➤ L'Oudon

Pour le bassin de l'Oudon, une recherche de site a été effectuée dans le cadre du schéma d'aménagement des eaux de l'Oudon et de la Mayenne dans le département du Maine-et-Loire. Cet examen a permis de recenser 6 sites. L'examen des cartes au 1/ 25 000 ne met pas en évidence de sites nouveaux intéressants. En effet, le caractère peu prononcé du relief du bassin de l'Oudon ne permet pas de trouver des sites avec un volume significatif pour l'écrêtement des crues.

Dans le schéma d'aménagement des eaux dans le Maine-et-Loire, l'hypothèse de la réalisation de retenue n'est pas apparue réaliste pour le soutien d'étiage (bassins versants petits, volume des retenues insuffisant, risque d'eutrophisation fort à certain), bien que les sites mis en évidence ne présentaient pas sur le plan technique de contre-indications.

Site	rivière	surface de BV (km ²)	volume (Mm ³)	hauteur (m)	remarques
Louvaines	Sazée	61	1,5	6	Site large, nombreuses submersions
La Boissière	Chéran	85	5	14,5	Submersion d'un hameau
Châtélais	Queille	11,5	3	23	Alimentation par pompage
Pied Dru	L'Araize	12,5	5	14	Retenue très longue
Châtélais	Oudon	736	1,55	2,5	Vallée à fond plat, retenue longue
Méral	Oudon	95,5	4	11	Submersion : quelques fermes et anciennes retenues.

Tenu compte des surfaces de bassin versant contrôlé, seuls les sites de Chatelais, de Boissière et Méral sont potentiellement intéressants vis à vis de l'écrêtement des crues, soit 3 sites pour un volume de stockage de 10.55 Mm³.

➤ La Maine

Etant donné la topographie et l'occupation des sols, il n'est pas apparu de site de retenue.

4.3.4.3 Effet des retenues

Les effets hydrauliques à l'aval immédiat des retenues sont estimés à partir d'un calcul simplifié de laminage de la retenue (prise en compte de l'équation de continuité seulement).

Les graphiques correspondants sont donnés en annexe 9.

Plus à l'aval, on assimile la réduction de débit à une réduction de bassin versant. Les calculs effectués sont des premières estimations qu'il conviendra d'affiner (cf § 4.3.4.1).

L'événement de référence considéré est une crue centennale.

Les tableaux suivants rassemblent l'ensemble des résultats :

Effet des retenues de la Sarthe (Gué Ory et Averton)

crue centennale		Gestion passive			Gestion régulée		
		% d'écrêtement	ΔQ (m ³ /s)	ΔZ (cm)	% d'écrêtement	ΔQ (m ³ /s)	ΔZ (cm)
Sarthe	Gué Ory	11	20	*	30	55	*
	Averton	49	17	*	65	23	*
	Montreuil	6	24	10	13	55	25
	Spay	3	16	5	7	37	20
	Beffes	2	15	5	5	34	10

Retardement de la Sarthe au Mans (amont) : non significatif

Effet des retenues de la Mayenne
(St Calais, Ambrières / Varenne et / Mayenne, Oisseau, Andouillé)

crue centennale		Gestion passive			Gestion régulée		
		% d'écrêtement	ΔQ (m ³ /s)	ΔZ (cm)	% d'écrêtement	ΔQ (m ³ /s)	ΔZ (cm)
Mayenne	St Calais	52	31	*	100	60	*
	Ambrières/Var.	20	65	*	39	125	*
	Ambrières/May.	22	47	*	40	84	*
	Oisseau	51	54	*	66	70	*
	Andouillé	23	30	*	42	55	*
	Mayenne	27	160	100	46	271	190
	Laval	20	146	35	34	251	70
	Chambellay	14	149	15	23	253	35

Retardement de la Mayenne à Chambellay : de l'ordre de la journée

Effet des retenues de l'Oudon (Méral, Chatelais, Boissière)

cru centennale		Gestion passive			Gestion régulé		
		% d'écrêtement	ΔQ (m3/s)	ΔZ (cm)	% d'écrêtement	ΔQ (m3/s)	ΔZ (cm)
Oudon	Méral	25	10	*	37	15	*
	Chatelais	0	0	*	0	0	*
	Boissière	60	15	*	80	20	*
	Craon	8	7	*	11	10	*
	Marcillé	10	17	15	12	22	20
	Segré	5	16	10-15**	7	22	15 **
	Port aux Anglais	5	15	*	7	22	*

Retardement de l'Oudon à Port aux Anglais : non significatif

Effet des retenues de l'Huisne (Rémalard, Mauves, Margon)

Résultats étude BRL-1997 cru centennale		Gestion passive		
		% d'écrêtement	ΔQ (m3/s)	ΔZ (cm)
Huisne	Rémalard	13	13	22
	Nogent (aval)	16	22	44
	La Ferté Bernard	11	20	14
	La Pécardière	7	15	5
	Le Mans	4	9	<5

Retardement de l'Huisne au Mans (amont) : aucun selon l'étude BRL-1997

Effet des retenues du Loir (Thironne, Foussarde, Ozanne, Yerre)

Résultats étude Hydratec 1987 pour la cru d'avril 1983 (30 ans)		Gestion non précisée		
		% d'écrêtement	ΔQ (m3/s)	ΔZ (cm)
Loir	Bonneval	39	50	55
	Cloyes/Loir	40	63	40
	Montoire	24	51	22
	La Flèche	7	23	8
	Durtal	6	21	15

Retardement du Loir à Durtal : aucun selon l'étude Hydratec-1987

* courbe de tarage non disponible

** à partir de la formule de strickler

➤ La Sarthe

• Gestion Passive

En aval des retenues, en assimilant l'effet des retenues à une réduction de bassin versant, le gain en débit serait de l'ordre de 25 m³/s à Montreuil sur le débit de pointe centennal, correspondant à un abaissement de 10 cm pour la crue centennale (d'après la courbe de tarage de la station).

De la même manière, le gain en débit pourrait être de 15 m³/s au Mans à l'aval de la confluence sur le débit de pointe centennal (soit environ 5 cm).

A Beffes, le gain resterait du même ordre, ce qui montre les limites de la formule utilisée - en effet, l'impact des retenues ne peut que diminuer lorsque l'on s'éloigne de celles-ci. Compte tenu de la faible surface de bassin versant contrôlée par ses 2 retenues, le retardement de la pointe de crue de la Sarthe doit être très faible au Mans et sans effet significatif sur le synchronisme des crues Huisne - Sarthe. Une modélisation mathématique permettrait de le connaître avec précision.

• Gestion régulée

La gestion régulée permet un meilleur écrêtement. Le gain en débit pourrait être de 37 m³/s au Mans à l'aval de la confluence sur le débit de pointe centennal (soit environ 20 cm).

➤ Le Loir

L'impact hydraulique est évalué en s'appuyant sur un modèle mathématique. L'impact du scénario d'aménagement proposé à l'issue de l'étude est donné pour les crues de novembre 1984 (de période de retour 10-15 à Villavard) et avril 1983 (de période de retour 35-40 à Villavard) : pour la crue de 1983, entre Bonneval à Durtal, les débits sont diminués de 50 à 21 m³/s, soit un gain en niveau de 55 cm à Bonneval et 15 cm à Durtal.

Pour la crue d'avril 1983, les retenues proposées ne conduisent pas à un retardement de la crue. Ceci peut s'expliquer par le type de gestion appliqué pour construire les hydrogrammes écrêtés.

Selon les calculs d'Hydratec, les retenues d'écrêtement proposées par Hydratec au nombre de 4, ne modifient pas le synchronisme des crues de la Sarthe et du Loir. Les 4 sites, localisés en amont de la confluence avec la Braye sont favorables vis à vis du synchronisme des crues Loir - Braye. La pointe de crue de la Braye se produisant en général avant celle du Loir.

➤ La Mayenne

- Gestion Passive

L'effet des retenues avec une gestion passive, au droit du site est rapelé dans les tableaux.

A l'aval des retenues et en assimilant l'effet des retenues à une réduction de bassin versant, le gain en débit pourrait être de 160 m³/s à Mayenne sur le débit de pointe centennal (soit environ 1 m, en utilisant la relation hauteur débit de la *figure C.2*).

De la même manière, le gain en débit pourrait être de 145 m³/s à Laval sur le débit de pointe centennal, correspondant à un abaissement de la ligne d'eau de 40 cm pour la crue centennale

Avec la même hypothèse, le gain en débit pourrait être du même ordre de grandeur à Chateau-Gontier et Chambellay sur le débit de pointe centennal, ce qui montre les limites de cette approximation.

Sans modélisation, on peut difficilement estimer le délai de ralentissement sur l'ensemble de la Mayenne, conséquence de ces retenues. En première approximation et tenu compte du volume stocké, ce retardement serait de l'ordre d'une journée.

Etant donné que les crues de la Mayenne et de l'Oudon sont sensiblement synchrones à leur confluence (6 h à 12 h d'écart), l'effet de ces retenues va dans le sens de la désynchronisation des crues des deux rivières.

- Gestion régulée

La gestion régulée permet un meilleur écrêtement. Le gain en débit pourrait être 270 m³/s à Mayenne sur le débit de pointe centennal (soit environ 190 cm, en utilisant la relation hauteur débit de la *figure C.2*).

Le gain en débit pourrait être 250 m³/s à Laval sur le débit de pointe centennal (soit environ 70 cm, en utilisant la relation hauteur débit de la *figure C.2*).

➤ L'Oudon

Pour le site de Chatelais sur l'Oudon, le volume de stockage est faible devant le volume de la crue centennale, et ne permet pas un écrêtement significatif des crues (elle conduirait seulement à retarder la pointe de crue de quelques heures). Augmenter la cote de la retenue pour obtenir un volume de stockage significatif conduirait à des submersions très importantes en crue. **Cette retenue ne présente aucun intérêt vis de l'écrêtement des crues.**

L'écrêtement produit par les retenues de Méral et Boissière pourrait être d'environ 15 m³/s pour la crue centennale à Segré (310 m³/s). Le gain en niveau à Segré pourra être estimé à partir de la courbe de tarage de Maingué. On peut l'estimer de 10 à 15 cm avec la formule de Strickler.

Sans modélisation, on peut difficilement estimer le délai de ralentissement sur l'ensemble de l'Oudon, conséquence de ces retenues. En première approximation et tenu compte du volume stocké, ce retardement ne serait pas significatif.

- Gestion régulée

La gestion régulée permet un meilleur écrêtement. Le gain en débit pourrait être 22 m³/s à Segré sur le débit de pointe centennal. Le gain en niveau à Segré pourra être estimé à partir de la courbe de tarage de Maingué. On peut l'estimer de 15 cm avec la formule de Strickler.

➤ L'Huisne

Les retenues ont un effet significatif à Nogent le Rotrou et La Ferté Bernard. Au Mans, les retenues de l'Huisne n'ont pas d'effet de retardement sur la pointe de crue, compte tenu de l'éloignement des retenues situées sur la partie supérieure du bassin.

➤ La Maine

Les crues de la Mayenne, de la Sarthe et du Loir ne sont pas concomitantes, les effets des retenues ne peuvent donc pas être ajoutés à Angers.

En assimilant l'effet des retenues à une réduction de bassin versant, Le gain sur le débit maximum centennal (1900 m³/s) à Angers serait de 110 m³/s (soit 5% d'écrêtement) avec une gestion passive et 162 m³/s (soit 8 % d'écrêtement) avec une gestion régulée, en reprenant les résultats des études précédentes pour le Loir et L'Huisne.

Etant donné l'absence de relation hauteur-débit pour Angers du fait de la très forte influence de la Loire, on peut difficilement estimer l'impact sur les niveaux.

Tenu compte de l'influence du niveau de la Loire, de la faible pente des lignes d'eau, du pourcentage d'écrêtement (de 5 à 8 %), on peut penser que l'effet des retenues sur les niveaux de la Maine ne sera pas très significatif.

Au niveau du synchronisme des crues, seule la Mayenne sera a priori retardée d'une journée environ. Il faut noter que ce retardement irait dans le sens d'une possible resynchronisation des crues de la Mayenne avec celles de la Sarthe et du Loir et donc d'une éventuelle aggravation des crues.

4.3.5 Sur-inondation dans le lit majeur par mise en place de levées transversales

4.3.5.1 Méthodologie

➤ La rivière est, en général, composée d'un lit mineur, d'un lit majeur :

Le lit mineur permet l'écoulement des débits courants avant débordement.

Le lit majeur participe à l'écoulement du débit total et représente en crue une zone de stockage généralement importante. Il se compose d'un lit majeur d'écoulement et d'un champ d'inondation ou zone d'expansion des crues dans lequel les vitesses d'écoulement sont négligeables.

Une levée transversale sur le lit majeur a les conséquences suivantes :

- sur l'écoulement, une perte de charge locale et des surélévations de niveaux à l'amont,
- sur le stockage, une augmentation des volumes stockés et donc un écrêtement des crues par diminution du débit envoyé à l'aval.
- sur les temps de propagation, un retard d'apparition du débit de pointe.

Le principe des levées transversales est de mettre en valeur le champ d'inondation en amplifiant sa capacité de stockage dans les zones les moins vulnérables.

➤ L'estimation du décalage dans le temps de la pointe de crue est difficilement estimable sans calculs précis, qui ne rentrent pas dans le cadre de cette étude. On peut toutefois en avoir une idée à partir des volumes de stockage supplémentaire.

➤ Calcul de la diminution de débit résultant de la mise en place des levées transversales :

- Calcul exact

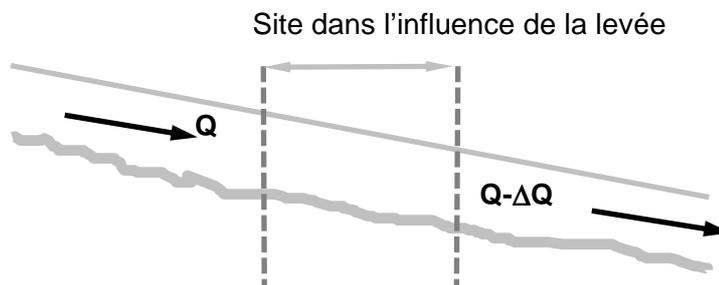
Pour évaluer de manière fine, l'effet d'une levée, il est nécessaire d'utiliser un modèle mathématique (prise en compte des équations de Barré de St Venant), où la levée doit être parfaitement modélisée par des profils en travers. La construction d'un modèle mathématique repose sur une bonne connaissance de la topographie de la vallée et de la bathymétrie du lit de la rivière.

La présente étude ne prévoit pas de modélisation mathématique, qui représente un travail très important. De plus, calculer l'effet des levées sur modèle mathématique impose la définition exacte de leur géométrie. D'où l'analyse ci-après qui découle d'un calcul approché.

- Calcul approché

La diminution de débit (ΔQ) produit par une levée est relativement faible (cf étude BRL - aménagement de l'Huisne - 1997). On peut se contenter d'une méthode simplifiée (prise en compte de l'équation de continuité seulement) qui permet d'obtenir un ordre de grandeur.

Considérons le site avec levée, le stockage supplémentaire a pour conséquence un écrêtement ΔQ :



En supposant une crue lente (on considère la crue comme une succession d'état permanent), on peut calculer l'écrêtement à partir du débit de début de débordement jusqu'au débit de pointe :

$$\Delta Q = \Delta V / \Delta T = \text{volume stocké} / \text{temps de stockage}$$

➤ Calcul des volumes de stockage induit par la mise en place des levées :

Etant donné que l'on ne dispose pas de modèle mathématique, les hypothèses suivantes ont été faites pour évaluer le volume de stockage supplémentaire induit par la mise en place de levées transversales :

$$\Delta V = (\text{Largeur du champ d'inondation} * \Delta h * \text{Longueur du remous}) / 2$$

Si i est la pente de la rivière, $L = (\Delta h / i)$; la pente du fond et de la ligne d'eau sont considérées en première approximation identiques.

Par exemple, pour une rivière de $i = 0,5 \text{ ‰}$, $\Delta h = 0.5 \text{ m}$, et largeur du champ d'inondation d'environ 1 000 m

$$\Delta V = 250\,000 \text{ m}^3$$

On se fixera Δh en fonction des possibilités du lit de la rivière et de l'occupation des sols. Les levées transversales seront dimensionnées de manière à permettre ce Δh , à l'aide d'un modèle mathématique détaillé.

4.3.5.2 Recherche de secteurs propices à une sur-inondation

Certains secteurs mis en évidence pour participer au ralentissement dynamique des crues comportent quelques bâtiments. Dans le but d'obtenir une valeur maximaliste de l'écrêtement, aucun secteur n'est écarté.

Recenser pour l'ensemble des rivières les secteurs l'ensemble des secteurs de manière individuelle est un travail énorme qu'il n'est pas prévu de mener au cours de cette phase 1.

La démarche suivante, plus rapide, sera retenue ; elle permettra de faire un premier calcul de l'écrêtement :

- définir des tronçons homogènes avec une même largeur de champ d'inondation (L) et une même pente.
- pour chacun de ces tronçons se fixer Δh en s'appuyant sur les atlas des zones inondables et les photos aériennes des crues.
- calculer le linéaire de rivière qui serait susceptible d'être sur-inondé avec Δh , en faisant en sorte que les surhauteurs n'aggravent pas la situation d'inondabilité des habitations situées en limite du champ d'inondation. Ce linéaire dépend essentiellement de l'occupation des sols. Des sites sans bâtiment ou très peu (1 ou 2) seront sélectionnés.
- il en découle un nombre de levées transversales et un ΔV
- calculer ΔT à partir des crues observées
- en déduire ΔQ avec ΔV et ΔT .

Les résultats de cette démarche sont les suivants :

➤ Le Loir

Le chargé d'étude a mis en évidence pour le Loir :

Loir dunois :	18 levées / Volume = 3.15 Mm ³
Loir vendômois :	25 levées / Volume = 5.50 Mm ³
Loir fléchois :	16 levées / Volume = 7.25 Mm ³
Loir angevin :	6 levées / Volume = 1.60 Mm ³

soit un total de 65 levées et un volume de 17.5 Mm³ de stockage supplémentaire pour une crue centennale.

➤ La Sarthe

Le chargé d'étude a mis en évidence pour la Sarthe :

Sarthe normande :	12 levées / Volume = 7.32 Mm ³
Sarthe mancelle :	6 levées / Volume = 2.70 Mm ³
Sarthe aval :	5 levées / Volume = 0.75 Mm ³
Sarthe angevine :	2 levées / Volume = 1.03 Mm ³

soit un total de 25 levées et un volume de 11.8 Mm³ supplémentaire pour une crue centennale.

➤ L'Huisne

L'étude a été réalisée par le BRL. Le volume mobilisé par les levées est du même ordre que le volume de stockage des retenues, soit 4.4 Mm³. Sur le tronçon Nogent le Rotrou - La Pécardière, 53 levées ont été projetées, en faisant en sorte que les surhauteurs n'aggravent pas la situation d'inondabilité des habitations situées en limite du champ d'inondation.

➤ La Mayenne

Le lit majeur de la Mayenne est très étroit depuis sa source jusqu'à Angers : la mise en œuvre du principe de ralentissement dynamique n'aurait pas d'effet significatif.

➤ L'Oudon

De la même manière que la Mayenne, le lit majeur de l'Oudon entre Craon et Angers est étroit. En amont de Craon, la pente de la rivière devient rapidement importante (de 1 % jusqu'à 4 %). la mise en place de levées transversales n'aurait pas d'effet significatif.

➤ La Maine

Elle ne présente pas de secteurs intéressants pour la réalisation de levées transversales.

L'annexe E10 détaille la recherche de secteurs propices à une sur-inondation.

4.3.5.3 Effet des levées transversales

◆ Effet sur les débits de pointe et sur les niveaux

Les effets hydrauliques sont estimés suivant la méthodologie expliquée dans le paragraphe 4.3.5.1. L'événement de référence considéré est une crue centennale. Les tableaux suivants résume l'ensemble des résultats :

Effet des levées

(crue centennale)

		Q 100	% d'écrêtement	ΔQ	ΔZ *
Loir	à la confluence Yerre - Loir	254	8	20	8
	à la confluence Braye - Loir	350	7	25	10
	à Durtal	590	5	30	15
	à la confluence avec la Sarthe	590	5	30-35	-

Retardement du Loir à Durtal : de l'ordre de la journée

(crue centennale)

		Q 100	% d'écrêtement	ΔQ	ΔZ *
Sarthe	Alençon	180	10	20	20
	Le Mans (Montreuil)	410	7	30	10-15
	Sablé/Sarthe (Beffes)	690	4	25	5-10
	à la confluence avec le Loir	690	4	25-30	-

Retardement de la Sarthe : de l'ordre de la journée au Mans et de la 1/2 journée à Beffes

(crue centennale)

résultat de l'étude BRL - 1997

		Q 100	% d'écrêtement	ΔQ	ΔZ
Huisne	La Ferté	195	3	5	-
	La Pécardière	211	11	23	10
	Le Mans (amont)	226	13	30	10

Retardement de l'Huisne au Mans : de l'ordre de la journée

* ΔZ estimé à partir des courbes de tarage des stations hydrométriques

➤ Le Loir

En première approximation, l'effet des levées transversales pour une crue centennale conduirait à l'écrêtement suivant de l'ordre de 20 à 35 m³/s :

Le gain en niveaux est de l'ordre de 5 à 15 cm, estimé à partir des courbes de tarage des stations hydrométriques.

Compte tenu du volume de stockage, le retardement de la pointe de crue à la confluence avec la Sarthe doit être de l'ordre d'une journée. Une modélisation mathématique permettra de préciser cette valeur.

Ce retardement va dans le sens d'une désynchronisation encore plus marquée des crues Sarthe - Loir.

➤ La Sarthe

En première approximation, l'effet des levées transversales pour une crue centennale est un écrêtement de 20 à 30 m³/s.

Le gain en niveaux est de l'ordre de 5 à 20 cm, estimé à partir des courbes de tarage des stations hydrométriques.

Compte tenu du volume de stockage, le retardement de la pointe de crue doit être de l'ordre d'une journée au Mans et ½ journée à la confluence avec le Loir. Une modélisation mathématique permettra de préciser cette valeur.

A noter que ce retardement irait dans le sens d'une possible resynchronisation des crues Sarthe - Loir et une désynchronisation des crues Sarthe-Huisne au Mans

➤ L'Huisne

L'effet des levées est d'écarter le débit de pointe d'une crue centennale de l'Huisne de l'ordre de 10 % et de décaler l'hydrogramme principal de 24 heures, ce qui va dans le sens d'une désynchronisation des crues Sarthe-Huisne au Mans.

➤ La Maine

Etant donné que les maximums des crues du Loir, de la Sarthe et de la Mayenne ne sont pas concomitants, l'effet des levées ne s'ajouteront pas à Angers.

En première approximation, tenu compte du faible % d'écarterement (entre 5% et 10%) sur le Loir, la Sarthe et l'Huisne, nous pouvons penser que les levées transversales n'auront pas d'effet significatif sur l'écarterement des crues à Angers.

Les levées ne modifieront pas le synchronisme des crues Sarthe-Huisne, mais elles auront pour effet de retarder l'apparition des crues du Loir et de la Sarthe d'une journée environ. Le retardement de la Sarthe et du Loir va dans le sens de la désynchronisation de ces deux rivières avec la Mayenne.

◆ Effet sur la fluviomorphologie

L'impact sur la fluviomorphologie méritera une attention particulière. Il conviendra d'apprécier les dépôts qui pourront apparaître derrière les levées transversales ainsi que les éventuelles érosions dans le lit mineur.

4.3.6 Synthèse des protections éloignées et estimations sommaires des ouvrages

Pour mémoire, l'étude des concomitances des crues Mayenne-Sarthe-Loir à Angers a montré :

Les crues de la Mayenne et de l'Oudon apparaissent en moyenne le même jour. La pointe de crue de la Sarthe apparaît entre 1.5 et 2.5 jours après celle de la Mayenne et la Sarthe est en avance de 1 à 2 jours par rapport au Loir. L'étude des concomitances de la Sarthe et l'Huisne au Mans ne conclut pas à une coïncidence systématique des crues, mais compte tenu de la configuration habituelle des hydrogrammes, ces décalages sont peu significatifs. L'évènement hydrologique considéré est une crue centennale.

Le coût des ouvrages est estimé par ratio sur la base des coûts établis sur des projets similaires.

Les résultats ci-après compte tenu de la complexité des phénomènes sont des premières estimations qu'il conviendra d'affiner par des investigations plus poussées dans les domaines suivants :

- hydrauliques (modélisation mathématique des phénomènes)
- fluviomorphologiques (transport solide de la rivière)
- géologiques
- environnementales (faune, flore ...)
- gestion des ouvrages (gestion automatisée, passive)
-

◆ Retenue de stockage

On se placera dans le cadre de la gestion la plus efficace pour les retenues.

➤ *Le Loir*

Hydratec propose dans l'étude du Loir de 1987, 4 retenues (14.6 Mm³) situées sur le bassin supérieur du Loir. L'effet des retenues a été calculé sur modèle mathématique pour la crue de 1983 : entre Bonneval à Durtal, le gain en niveau de 55 cm à Bonneval et 15 cm à Durtal.

Les retenues proposées ne conduisent pas à un retardement de la crue.

Le montant des investissements a été estimé à 95 MF par Hydratec.

➤ *La Sarthe et l'Huisne*

Pour la Sarthe, les deux retenues sont situées entre Alençon et le Mans (13.1 Mm³ de stockage). L'effet du Gué Ory est 2 fois plus important que le site sur le Merdereau. L'effet des retenues de la Sarthe associé aux retenues de l'Huisne est un abaissement de l'ordre de 20 à 25 cm au Mans et 10 cm en aval.

Les retenues ne modifient pas le synchronisme d'apparition des maximums des crues.

L'investissement qu'il y aurait lieu de réaliser serait de 70 MF pour les retenues de la Sarthe et 24 MF pour celles de l'Huisne.

➤ *La Mayenne et l'Oudon*

Les 5 retenues étudiées se situent sur le bassin supérieur de la Mayenne. Le volume de stockage est important : 76.8 Mm³, pour un investissement estimé à 530 MF.

Les sites les plus intéressants vis à de l'écrêtement sont dans l'ordre :

- 1 - Ambrières sur la Mayenne,
- 2 - Ambrières sur la Varenne,
- 3 - Oisseau et Andouillé,
- 4 - St Calais.

L'effet des retenues est important sur l'amont : jusqu'à 190 cm à Mayenne. Il est moindre à Laval (70 cm) et Château-Gontier (80 cm).

- Pour L'Oudon, 3 sites ont été testés : La retenue de Chatelais n'a pas d'effet significatif vis à vis de l'écrêtement des crues : nous ne la proposerons pas.
Le stockage de 9 Mm³ avec les sites de la Boissière et Méral abaisse les niveaux de 15 cm à Segré.
L'investissement à prévoir est de l'ordre de 80 MF.
- Les importantes retenues sur la Mayenne auront probablement pour conséquence de retarder la Mayenne d'un jour, ce qui va dans le sens d'une possible resynchronisation avec les crues de la Sarthe et du Loir, ce qui signifie un risque d'aggravation des crues de la Maine.

➤ *La Maine*

L'effet des retenues sur les niveaux de la Maine ne sera pas très significatif.

Au niveau du synchronisme des crues, seule la Mayenne sera a priori retardée d'une journée environ. Ce retardement irait dans le sens d'une possible resynchronisation des crues de la Mayenne avec celles de la Sarthe et du Loir, et risque donc d'aggraver les crues de la Maine.

◆ **Levées transversales dans le lit majeur**

Seule la Sarthe, l'Huisne et le Loir sont propices à la réalisation de ce type d'aménagement.

➤ *Le Loir*

Pour le Loir, le résultat des recherches de sites conduit à un total de 65 levées pour un volume de stockage supplémentaire de 17.5 Mm³ pour une crue centennale.

En première approximation, l'effet des levées transversales pour une crue centennale conduirait à l'écrêtement compris entre 20 et 35 m³/s. Le gain en niveaux à attendre est de l'ordre de 5 à 15 cm.

Le retardement de la pointe de crue du Loir à la confluence avec la Sarthe doit être de l'ordre d'une journée. Ce retardement va dans le sens d'une désynchronisation encore plus marquée des crues Sarthe - Loir, ce qui signifie une éventuelle amélioration pour Angers. Le montant des investissements est estimé à 24 MF.

➤ *La Sarthe et l'Huisne*

Pour la Sarthe, le résultat des recherches de sites conduit à un total de 25 levées pour un volume de stockage supplémentaire de 11.8 Mm³ pour une crue centennale.

En première approximation, l'effet des levées transversales pour une crue centennale conduirait à l'écrêtement compris entre 20 et 25 m³/s. Le gain en niveaux à attendre est de l'ordre de 5 à 20 cm.

Le retardement de la pointe de crue doit être de l'ordre d'une journée au Mans et une ½ journée à la confluence avec le Loir.

Ce retardement irait dans le sens d'une possible resynchronisation des crues Sarthe - Loir, et une désynchronisation des crues Sarthe-Huisne. Pour la Sarthe, le montant des investissements est estimé à 7 MF.

- Pour l'Huisne, les résultats des recherches de sites conduit à un total de 53 levées pour un volume de stockage de 4.4 Mm³.

L'effet des levées est d'écrêter le débit de pointe d'une crue centennale de l'Huisne de l'ordre de 10% et de décaler l'hydrogramme principal de 24 heures, ce qui va dans le sens d'une désynchronisation des crues Sarthe-Huisne au Mans, et donc d'une éventuelle amélioration pour le Mans.

Le montant des investissements est estimé à 20 MF par BRL.

- La réalisation des levées sur la Sarthe et l'Huisne conduirait à ne pas modifier le synchronisme d'apparition des crues de ces deux rivières. Elle conduirait à retarder la Sarthe aval d'une journée, ce qui irait dans le sens d'une possible resynchronisation des crues Sarthe-Loir (dans le cas, où on ne fait rien sur le Loir), un risque d'aggravation des crues pour Angers.

Cette resynchronisation des crues Sarthe-Loir serait certainement moins grave qu'une resynchronisation des crues de la Mayenne avec celles de la Sarthe et du Loir.

En effet, les crues de la Sarthe et du Loir s'étalent sur plusieurs jours alors que les crues de la Mayenne sont plus rapides.

➤ *La Maine*

Etant donné que les maximums des crues du Loir, de la Sarthe et de la Mayenne ne sont pas concomitants, l'effet des levées du Loir, de la Sarthe et l'Huisne ne s'ajouteront pas à Angers.

En première approximation, tenu compte du faible % d'écrêtement (entre 5% et 10%) sur le Loir, la Sarthe et l'Huisne, nous pouvons penser que les levées transversales n'auront pas d'effet significatif sur l'écrêtement des crues à Angers.

Les levées ne modifieront pas le synchronisme des crues Sarthe-Huisne, mais elles auront pour effet de retarder l'apparition des crues du Loir et de la Sarthe d'une journée environ. Le retardement de la Sarthe et du Loir va dans le sens de la désynchronisation de ces deux rivières avec la Mayenne, et donc d'une éventuelle amélioration pour Angers.

◆ Retenues + levées

En première approximation, on peut ajouter les abaissements produits par les levées et les retenues, en notant, toutefois, que les retenues, en écrétant les débits de pointe, vont entraîner une diminution des volumes stockés dans le lit majeur. Une modélisation permettra d'affiner les résultats.

On peut donc s'attendre aux abaissements suivants pour une crue centennale :

- sur le Loir :

- 45 cm à Cloyes/Loir
- 30 cm à Montoire/Loir
- 20 cm à la Flèche
- 30 cm à Durtal

- sur la Sarthe :

- 20 cm à Alençon
- entre 35 et 40 cm à l'amont du Mans
- entre 40 et 45 cm à l'aval de la confluence Sarthe Huisne
- entre 15 et 20 cm à Sablé/Sarthe

Les résultats restant inchangés sur La Mayenne et l'Oudon.

Concernant la Maine, il est difficile de se prononcer, compte tenu de l'influence de la Loire, et du synchronisme des crues Sarthe-Loir-Mayenne. Il est probable que l'effet cumulé des retenues et des levées ne soit pas significatif.

Au niveau du synchronisme des crues :

- les retenues auraient pour effet de retarder la Mayenne d'une journée,
- les levées retarderaient la Sarthe, l'Huisne et le Loir d'environ une journée également.

La réalisation de l'ensemble des protections éloignées resterait globalement neutre vis à vis du synchronisme d'apparition des pointes de crue des rivières du Bassin.

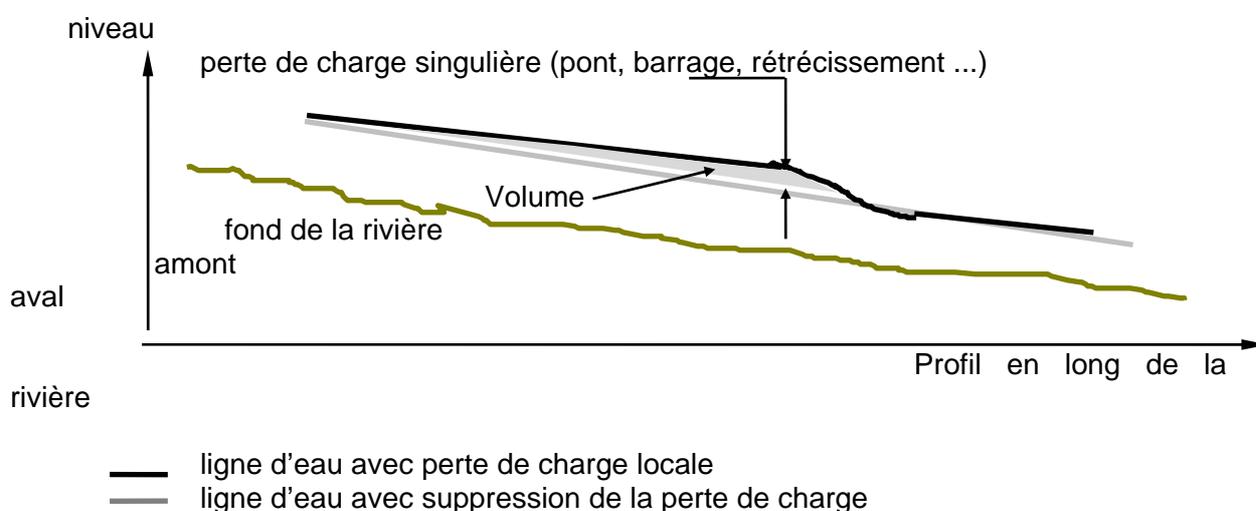
4.4 Protections localisées

Elles concernent :

- soit un abaissement local des lignes d'eau par amélioration locale de l'écoulement,
- soit une protection locale de certains secteurs par endiguement.

Augmenter localement la capacité de transit du lit de la rivière de manière à abaisser le niveau de la ligne d'eau retarde le début du débordement et diminue ainsi la fréquence des inondations. Cela consiste en général à augmenter la section d'écoulement, diminuer la rugosité ou diminuer des pertes de charges locales.

exemple :



On remarquera que la perte de charge induit un stockage et ainsi participe à l'écrêtement des crues. Il convient donc de ne pas multiplier ces actions visant à supprimer ces pertes de charge et de les envisager uniquement pour les secteurs à forte vulnérabilité, c'est à dire en général les zones actuellement urbanisées.

La protection locale de certains secteurs par endiguement diminue la fréquence des inondations mais supprime une partie du champ d'inondation, qui contribuait à écrêter les crues.

L'impact d'un aménagement local sur l'écrêtement pris de manière isolé (endiguement ou abaissement de la ligne d'eau) est en général sans effet significatif pour l'aval, mais mérite chaque fois une vérification. Cependant, l'incidence de la réduction du champ d'inondation devient sensible si l'on multiplie ce type d'aménagement. Il est donc nécessaire d'étudier leur impact de manière globale sur la rivière.

4.4.1 Diagnostic des risques

L'objet de l'analyse des dommages et de l'établissement d'un diagnostic des risques pour chaque agglomération listée au cahier des charges est de mettre en évidence sur le bassin versant de la Maine les secteurs les plus vulnérables vis à vis des inondations.

Des dossiers ont été établis pour chaque agglomération listée au cahier des charges sous forme de fiche, accompagnés de schémas hydrauliques et de plans à l'échelle 1/25 000 indiquant notamment :

- les secteurs inondables
- les zones les plus sensibles
- les différents ouvrages ou singularités hydrauliques
- les circuits préférentiels empruntés par les flots d'inondation
- le lieu des premiers débordements
- les actions et propositions de protections antérieures
- les actions de protections contre les crues envisagées par l'agglomération
- les actions de protections envisageables.

4.4.2 Les types de travaux de protection localisés

Le principe des actions locales de protections est de diminuer les niveaux dans les zones inondées pour un même débit, traversant celles-ci ; contrairement aux protections éloignées qui se traduisent par une diminution de débit.

Les principales actions de lutte contre les inondations en terme d'actions locales pour soulager des secteurs particulièrement vulnérables sont les suivantes :

Dans le lit mineur :

- amélioration d'ouvrages hydrauliques
- rescindement de tracé
- calibrage-recalibrage reprofilage-déblais
- faucardage-curage

Dans le lit majeur :

- Enlèvement d'obstacles et élargissement du lit majeur
- Chenal de décharge dans le lit majeur
- endiguements longitudinaux (digues et digues submersibles) et leurs ouvrages
- vidange de zones inondées

Ces actions, lorsqu'elles sont envisageables, sont proposées pour chacune des agglomérations.

4.4.3 Propositions pour les agglomérations

Le but de cette partie est d'établir pour chaque agglomération, une liste des actions de protections envisageables assortie d'une analyse sommaire des effets à en attendre et des coûts.

Nous nous attacherons à identifier les possibilités de modification des conditions d'écoulement permettant d'améliorer la situation des secteurs urbanisés.

Compte tenu des données topographiques disponibles, l'évaluation des coûts est approximative et devra être affinée par une étude de terrain détaillée. Le coût des aménagements est estimé par ratio sur la base de coûts établis sur des projets similaires.

4.4.3.1 Bonneval

➤ Une étude précise a été réalisée par le bureau d'étude Hydratec à partir d'une modélisation hydraulique. Hydratec a proposé le remplacement des vannages de l'Hôpital par un clapet automatique et ses aménagements connexes. La possibilité d'amélioration est importante : gain de 20 cm pour une crue moyenne dans la traversée de Bonneval. Compte tenu du faible volume stocké (60 000 m³), cet aménagement n'aurait pas d'influence significative sur l'aval (inférieur à 1 m³/s).

Cet aménagement n'a pas été réalisé, le chargé d'étude le préconise.
Le coût est estimé à 2 700 000 F HT.

➤ En s'appuyant sur les lignes d'eau calculées par Hydratec, d'autres actions sont envisageables :

- La réfection de la digue et du barrage situés à l'amont du moulin de Couture permettrait d'abaisser les niveaux de crue et ainsi réduire les inconvénients des inondations pour les habitations de la rue de Couture situées en amont. Le barrage est en mauvais état et encombré par la végétation. La cote du barrage pourrait être abaissée pour favoriser l'écoulement. Le vannage associé en mauvais état et inaccessible en crue, est à remplacer par un seuil à la cote du barrage.

Le gain attendu pourrait être de l'ordre de 20 à 30 cm pour les crues moyennes. Pour les crues exceptionnelles, l'ouvrage étant noyé (au sens hydraulique du terme), l'impact à en attendre ne serait pas significatif.

Pour l'aval, le volume supprimé pour l'écrêtement (20 000 m³) est négligeable devant le volume de la crue et ne conduira pas à une aggravation.

Le coût des travaux sur la digue et le barrage est estimé à 100 000 F HT.

- Le recalibrage et curage du bras principal du Loir entre le moulin du pont et l'Hôpital psychiatrique pourrait abaisser les niveaux d'inondation dans la traversée de Bonneval (de l'ordre de 20 cm pour une crue moyenne).
Pris individuellement, cet aménagement n'aura pas d'effet significatif sur l'aval :

$\Delta V = 90\ 000\ \text{m}^3$ et $\Delta Q < 1\ \text{m}^3/\text{s}$.

Le coût des travaux est estimé à 400 000 F HT. C'est un premier ordre de grandeur à préciser avec des levés topographiques complémentaires.

➤ L'amélioration du débouché du pont SNCF sur le bras principal du Loir, par agrandissement de la section sous le pont arche rive droite, a été évoqué par la ville de Bonneval. Les lignes d'eau calculées par Hydratec et les observations de la crue de 1983, ne mettent pas en évidence de perte de charge particulière au droit de cet ouvrage. Aucun aménagement n'est donc proposé.

➤ En conclusion, Le remplacement des vannages de l'Hôpital est à réaliser en priorité, puis la réfection du barrage en amont du moulin de Couture peut se faire dans un deuxième temps. Le recalibrage sera à réaliser ultérieurement en fonction de l'acuité des problèmes. La réalisation de l'ensemble des aménagements conduirait à la suppression d'un volume de stockage pour l'écrêtement des crues que des levées transversales à l'aval pourraient compenser.

4.4.3.2 Chateaudun

➤ L'étude Hydratec à partir d'une modélisation hydraulique conclut que les différents aménagements envisageables seraient sans effet sensible sur les crues. Tous travaux sur les ponts "anciens" de St Médard et St Jean (en charge rapidement) seraient sans effet significatif, en effet ils n'ont qu'une faible influence sur les crues ; la perte de charge en crue est engendrée par les conditions d'écoulement sur l'ensemble du quartier St Jean, inondé.

➤ Une solution extrême serait l'endiguement du quartier St Jean : compte tenu de la configuration des lieux (quartier traversé par la D 955, présence d'habitations en bordure de rivière), cette solution apparaît difficilement réalisable et aurait en outre sur l'écrêtement des crues des conséquences sur l'aval ($\Delta Q \# 2\ \text{m}^3/\text{s}$ pour une crue centennale).

➤ Pour ce quartier, une solution pourrait être de déplacer les installations les plus vulnérables en dehors des zones inondables.

4.4.3.3 Cloyes/Loir

➤ Cloyes/Loir a fait l'objet d'une étude approfondie par Hydratec en 1987. Les propositions sont rappelées en annexe E.8. Seul le remplacement d'un déversoir de la rivière des graviers par un clapet automatique, n'a pas été réalisé pour des raisons d'environnement. L'abaissement à attendre est de l'ordre de 15 cm pour une crue moyenne en amont du moulin de Cloyes/Loir.

Le défaut de stockage, généré par la mise en place du clapet, serait de l'ordre de 80 000 m³ ; il aurait peu d'influence à l'aval ($\Delta Q < 1\ \text{m}^3/\text{s}$).

On peut donc préconiser cet aménagement sans contrainte particulière.

Le coût est estimé à 650 000 F HT.

➤ En s'appuyant sur les lignes d'eau calculées par Hydratec, d'autres actions sont envisageables :

- réalisation d'un chenal en lit majeur pour améliorer l'alimentation de l'ouvrage de décharge rive droite de la déviation de la N10 et décharger les ouvrages de la Galloire. Un abaissement de l'ordre de 20 cm pour une crue moyenne peut être obtenu dans la rue de Chauveau.

Le défaut de stockage, de l'ordre de 100 000 m³, aurait peu d'influence à l'aval : $\Delta Q < 1 \text{ m}^3/\text{s}$.

On peut donc proposer cet aménagement.

Le coût est estimé à 500 000 F HT. C'est un premier ordre de grandeur à préciser avec des levés topographiques complémentaires.

- enlèvement de la végétation (arbres) à l'amont et sous le pont de la déviation de la N10 en rive droite et à l'amont du pont de la N10 (notamment sur l'île) pour favoriser l'alimentation des ouvrages et limiter le risque d'embâcle.

Ces aménagements ne modifieront pas le stockage des crues de manière sensible. On le propose donc sans contrainte particulière.

Le coût est estimé à 50 000 F HT.

- assurer le bon débouché des affluents Torrent et Eggonne : enlèvement des atterrissements aux confluent avec le Loir. Une amélioration est à attendre pour les riverains de ces 2 rivières. L'effet sur l'aval sera négligeable.

Le coût est estimé à 200 000 F HT.

➤ D'autre part, la reconnaissance de terrain et l'examen des études antérieures amènent les remarques suivantes :

- enlèvement des atterrissements à l'aval du pont de la déviation de la N10 : ils sont prévus pour l'automne 1998.

- l'utilisation des ballastières en amont de Cloyes/Loir pour écrêter les crues est prise en compte dans le cadre du ralentissement dynamique. L'utilisation des ballastières comme retenue d'écrêtement a été écartée (paragraphe 4.3.3), à cause des problèmes liés aux acquisitions foncières et de la gestion hydraulique délicate.

- rectifier la berge rive droite à l'aval du Pont de la N10 pour améliorer son débouché aurait peu d'influence, ce secteur se trouve dans le remous des ouvrages du moulin de la Galloire.

- concernant la section de passage au droit du pont SNCF à l'aval (encombrement de la section par d'éventuels débris non évacués, vestige de la destruction du pont au cours de la dernière guerre mondiale), l'étude Hydratec a montré avec un modèle mathématique que l'influence des ouvrages SNCF, à 2 km en aval du moulin de la Galloire, est négligeable à Cloyes/Loir. Toute action au niveau de ces ouvrages serait donc sans effet significatif à Cloyes.

- l'examen de l'étude hydraulique du franchissement du Loir par la déviation de la RN10, montre que cet ouvrage est transparent vis à vis de la crue de 1983 et n'a pas d'influence sur les cotes d'inondation à Cloyes/Loir.

➤ En résumé pour Cloyes/Loir, Les priorités de réalisation sont les suivantes :

- Les travaux d'entretien courant sont à réaliser en priorité (enlèvement de la végétation, des atterrissements aux confluent des deux affluents).
- remplacement du déversoir sur la rivière des graviers et mise en place d'un chenal dans le lit majeur.

La réalisation de levées transversales à l'aval immédiat de Cloyes/Loir permettra de rendre transparent ces deux derniers aménagements vis à vis de l'écrêtement des crues.

4.4.3.4 Vendôme

◆ Hydratec a étudié en 1987 un certain nombre d'actions qui n'ont pas été réalisées et qui permettraient pourtant un abaissement de la ligne d'eau entre 20 et 40 cm dans la traversée de Vendôme :

Les aménagements proposés par Hydratec sont :

➤ recalibrage du bras St Denis en amont du pont de l'Ilette par élargissement et approfondissement, avec amélioration de l'écoulement au pont de l'Ilette et création d'un déversoir en parallèle du clapet des Grands Prés. Les abaissements attendus pour une crue moyenne sont de 10 à 30 cm pour la rue du Docteur Faton.

Le défaut de stockage, de l'ordre de 450 000 m³, aurait une influence sensible à l'aval :

$1.5 < \Delta Q < 2.5$ m³/s.

Le coût est estimé à 4 000 000 F HT.

➤ recalibrage du Loir en aval du pont des Etats-Unis jusqu'à la papeterie de Naveil, par élargissement et approfondissement.

Il permettrait de réduire les inondations de 30 cm en amont du pont SNCF (pont aval Vendôme) pour la rue des quatres Huyes et de 10 à 20 cm pour la rue du Docteur Faton, pour une crue moyenne.

Le défaut de stockage, de l'ordre de 320 000 m³, aurait une influence peu sensible à l'aval :

$1 < \Delta Q < 2$ m³/s.

Le coût est estimé à 4 000 000 F HT.

➤ aménagements des bras

Cela comportait les travaux suivants :

- libérer la section à l'aval des ouvrages de l'Hôpital
- supprimer les ouvrages de Norfurs et remplacer le seuil situé à l'aval du pont des Etats-Unis par un clapet automatique.

Les ouvrages Norfurs ayant été rénovés (étudié par Hydratec en 1993), l'aménagement des bras se limite donc aux travaux de l'Hôpital.

Il serait sans effet significatif sur l'aval.

Le coût est estimé à 400 000 F HT.

➤ La modification du pont St Michel (remplacement du pont) en complément des autres aménagements n'entraînerait pas d'abaissement significatif. Pour cette raison et à cause de son coût élevé, Il n'a pas été proposé par Hydratec.

Cependant, pris individuellement, ce pont pourrait-être remplacé par un ouvrage béton avec tablier horizontal et une seule pile. L'effet à attendre pour une crue moyenne serait de 15 à 20 cm à l'amont immédiat du pont et de 15 cm pour la rue du Docteur Faton.

Le défaut de stockage, de l'ordre de 220 000 m³, aurait peu d'influence à l'aval :

$0.5 < \Delta Q < 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le coût est estimé à 6 500 000 F HT.

◆ La reconnaissance de terrain, effectuée par le chargé d'étude a mis en évidence les travaux d'entretien suivants :

➤ curage au droit du pont St Michel (arche rive gauche) et du pont Chartrain (arche rive gauche),

➤ suppression des aires d'atterrissements à l'aval du pont St Michel et au confluent des deux bras.

Ces travaux peuvent être réalisés sans contrainte particulière vis à vis de l'écrêtement des crues.

Quant aux actions préconisées par Hydratec, le chargé d'étude confirme leur intérêt. On peut noter cependant que leur impact sur l'aval est une réduction de l'ordre de 1 million de m³ du volume de stockage pour une crue moyenne, soit un ΔQ de l'ordre de 4 m³/s. Ces aménagement ne peuvent donc pas s'envisager sans mesure corrective, qui pourrait être la réalisation de levées transversales dans le lit majeur de la rivière.

En outre, on peut remarquer la modification seule du pont St Michel peut-être intéressante et peut être compenser pour l'aval par la réalisation d'une levée.

4.4.3.5 Montoire/Loir

➤ Cette agglomération a fait l'objet de propositions antérieures (Hydratec 1987) :

- aménager un chenal de crue dans le lit majeur entre La Folie et St Laurent pour augmenter la débitance du lit majeur. L'abaissement pourrait être de l'ordre de 30 cm à la Folie et 5 cm à St Laurent pour une moyenne et pour un chenal de section 30 m². Une section de 60 m² permettrait respectivement un abaissement de 50 cm et 30 cm.

Le défaut de stockage, de l'ordre de 180 000 m³ pour une section de chenal de 30 m², n'aurait pas d'influence significative à l'aval : $\Delta Q < 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le coût est estimé à 1 300 000 F HT.

- digue de protection du Quartier St Laurent - non réalisée (trop de contraintes : av. De Gaulle et eaux pluviales)

Compte tenu du nombre de contraintes importantes de cet aménagement, cet endiguement ne paraît pas envisageable. De plus, sans mesure corrective, il contribuerait à aggraver les crues à l'aval.

➤ En s'appuyant sur les lignes d'eau calculées par Hydratec, la suppression du clapet automatique du moulin de Prazay pourrait être une possibilité d'amélioration : le clapet semble court-circuité, il ne maintient pas de niveau - aucun déversoir lié au clapet n'a pu être observé lors de la visite de terrain.

L'enlèvement du clapet, associé à un curage sous le pont de Montoire permettrait un abaissement des niveaux de crue de l'ordre de 10 cm à 15 cm au pont de Montoire. Compte tenu du faible abaissement, il n'aurait pas d'effet sensible pour l'aval.

Le coût est estimé à 100 000 F HT.

La suppression de cet ouvrage pourrait s'accompagner d'une action sur le mineur (agrandissement de la section d'écoulement) sur 2 km en aval du Pont de Montoire, pour diminuer davantage l'inondation à l'amont du pont.

Le chargé d'étude confirme l'intérêt du chenal préconisé par Hydratec et des actions en aval du pont de Montoire visant à abaisser les niveaux à la Folie et St Laurent.

La réalisation de l'ensemble de ces aménagements (chenal, suppression du clapet et action dans le lit mineur en aval du pont de Montoire) pourrait conduire à accélération des crues. Cependant l'ancien remblai SNCF à l'amont de Montoire pourrait être utilisé pour créer un stockage supplémentaire en crue dans le secteur de la grande Métairie, de manière à compenser l'effet de ces aménagements sur l'aval.

On peut citer les actions suivantes situées à proximité de Montoire :

- Couture : ouvrage de décharge supplémentaire sous la D57 à étudier, ouvrage de décharge encombré par la végétation (à enlever)
- cote de la digue de protection de Couture rehaussée de 30 cm en 1996 - protection définitive de Couture à étudier
- Couture : réparation du barrage à l'aval de Couture (forte érosion, seuil et ouvrage en mauvais état)
- St Jacques des Guérets : ouvrage de décharge supplémentaire à étudier sous la D8.

4.4.3.6 Le Lude

Seules quelques fermes ont été concernées par l'inondation en 1995 (crue de période de retour 55 ans) à l'amont de la commune.

Les possibilités d'amélioration des conditions d'écoulements sont faibles et concernent l'amélioration des niveaux de crue pour très peu d'habitations (fermes isolées).

➤ Hydratec en 1987 a proposé l'endiguement du quartier des Malfrairies. Cet endiguement n'a pas été réalisé par crainte d'aggraver les conditions d'écoulement (rétrécissement de la section d'écoulement). À défaut de protéger le quartier par endiguement, l'augmentation des sections des ouvrages de décharge sous la D 305 face aux Malfrairies permettrait d'améliorer la situation en montée de crue avant submersion de la route (40 cm de perte de charge en montée de crue cependant, après submersion de la route, l'aménagement n'aura plus d'effet sur les niveaux).

Cet aménagement peut s'envisager assez librement, il n'aura pas effet sur l'aval.

Le coût est estimé à 100 000 F HT.

➤ En s'appuyant sur les lignes d'eau calculées par Hydratec, d'autres actions sont possibles pour améliorer les conditions d'inondation :

- enlèvement d'une partie de la végétation des berges à réaliser pour améliorer la débitance générale du lit mineur,
- enlèvement des arbres et de la clôture à l'entrée de l'ouvrage de décharge de la D 305 (proximité rive droite du pont) de manière à favoriser son alimentation et éviter les embâcles

L'effet à l'aval ne serait pas significatif.
Le coût est estimé à 100 000 F HT.

- enlèvement des arbres sur le seuil rive gauche du barrage de Thierval et réfection du parement du seuil à une cote plus basse.
L'abaissement à attendre serait de l'ordre de 10 cm pour une crue moyenne pour Le Lude.
Le défaut de stockage, pour une crue moyenne, n'aurait pas d'influence significative à l'aval.
Le coût est estimé à 80 000 F HT.
- La mise en place d'un chenal de crue (avec précautions d'usage, notamment seuil en aval pour éviter l'érosion régressive) dans le lit majeur par élargissement du fossé actuel (utilisation du fossé actuel qui alimente l'ouvrage de décharge principal sous la D 305 entre l'amont du barrage de Malidor et l'aval de la piscine) permettrait d'augmenter la débitance du lit majeur et ainsi abaisser les niveaux pour les fermes situées en amont (de 10 à 15 cm pour une crue moyenne).
Le défaut de stockage, de l'ordre 300 000 m³ pour une crue moyenne, aurait certainement une influence peu sensible à l'aval : $\Delta Q < 1 \text{ m}^3/\text{s}$. Cependant nous proposons de compenser cet aménagement par des levées transversales à l'aval dans le lit majeur.
Le coût est estimé à 800 000 F HT (sans les levées).
- La suppression du barrage de Thierval aurait certainement peu d'influence sur le Lude, étant situé 2.5 km en aval du pont du Lude. De plus, la perte de charge diminue rapidement avec l'augmentation du débit. La suppression du barrage n'est pas proposée.

➤ Les travaux d'entretien courant sont à réaliser en priorité.

4.4.3.7 La Flèche

➤ Hydratec a proposé des aménagements qui ont été tous réalisés, à savoir :

- diminution de la perte de charge du pont de la République par élargissement de la section,
- aménagement d'un ouvrage de décharge supplémentaire dans le remblai SNCF.

Un canal de dérivation des crues par la vallée du Guéroncin a été évoqué par Hydratec, il n'a pas été réalisé ; le coût élevé (entre 30 et 50 millions de francs) par rapport au montant des dommages moyens annuels nous conduit à ne pas proposer cet aménagement.

Suite aux aménagements réalisés (proposés par Hydratec en 1987), on constate une amélioration des conditions d'inondation pour le quartier St Colombe. Ce quartier était le premier touché par les inondations avant aménagement (cas de la crue de 1983 de période de retour 20 ans) ; pour la crue de janvier 1995 (de période de retour 55 ans), l'inondation a débuté au niveau du quartier Bourdigal et de la promenade Foch.

On peut noter que le nouvel ouvrage de décharge sous la voie SNCF a bien joué son rôle lors de la crue de 1995.

En effet si on compare, les crues de 1983 et 1995 de périodes de retour respectivement de 20 et 55 ans, les niveaux atteints sont équivalents à l'échelle de crue du pont des Carmes, respectivement 29.21 et 29.15 m IGN69.

➤ L'examen des lignes d'eau calculées par Hydratec amène les remarques suivantes :

- L'amélioration de l'alimentation des ouvrages de décharge par la mise en place de fossé/chenal de crue dans le lit majeur (amélioration des niveaux et des temps de ressuyage des crues) a été évoquée par les Services Techniques de la ville. Compte tenu de la faible pente des lignes d'eau, aucun effet significatif est à attendre d'un tel aménagement, hormis une possible réduction des durées de submersions. Il n'est donc pas proposé.
- L'enlèvement/remplacement d'obstacles à l'écoulement dans le lit majeur de la rivière (clôture, mur), notamment à l'entrée et au débouché des ponts, permettrait de limiter les risques d'emblâcles. L'abaissement à en attendre ne serait pas significatif et serait donc sans conséquence sur l'aval. Le coût est estimé à 100 000 F HT.
- Pour supprimer le débordement d'une crue centennale à la Flèche, il faudrait pouvoir multiplier la section du lit mineur par 2.5 environ, ce qui est impossible, compte tenu que la rivière est canalisée dans la traversée de la ville. De plus, cela poserait des problèmes importants d'accélération et d'aggravation des crues à l'aval.

➤ En conclusion, les différentes possibilités d'amélioration des conditions d'écoulement ont été mise en œuvre. On peut signaler qu'elles ont contribué à augmenter le débit transmis à l'aval de l'agglomération de 6 m³/s ce qui correspond à un exhaussement de niveaux de l'ordre de 3 à 4 cm. Des levées transversales sur le lit majeur pourraient être envisagées pour corriger cet effet négatif.

4.4.3.8 Durtal

➤ Globalement, l'étude Hydratec de 1987 a montré que la perte de charge engendrée par les ouvrages dans la traversée de Durtal est faible. La pente des lignes d'eau est très faible. Toute actions locales serait donc sans effet significatif sur les niveaux.

Les solutions envisagées par Hydratec, sans effet sensible et jugées assez peu rentables, n'ont pas été proposées.

A savoir :

- curage des 2 arches en rive gauche du pont de Durtal
- installation de vannes automatiques sur certaines passes du barrage du Moulin
- recalibrage à l'aval du pont de Durtal.

➤ Cependant, suite à la reconnaissance du terrain, des possibilités d'amélioration pourraient être :

- curage des fossés du quartier St Léonard. L'effet à attendre est une réduction des temps de submersion. Le coût est estimé à 50 000 F HT.
- réduction de la perte de charge au pont de Durtal : suppression de l'île en amont du pont pour améliorer l'alimentation des arches rive gauche, et curage des arches rive gauche. Compte tenu que la perte de charge engendrée par le pont est faible, le gain à attendre d'un tel aménagement serait très faible (moins de 10 cm). Le coût est estimé à 100 000 F HT.

Ces deux dernières actions peuvent être envisagées sans contrainte vis à vis de l'aval.

- à l'occasion de la rénovation du quartier St Léonard, une protection contre les petites crues pourrait être envisagée (endiguement de faible hauteur). Etant donné que les habitations sont très proches, ou en bordure du Loir, et que le lit majeur contribue de manière non négligeable à l'écoulement et à l'écrêtement des crues, la réalisation de cet aménagement n'est pas raisonnable. Il n'est donc pas proposé.
- Pour supprimer le débordement d'une crue centennale, il faudrait pouvoir multiplier la section du lit mineur par 2 environ, ce qui est impossible à cause du pont de Durtal. De plus, cela contribuerait à aggraver les crues à l'aval.

4.4.3.9 Alençon

➤ De nombreux travaux contribuant à l'amélioration de l'écoulement ont été réalisés depuis les années 1970 :

- coupure du méandre face la Diguetterie
- destruction du seuil de Guéramé
 - barrage de Sarthe : mise en place d'un clapet automatique, abaissement du seuil et réfection des vannages en 1983
- curage de la Sarthe entre le Chevain et Ozé en 1994
- recalibrage dans la traversée d'Alençon en 1977 et 1983.

Les gains en niveaux calculés par SOGREAH en 1987, pour une crue centennale sont appréciables :

- 30 cm au barrage de St Germain,
- 34 cm au barrage de Sarthe,
- de 25 cm à 35 cm entre le pont de Sarthe et le pont de la République,
- 12 cm pour le quartier de Courteille

➤ Les actions possibles d'amélioration des conditions d'inondabilité sont :

- entretien du lit mineur de la rivière : enlèvement des atterrissements au droit du pont de la République (arche rive gauche), curage et enlèvement de la végétation entre le pont de Sarthe et le pont de Fresnay.

Ces travaux d'entretien peuvent être envisagés sans contrainte particulière vis à vis de l'aval.

Le coût est estimé à 50 000 F HT.

- La possibilité d'un stockage entre le Mêle et Alençon (zone assez plate, volume 7,5 millions de m³) a été prise en compte dans l'étude des levées transversales. Ce stockage conduit à un abaissement de l'ordre de 20 cm à Alençon pour une crue centennale.

- le barrage de l'usine Moulinex semble sous-dimensionné, le seuil est encombré d'une passerelle et est orienté perpendiculairement à la rivière ; la mise en place d'un chenal de crue dans le lit majeur pour court-circuiter le barrage, et/ou l'agrandissement du seuil, pourrai(en)t améliorer la situation pour le quartier de Courteille. La mise en place d'un chenal dans le lit majeur serait certainement la solution la plus efficace (avec seuil aval pour éviter l'érosion régressive). Il serait à mettre en place entre le pont de la République et le pont SNCF.

L'abaissement à attendre pourrait être de l'ordre de 20 cm à l'aval du pont SNCF et 10 cm pour le quartier de Courteille.

Le défaut de stockage, de l'ordre 120 000 m³ pour une crue centennale, aurait certainement une influence peu sensible à l'aval : $\Delta Q \approx 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Cependant nous proposons de compenser cet aménagement par une levée transversale dans le lit majeur en amont de Courteille.

Le coût est estimé à 800 000 F HT. C'est un premier ordre de grandeur à préciser avec des levés topographiques complémentaires.

- Le barrage de St Germain a été détruit lors de la crue de janvier 1995. Il est proposé de ne pas le reconstruire et d'arasé les superstructures de l'ouvrage jusqu'au seuil déversant libre.

Le coût est estimé à 100 000 F HT.

Pour des raisons de salubrité, il a été décidé de reconstruire ce barrage. Par conséquent, cet aménagement n'est pas proposé.

➤ La reconnaissance du site amène les remarques suivantes :

- La protection du quartier Courteille par endiguement n'est pas possible, sauf à construire une digue dans le jardin des riverains. Cet aménagement n'est pas proposé.

- L'examen des lignes d'eau ne met pas en évidence d'autres travaux sur le lit mineur susceptibles d'améliorer le passage des crues. Pour l'Hôpital, une possibilité pour limiter les inondations serait la construction d'un mur de protection entre le pont de Sarthe et le confluent avec la Briante. Cet aménagement n'aurait pas d'effet significatif pour l'aval.

- Pour supprimer totalement les inondations, il faudrait pouvoir multiplier la section du lit mineur par 2 environ, ce qui est impossible compte tenu que la rivière est canalisée dans la traversée d'Alençon. De plus, un tel aménagement aggraverait les crues pour l'aval.

4.4.3.10 Le Mans

➤ La ville du Mans est particulièrement sensible aux inondations avec 1500 habitations inondées lors de la crue de janvier 1995.

Pour supprimer une inondation centennale, il conviendrait de pouvoir augmenter la section du lit mineur de la Sarthe par 2, ce qui est impossible étant donné que la rivière est entièrement canalisée dans la traversée de la Ville.

Depuis les années 1970, de nombreux travaux ont été réalisés : réfection de l'ensemble des barrages, recalibrages ... tant sur l'Huisne que sur la Sarthe, financés tant par la CUM que par le département. Ces travaux font suite à l'étude du BCEOM de 1968 et à la crue de 1966.

➤ Suite à la reconnaissance de terrain, les possibilités d'amélioration sont les suivantes :

- amélioration du barrage du moulin de Chaoue (mise en place d'un clapet automatique)
Un abaissement des niveaux d'inondation est à attendre pour la zone industrielle SUD. Etant donné les volumes de crue de la Sarthe, cet aménagement sera peu sensible pour l'aval. Des calculs plus précis permettront de définir s'il y a lieu de compenser cet aménagement par une levée transversale par exemple.
Le coût est estimé à 800 000 F HT.
- amélioration du barrage du Gué de Maulny sur l'Huisne (remplacement de l'ancien vannage par un clapet automatique ou, au moins suppression de l'ancien vannage). Le gain à attendre doit être significatif pour les petites, mais négligeable pour les crues importantes.
Des calculs plus précis permettront de définir s'il y a lieu de compenser cet aménagement par une levée transversale par exemple.
Le coût est estimé à 800 000 F HT.
- Un facteur important d'inondation du Mans est la remontée des eaux par les égouts. Un système anti-retour dans le réseau assainissement ainsi qu'un système d'évacuation (pompage ou gravitaire vers l'aval) des eaux pluviales pour les quartiers situés en contrebas (Pontlieue, Barbusse) permettraient de diminuer les durées d'inondation. Compte tenu des données recueillies, il n'est pas possible de chiffrer un tel aménagement.
- amélioration de la section au droit de certains ponts et notamment :
 - pont d'Arnage : suppression complète des anciennes piles de pont

- pont de fer : suppression du radier de l'ancien barrage, si celui-ci ne contribue pas à la stabilité de l'ouvrage.

Ils ne sont pas proposés, sauf à vérifier qu'ils ne présentent pas une menace pour la stabilité des ouvrages.

➤ L'examen des lignes d'eau calculées par le BCEOM amènent les réflexions suivantes :

- On constate une perte de charge importante au Pont Gambetta, de l'ordre de 25 cm pour une crue centennale. Une action sur le lit mineur en aval du pont (du type dragage), en prenant toutes les précautions d'usage, pourrait être étudiée plus en détail. Etant donné la faible largeur champ d'inondation, il n'y aurait pas d'effet significatif sur l'aval.
- Confluent Sarthe Huisne : le modèle mathématique met en évidence une perte de charge importante entre le confluent et l'aval du pont des Riffaudières pour une crue centennale. Une action sur le lit mineur est à étudier en détail.
- Le secteur du Moulin l'Evêque semble engendré une perte de charge importante. Des actions sur le lit mineur et sur les anciens ouvrages du moulin pourraient être envisagées et ainsi permettre d'améliorer les conditions d'inondation pour St Pavace.

Remarques :

Les abaissements réalisés par un dragage ne sont jamais définitivement acquis. Aussi, les rivières devront faire l'objet d'une surveillance et d'entretiens réguliers.

Des calculs plus précis de l'impact sur les lignes d'eau permettront de définir s'il y a lieu de compenser ces aménagement par une levée transversale par exemple.

- Un recalibrage de la Sarthe dans la ville est difficilement envisageable, notamment à cause des très nombreux ouvrages (ponts, barrage) et perrés maçonnés qui tiennent les rives. Il risquerait de les déstabiliser.
- protection par endiguement :

L'étude BCEOM avait proposé de protéger deux quartiers par endiguement :

- quartier O. Heuzé, en rive droite de l'Huisne entre le pont Jean Jaurès et le pont SNCF situé à l'aval,
- quartier de la rue Louis Crétois, en rive droite de la Sarthe entre le bd Riffaudière et le pont SNCF aval.

Les endiguements permettent de mettre hors d'eau un site mais présentent certains inconvénients et contraintes. Ce type d'aménagement peut avoir des effets négatifs à l'aval du fait de la réduction du volume du champ d'inondation. De plus, un endiguement nécessite une surveillance et un entretien régulier pour pouvoir demeurer efficace.

Pour les deux endiguements cités plus haut, le défaut de stockage serait compris entre 200 000 m³ et 250 000 m³, soit $\Delta Q \# + 0.5$ m³/s pour l'aval. Dans le cas de la réalisation de

tels ouvrages, il serait intéressant de pouvoir compenser cet effet par des levées transversales sur le lit majeur par exemple.

L'emprise pour une digue de 2.50 m de haut est de 15 m (digue avec talus à 3/1 et voie de circulation au sommet). Il faudra vérifier que l'on dispose de cet emplacement pour pouvoir réaliser les aménagements. Les plans au 1/4000 des zones inondées de la CUM, montre qu'il serait nécessaire d'empiéter sur des propriétés privés. Une autre solution consisterait à réaliser un mur en béton armé pour réduire la largeur de l'emprise. Cette dernière serait d'un coût nettement plus élevé.

De plus pour être totalement efficace, un endiguement doit comprendre un système de collecte, de drainage et de relevage des eaux pluviales et apports divers, piégées derrière la digue. Le ruisseau de Chaumard, situé dans le quartier O.Heuzé serait à prendre en compte pour dimensionner ces installations.

La décision d'endiguer doit donc résulter d'une concertation entre les riverains concernés et les différents services de l'Etat et collectivités territoriales.

➤ Etant donné la complexité des écoulements dans la traversée du Mans, une étude précise de toutes les possibilités d'amélioration est recommandée.

4.4.3.11 *Sablé/Sarthe*

➤ A Sablé/Sarthe, les dommages les plus importants se produisent dans le centre ville en amont du Vieux Pont. Les possibilités d'amélioration à Sablé/Sarthe sont les suivantes :

- améliorer la débitance (recalibrage, enlèvement de la végétation, élargissement, approfondissement au niveau des ponts, meilleure alimentation en amont) du bras de la Marbrerie de manière à diminuer le débit sous le Vieux Pont et ainsi abaisser les niveaux de crue à l'amont.
L'abaissement à attendre est inférieur à 10 cm pour une crue moyenne et serait sans conséquence significative sur l'aval.
Le coût est estimé à 200 000 F HT. C'est un premier ordre de grandeur à préciser avec des levés topographiques complémentaires.
- le Vieux Pont est dans le remous du barrage de navigation. Un recalibrage à l'aval du Vieux Pont n'aurait sans doute pas d'influence significative à moins d'abaisser également la cote du déversoir. Un tel aménagement pourrait favoriser les dépôts.
- améliorer le débouché de la Vaige (recalibrage, enlèvement de végétation sur les berges) pour favoriser la décrue et ainsi diminuer les durées d'inondation.
Avant d'engager cette action, il conviendra de s'assurer que les volumes non stockés lors de l'inondation n'aggravent pas la crue à l'aval. Dans le cas contraire, il faudra apporter une mesure corrective, sous la forme d'une levée sur lit majeur par exemple.
Le coût est estimé à 100 000 F HT. C'est un premier ordre de grandeur à préciser avec des levés topographiques complémentaires.

- curer régulièrement l'Erve et la Sarthe au confluent. Le coût est estimé à 100 000 F HT. Il permettra de s'assurer du libre écoulement des eaux dans la traversée de Sablé/Sarthe et de prévenir tout risque de dépôt au confluent. En effet, la disposition des rivières (sensiblement perpendiculaire) est propice à des dépôts dans toute la zone du confluent. Ces travaux d'entretien sont a priori sans conséquence significative pour l'aval. C'est un premier ordre de grandeur à préciser avec des levés topographiques complémentaires.

➤ Il n'est pas nécessaire de chercher à réduire la perte de charge au niveau du viaduc SNCF (des arbres en lit majeur gênent l'alimentation des arches rive gauche), qui se situe à l'amont de Sablé/Sarthe et n'influence qu'une zone de prairies.

Il n'y a pas de priorité particulière pour réaliser ces travaux. Il faut noter que les abaissements produits par un dragage ne sont jamais définitivement acquis. Aussi, les rivières doivent faire l'objet d'une surveillance et d'entretiens réguliers.

4.4.3.11 Laval

L'agglomération de Laval n'est pas fortement touchée par les inondations, comparée à des villes comme Le Mans ou La Flèche. En effet la vallée de la Mayenne est encaissée et les zones inondables ne s'étendent pas à plus de 100 m du lit mineur à l'exception du secteur industriel situé à l'aval du pont d'Avesnières (200 m).

Les propositions d'actions de protection pour l'agglomération de Laval sont les suivantes :

- Comme pour la ville du Mans, Les inondations entre le pont de l'Europe et le Pont d'Avesnières se produisent par refoulement et saturation du réseau d'assainissement. La mise en place de système anti-retour dans le réseau assainissement et l'évacuation des eaux pluviales pour les quartiers situés en contrebas (ou simplement l'entretien du réseau actuel), permettraient de diminuer les durées d'inondation pour l'ensemble de l'agglomération. Compte tenu des données recueillies, il n'est pas possible de chiffrer un tel aménagement.
- Le secteur industriel situé à l'aval du pont de d'Avesnières est inondé par débordement de la Mayenne. Une protection par endiguement en rive droite pourrait être envisagée par rehaussement du chemin de halage d'une hauteur de l'ordre de 2 m, soit une emprise au sol de 10 m environ. Pour cet endiguement, le défaut de stockage serait de l'ordre de 50 000 m³, soit $\Delta Q < 0.5$ m³/s pour l'aval : l'ouvrage n'aurait pas d'effet significatif sur l'aval, il serait tout de même intéressant de pouvoir compenser ce déficit par la recherche d'un volume identique dans une zone non vulnérables aux inondations. Le coût est estimé à 700 000 F HT. Cette évaluation sera à préciser en fonction des contraintes du réseau d'assainissement.

- La protection de la rive gauche est rendue difficile du fait du ruisseau St Nicolas. La protection par endiguement est à examiner après une étude plus précise des débits de crue du ruisseau St Nicolas, qui nécessitera une station de relevage des eaux du ruisseau.
- Enlèvement des atterrissements (aval du barrage de Laval Centre). Ces travaux d'entretien n'auraient pas d'impact sur l'aval. Le coût est estimé à 50 000 F HT.
- Une action sur le lit mineur en aval de l'agglomération, entre les barrages d'Avenièrès et et Cumont, en prenant toutes les précautions d'usage, pourrait être étudiée plus en détail. Elle pourrait permettre d'abaisser les niveaux dans Laval. Etant donné la faible largeur champ d'inondation, il n'y aurait pas d'effet négatif significatif à attendre pour l'aval.

Les travaux à engager en priorité sont ceux concernant le réseau d'assainissement.

D'une manière générale, nous resterons réservés sur toute action directe dans le lit mineur en dehors des travaux d'entretien.

4.4.3.12 Château-Gontier

L'agglomération de Château-Gontier n'est pas très vulnérable pas aux crues, seules quelques installations (cf annexe E2) en bordure de rivière sont inondables.

Les propositions d'actions de protection pour l'agglomération de Château-Gontier sont les suivantes :

- améliorations de l'écoulement entre le vieux pont et le barrage de Pendu : chenal de crue dans le lit majeur et ouvrages de décharge dans le remblai du pont de l'Europe. L'effet attendu est un abaissement des niveaux à l'amont du pont de l'Europe. Il conviendra de vérifier que cet aménagement n'aggrave pas les crues en aval. Le coût est estimé à 1 200 000 F HT.
- Le curage/recalibrage en aval de la ville de Château-Gontier pourrait être une possibilité d'amélioration. Il n'est pas envisageable dans la ville compte tenu des nombreux ouvrages et du fait que la rivière est canalisée. Il pourrait être étudié à l'aval du Vieux Pont, en prenant toutes les précautions d'usage. Sans bathymétrie de la rivière, il est difficile de préjuger d'un tel aménagement.

L'opération aurait sans doute un coût de plusieurs millions de francs et ne générerait que de faibles abaissements de niveaux de l'ordre de 10 à 20 cm.

Nous restons réservés quant à ce type d'aménagement, car une action sur le lit mineur de la rivière peut provoquer des érosions régressives.

- On peut noter que le Vieux Pont génère une perte de charge importante : 0.56 m pour la crue de 1966. Une solution pourrait être soit l'agrandissement de la section d'écoulement, en prenant toutes les précautions d'usage, ou la reconstruction du pont.

4.4.3.13 Craon

A Craon, les inondations sont dommageables essentiellement pour le centre ville autour du Vieux Pont.

Les actions de protection envisageables pour Craon sont les suivantes :

- vérifier l'effet de barrage du pont et du remblai du boulevard d'Okéhampton
- rehaussement de la passerelle à l'amont du pont du boulevard Okéhampton qui fait obstacle à l'écoulement en crue et gêne la débitance du pont. Des abaissements des niveaux sont à attendre pour Craon. Compte tenu de la faible largeur du champ d'inondation, cet aménagement peut être envisager assez librement vis à vis d'une éventuelle aggravation pour l'aval.
Le coût est estimé à 100 000 F HT.
- enlèvement d'une partie de la végétation des berges (arbres, morts ou non, tombés ou penchés) à l'aval et dans la traversée de Craon. Ces actions permettraient d'améliorer la débitance générale de la rivière et limiteraient le risque d'embâcle.
Les conséquences pour l'aval ne seraient a priori pas significatives.
Le coût est estimé à 50 000 F HT.
- améliorer le débouché du Vieux Pont par élargissement de la section d'écoulement en supprimant une partie de l'île. L'effet serait un abaissement des niveaux pour le centre ville (très vulnérable). Etant donné la faible étendue des surfaces inondables, on peut envisager ces travaux sans contrainte vis à de l'aval.
Le coût est estimé à 100 000 F HT.
Ultérieurement et en fonction de l'acuité des problèmes, le remplacement du pont de la Liberté et du Vieux Pont pourrait être envisagé, pour réduire l'inondation du centre de Craon.
- le parement du déversoir de Bouche d'Uzure est à remettre en état. Cette action n'aura pas d'influence sur Craon, car elle intervient très en aval. Elle est proposée dans le cadre de l'entretien de la rivière.

La priorité est à donner aux travaux d'entretien dans le lit mineur de la rivière.

4.4.3.14 Segré

➤ Les propositions d'actions de protection pour l'agglomération de Segré sont les suivantes :

- La protection par endiguement du quartier de St Aubin du Pavoil (digue + équipement d'évacuation des eaux pluviales et infiltration) pourrait être la solution ultime. L'implantation de la digue sera à précisée à l'issue d'une étude de terrain.
Le coût est estimé à 400 000 F HT.

Les endiguements permettent de mettre hors d'eau un site mais présentent certains inconvénients et contraintes.

Ce type peut avoir des effets négatifs à l'aval du fait de la réduction du volume du champ d'inondation. De plus, un endiguement nécessite une surveillance et un entretien régulier pour pouvoir assurer son efficacité.

Pour l'endiguement du quartier de St Aubin, le défaut de stockage serait de l'ordre de 60 000 m³, soit $\Delta Q \# + 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ pour l'aval. Dans le cas de la réalisation de cet ouvrage, il serait intéressant de pouvoir compenser cet effet par la recherche d'un volume équivalent, de manière à le rendre totalement transparent au sens hydraulique du terme vis à vis des crues.

L'emprise pour une digue de 2 m de haut est de 10 m. Il serait nécessaire d'empiéter sur des propriétés privées.

De plus pour être totalement efficace, un endiguement doit comprendre un système de collecte, de drainage et de relevage des eaux pluviales et apports divers, piégées derrière la digue.

La décision d'endiguer doit donc résulter d'une concertation entre les riverains concernés et les différents services de l'Etat et collectivités territoriales.

- un curage à l'aval du Vieux Pont et au confluent avec la Verzé a été réalisé en 1996. Les abaissements réalisés par un dragage ne sont jamais définitivement acquis. Aussi, les rivières devront faire l'objet d'une surveillance et d'entretiens réguliers.
- enlèvement du passage piéton qui encombre le lit de la rivière dans une partie étroite à l'amont du pont Gambetta.

➤ La reconnaissance de terrain amène les remarques suivantes :

- mise en place d'un clapet automatique au barrage du Moulin sous la Tour en plus du vannage manuel
Cet ouvrage se situe en amont de Segré, il n'influence aucun secteur d'habitations. La modification de cet ouvrage n'aurait pas ou peu d'effet a priori sur les niveaux à St Aubin du Pavoil, situé 2 km en amont. Cet aménagement n'est pas proposé.
- Ultérieurement et en fonction de l'acuité des problèmes, le remplacement du Vieux Pont pourrait être une solution pour réduire l'inondation.

4.4.3.15 Angers

Le problème majeur au niveau de l'agglomération angevine réside dans le fait que les inondations et submersions sont étroitement liées non seulement aux débits en provenance du bassin de la Maine mais également aux débits de la Loire.

En effet, du fait de la configuration topographique relativement "plate" de l'ensemble du secteur (comprenant l'agglomération d'Angers) situé entre la Pointe de Bouchemaine à l'aval, et les confluences amont (Mayenne-Oudon, Sarthe-Loir), le niveau de la Maine à Angers (référence l'échelle du pont de Verdun) est extrêmement lié, par effet de remous, à la somme des débits Maine+Loire amont ou plus simplement, au débit de la Loire en aval de sa confluence avec la Maine (référence la station de Montjean/s/Loire).

Pour un niveau bas de la Loire, il faudrait pouvoir élargir le lit de la Maine de 25 m pour éviter tout débordement d'un débit centennale de la Maine, ce qui est impossible compte tenu du fait que la rivière est canalisée et comporte de nombreux ouvrages de franchissement.

Les ponts, hormis les ponts de Verdun et le pont SNCF de Bouchemaine, ne provoquent pas de pertes de charges importantes :

- Pont de Verdun : Les études antérieures ont montré que la perte de charge au pont de Verdun est de 36 cm pour un débit de la Maine de 1500 m³/s. Des travaux de confortement du pont ont déjà été réalisés en 1990. Une solution extrême serait le remplacement du Pont. L'agrandissement de la section d'écoulement paraît techniquement difficile. Il faut bien noter que pour un niveau haut de la Loire (exemple : la crue de 1910) la perte de charge du pont n'est plus que de l'ordre de 10 cm.

Avant de chercher à améliorer la situation au droit de ce pont, il conviendra de quantifier avec précision les conséquences sur l'aval qui peuvent être importantes.

En effet, les volumes stockés par une perte de charge seulement de 10 cm sont considérables dans une configuration de plaine comme Angers.

- Pont SNCF de Bouchemaine : la perte de charge est moins importante que pour le pont de Verdun (22 cm). L'augmentation de la section d'écoulement ou la mise en place d'un ouvrage de décharge pourrait permettre de diminuer la perte de charge. Ce Pont est situé 7 km en aval d'Angers, l'effet de cet aménagement ne serait pas significatif pour l'agglomération.

Il est difficile de se prononcer sur l'intérêt d'une action sur le lit mineur, en prenant toutes les précautions d'usage, dans la traversée d'Angers compte tenu de la forte influence de Loire, et de la configuration topographique relativement "plate" de l'ensemble du secteur. Etant donné la configuration des lieux (rivière canalisée, nombreux ouvrages), les résultats à attendre seraient faibles. De plus, une augmentation de la section d'écoulement serait de nature à favoriser les dépôts. Nous proposons de l'étudier sur modèle mathématique pour juger de son intérêt.

De nombreuses canalisations pluviales drainant l'agglomération débouchent dans la Maine, les inondations débutent par refoulement et saturation de ce réseau.

La mise en place de système anti-retour dans le réseau d'assainissement et l'évacuation des eaux pluviales (ou simplement l'entretien du réseau actuel), permettraient de diminuer les durées d'inondation pour l'ensemble de l'agglomération. Compte tenu des données recueillies, il n'est pas possible de chiffrer un tel aménagement.

4.5 Propositions de scénarios d'aménagement

L'étude des protections a mis en évidence les possibilités d'améliorations des conditions d'inondation sur l'ensemble du bassin de la Maine. Elles ne permettront pas de supprimer les inondations, mais en diminueront les effets dommageables.

Les aménagements susceptibles d'être proposés sont :

- des actions locales pour les agglomérations,
- des retenues de stockage pour les sous-bassins du Loir, de la Sarthe, de l'Huisne, de la Mayenne et de l'Oudon,
- des levées transversales pour les sous bassins du Loir, de la Sarthe et de l'Huisne.

Des scénarios d'aménagement sont proposés sous-bassin par sous-bassin, puis sur l'ensemble du bassin de la Maine. Des études plus précises permettront d'affiner les résultats au cours de la Phase 2.

4.5.1 Proposition d'aménagement pour le sous bassin du Loir

Concernant le sous bassin du Loir, en tenant compte de la sensibilité des agglomérations, des possibilités d'amélioration et des effets à en attendre, l'ordre de priorité de réalisation des actions locales est le suivant :

- Vendôme,
- Bonneval, Montoire, Cloyes,
- La Flèche, Le Lude, Durtal.

Pour les agglomérations les plus sensibles vis à vis des inondations, comme la Flèche et Chateaudun où les possibilités d'améliorations locales sont faibles, les retenues seraient à réaliser dans un deuxième temps.

La création des levées transversales retarderait la crue du Loir.

Compte tenu de l'influence des levées sur le synchronisme des crues SARTHE-LOIR, elles sont à envisager dans le cadre d'un scénario d'aménagement de l'ensemble du bassin (cf 4.5.4)

4.5.2 Proposition d'aménagement pour le sous bassin de la Sarthe

Concernant le sous bassin de la Sarthe, en tenant compte de la sensibilité des agglomérations, des possibilités d'amélioration et des effets à en attendre, l'ordre de priorité de réalisation des actions locales est le suivant :

- Le Mans,
puis
- Alençon et Sablé/Sarthe

Les retenues sur l'Huisne et la Sarthe seraient à réaliser dans un deuxième temps pour assurer une protection complémentaire.

La création des levées transversales retarderait les crues de l'Huisne et de la Sarthe.

Elles sont à envisager dans le cadre d'un scénario d'aménagement de l'ensemble du bassin (cf 4.5.4).

4.5.3 Proposition d'aménagement pour le sous bassin de la Mayenne

Pour la Mayenne et l'Oudon, en tenant compte de la sensibilité des agglomérations, des possibilités d'amélioration et des effets à en attendre, l'ordre de priorité de réalisation des actions locales est le suivant :

- Laval,
- Château-Gontier
- Craon, Segré.

Pour l'Oudon, la réalisation des retenues contribuera à améliorer les conditions d'inondation dans un deuxième temps.

La réalisation des retenues sur le bassin supérieur aurait probablement pour effet le retardement de la Mayenne à Chambellay.

Elles sont à envisager dans le cadre d'un scénario à l'échelle du bassin (cf 4.5.4).

4.5.4 Scénario d'aménagement à l'échelle du bassin

Au niveau du bassin de la Maine, l'analyse des dommages met évidence que le bassin de la Sarthe est fortement touché ; vient ensuite le bassin du Loir.

Les possibilités de protection sont donc à réaliser en priorité pour La Sarthe, puis le Loir.

Pour les aménagements suivants :

- retenues de la Mayenne et de l'Oudon,
- levées du Loir,
- levées de l'Huisne,
- levées de la Sarthe,

l'ordre de réalisation dépend du synchronisme des crues.

Pour ne pas aggraver les crues aux confluences, il convient d'aménager tout d'abord le Loir, puis la Sarthe et l'Huisne et enfin la Mayenne.

Pour l'agglomération angevine, l'effet à attendre des actions de protections ne serait a priori pas très significatif. Les améliorations à Angers viendront de l'élaboration de schémas de prévision des crues.

5. Conclusions et préconisations du chargé d'étude

Les prévisions et la prévention, quoique indispensables, et permettant de limiter les dommages des crues ne contribuent pas à la réduction de l'amplitude des phénomènes et des dommages qu'ils provoquent.

La phase ultime consiste à réaliser des aménagements qui, selon la configuration, seront catalogués de doux ou durs.

5.1.1 Retenues de stockage

Les retenues de stockage permettent de baisser les niveaux des crues extrêmes sur les différents affluents de la Maine mais sont quasiment sans effet au niveau de l'agglomération angevine.

Si de tels aménagements devaient être envisagés, il conviendrait d'examiner les difficultés et les délais de réalisation.

Dans le meilleur des cas, ces retenues ne seraient pas opérationnelles avant 5 à 10 ans.

Les différentes procédures avec leurs délais administratifs, la programmation financière, les acquisitions foncières, les études techniques nécessiteraient plusieurs années avant le démarrage des travaux.

Le chargé d'étude suggère aux futurs maîtres d'ouvrage d'envisager la réalisation des retenues comme une solution à moyen ou à long terme avec un risque non négligeable de devoir renoncer à certaines d'entre elles à cause des contraintes juridiques fortes, voire incontournables.

En outre, il convient de noter que les retenues possédant une capacité importante se situent sur la Mayenne.

En effet, pour une capacité possible de stockage de 118 Mm³ sur l'ensemble du bassin, 76,8 Mm³ se situent sur les hauts bassins de la Mayenne (et 9 Mm³ sur l'Oudon) alors que les problèmes d'inondations préoccupants sur la Mayenne ne commencent à apparaître qu'à partir de la crue décennale environ. En outre, ces retenues retardent l'arrivée de la pointe de crue d'environ une journée à Angers ce qui pourrait être de nature à aggraver la situation dans l'agglomération angevine.

C'est donc des volumes de crue plutôt modestes qui peuvent être écrêtés sur les autres bassins (Sarthe 13,1 Mm³, Huisne 4,4 Mm³, Loir 14,6 Mm³).

L'analyse d'une crue récente (1995) met en évidence que les volumes possibles de stockage sur les hauts bassins de la Sarthe et de l'Huisne (17,5 Mm³) et du Loir (14,6 Mm³) ne sont pas à l'échelle des valeurs qu'il conviendrait de stocker pour obtenir des abaissements significatifs.

Pour la crue de 1995, on peut estimer d'une manière très théorique que pour abaisser les niveaux de 35 cm à la station de SPAY (Le Mans), il aurait fallu écrêter les débits de 22 Mm³ environ et de 55 Mm³ pour abaisser les niveaux d'environ 65 cm.

Pour le Loir de la même manière pour abaisser les niveaux de 25 cm à la Flèche, il aurait fallu écrêter les débits de 10 Mm³ environ et de 33 Mm³ pour abaisser les niveaux de 35 cm.

Pour chacune des deux rivières c'est environ 70 Mm³ qu'il conviendrait de stocker pour améliorer d'une manière très significative les niveaux à SPAY (Le Mans) et à la Flèche.

Pour être exhaustif, signalons cependant que la crue de 1995 était d'une fréquence rare (temps de retour environ 60 ans à SPAY et 50 ans à la Flèche) et, qu'elle était en outre très pénalisante eu égard aux problèmes de stockage par sa durée qui a atteint environ 10 jours.

Il est donc nécessaire d'abaisser la ligne d'eau de la rivière d'une manière considérable notamment sur les hauts bassins pour, in fine, obtenir une diminution de quelques dizaines de centimètres au Mans où à la Flèche.

En outre, la taille modeste des retenues même dans le cadre d'une bonne gestion de celle-ci ne permet pas de se prémunir contre un remplissage de la retenue d'une manière prématurée.

Lorsque la retenue ne pourra plus exercer son rôle écrêteur car elle sera remplie, alors la rivière retrouvera son état nature et l'effet de la retenue deviendra "transparent". Pour la crue de 1995, on estime que si l'écrêtement avait commencé uniquement à partir d'un débit décennal (ce qui est très tardif), une retenue de 17,5 Mm³ se serait remplie (à supposer qu'elle soit vide) pour un écrêtement de 30 m³/s (qui est bien modeste) en 6 ou 7 jours et la crue de 1995 a duré environ 10 jours.

En revanche, pour l'Oudon, on note que si l'on parvenait à écrêter uniquement la pointe de crue, il résulterait à Segré un abaissement d'environ 50 cm pour la crue de 1995, qui n'est pas une crue centennale sur l'Oudon.

5.1.2 Levées de terre transversales

Les levées de terres transversales font partie des méthodes plutôt douces d'aménagement. Cependant, l'effet de celles-ci sur l'écrêtement des crues est moindre que les retenues de stockage.

Elles présentent, néanmoins, des avantages non négligeables :

- ouvrages passifs ne nécessitant pas d'intervention pendant la crue,
- facilité de mise en oeuvre,
- intégration environnementale aisée,
- faible coût,
- ...

En outre, elles ont tendance à retarder les crues du Loir et de la Sarthe ce qui va dans le bon sens au niveau de "l'horloge hydraulique" de la ville d'Angers.

Le chargé d'étude suggère aux futurs maîtres d'ouvrage d'initier rapidement un examen approfondi des sites potentiels en vue de la réalisation de ces aménagements.

Il conviendra de ne pas omettre d'affiner ou de lancer les études hydrauliques de détail avant la réalisation d'aménagements et de mesurer les conséquences sur l'amont et l'aval.

L'impact sur la fluviomorphologie méritera une attention particulière. Il conviendra d'apprécier les dépôts qui pourront apparaître derrière les levées transversales ainsi que les éventuelles érosions dans le lit mineur.

Les levées transversales augmentent les hauteurs de submersion à leur amont immédiat. La réalisation de tels ouvrages passera donc par une large négociation et sans doute l'établissement de conventions avec les propriétaires fonciers concernés.

5.1.3 Protections locales

L'étude s'est plus particulièrement focalisée sur 16 agglomérations comme préconisé dans le cahier des charges.

Il apparaît souvent que des situations peuvent être améliorées moyennant des investissements qui n'ont pas tous été chiffrés mais ne semblent pas excessifs.

Chaque agglomération qui réalisera des protections locales constatera une amélioration. Cependant il ne faudra pas omettre de s'assurer que les conditions d'écoulement ne sont pas aggravées à l'aval par la réduction des zones d'expansion des crues. Si cela était le cas, les levées transversales pourraient, dans des zones non vulnérables, pallier l'inconvénient des protections locales sur l'aval.

Les protections locales contribueront à augmenter sans aucun doute le débit transmis à l'aval évitant que les stockages locaux (submersion du lit majeur) aient lieu.

Cependant les sur-débites qui seront injectés dans la rivière lors de la phase de la montée de crue restent faibles.

En effet, pour un secteur inondé de 1 000 x 1 000 m et un abaissement de 30 cm, le volume non écrêté est de 300 000 m³. Si ce volume est réinjecté dans la rivière pendant la phase de montée de crue (supposons 24 H), il vient un sur-débit de 3,5 m³/s.

Au niveau de l'agglomération angevine, l'effet cumulé des aménagements sera donc de l'ordre de la dizaine de m³/s. Ce qui restera sans doute sans effet significatif.

En revanche, un autre effet mérite une attention plus soutenue ; l'accélération de la propagation des crues.

Au niveau de l'agglomération angevine, on peut raisonnablement penser que ce décalage dans le temps ne devrait pas modifier le synchronisme d'apparition des crues.