



Mission sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la Seine

Rapport au Premier ministre

Novembre 2016

Ce document a été rédigé par une équipe-projet constituée de :

AESN, Direction de la Stratégie Territoriale : Sarah Feuillette
Maïa Akopian
DRIEE, Délégation de bassin Seine-Normandie : Frédéric Raout

Table des matières

RESUME	3
I- PROBLEMATIQUE ET CONTEXTE.....	3
II- CADRAGE DU TRAVAIL	5
III- ÉLÉMENTS DE DIAGNOSTIC	6
IV- PAR RAPPORT A QUELS RISQUES VEUT-ON AMELIORER LA GESTION HYDROLOGIQUE ?	10
V- TYPOLOGIE DES LEVIERS D'AMELIORATION DE LA GESTION HYDROLOGIQUE.....	14
VI- PISTES D'AMELIORATION DE CES DIFFERENTS LEVIERS A L'ECHELLE DU BASSIN.....	15
VII- AUTRES PISTES D'AMELIORATION DE CES DIFFERENTS LEVIERS A L'ECHELLE DES SOUS-BASSINS	25
VIII- CONCLUSIONS ET MODALITES DE MISE EN ŒUVRE.....	27
ANNEXES	27

Mission sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la Seine

Résumé

La mission confiée au préfet coordonnateur de bassin par le Premier ministre sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la Seine permet d'établir un état des lieux consolidé sur les crues et les étiages et d'élaborer un programme d'actions et d'études cohérent agissant simultanément sur les risques d'inondation et sur la baisse de la ressource en eau. Centré sur des actions qui concernent les cours d'eau du bassin amont (notamment, Aube et Seine, Marne, Yonne, Oise) qui convergent dans la métropole parisienne, ce programme doit produire des bénéfices sur l'ensemble du bassin de la Seine et anticiper les conséquences attendues du changement climatique (augmentation de l'évapotranspiration liée à l'accroissement des températures et modification du régime des précipitations dont résultera la baisse des débits). Il s'agit concrètement de recenser l'ensemble des projets structurants connus et leur degré de maturité, afin de proposer au Premier Ministre les études qui restent à conduire pour permettre la prise de décision sur ces projets. Le programme ne se limite pas à de grands aménagements, qui ne seraient en tout état de cause pas suffisants, il recense l'ensemble des leviers mobilisables, depuis la restauration des capacités naturelles d'infiltration et le recours aux zones d'expansion des crues et aux techniques d'hydraulique douce jusqu'à la réduction de la vulnérabilité, tant pour les nouveaux aménagements que pour les installations existantes. Il porte aussi sur les affluents de la Seine moyenne comme le Loing et les cours d'eau franciliens, dont les inondations de juin dernier ont rappelé qu'ils sont à la fois sujets de débordements importants sur leurs territoires, mais aussi contributeurs aux crues de la Seine moyenne.

I- Problématique et contexte

A la suite des inondations de mai-juin 2016, le Premier ministre a adressé une lettre de mission au Préfet coordonnateur de bassin (annexe 1), lui demandant d'élaborer rapidement un **programme d'études sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la Seine dans l'objectif de renforcer la prévention du risque d'inondation et de sécuriser le soutien d'étiage**. Un premier diagnostic a été partagé avec des acteurs du bassin particulièrement concernés lors d'une réunion extraordinaire du conseil d'administration élargi, le 20 septembre 2016.

Ce travail s'articule avec la stratégie d'adaptation au changement climatique du bassin Seine-Normandie élaborée pour la fin de l'année 2016. Cette stratégie, voulue par le préfet coordonnateur de bassin et le président du comité de bassin, fixe un cadre volontaire et ambitieux pour l'ensemble des acteurs du bassin. En effet, la perspective du changement climatique fait notamment redouter, en fonction de son ampleur, les conséquences d'étiages sévères sur le bassin de la Seine et d'une plus grande fréquence des pluies fortes, pouvant donner lieu à des inondations par ruissellement ou à des coulées de boues. La probabilité d'événements tardifs du type des inondations par débordement de mai et juin 2016, dues à une conjonction entre des sols saturés en avril-mai et des pluies continues sur plusieurs jours fin mai-début juin, pourrait être, d'après les très récentes analyses hydrologiques¹, accrue par le changement climatique. Bien que le niveau de vigilance rouge n'ait pas été atteint à Paris, les conséquences des inondations du printemps 2016 ont été lourdes pour les zones touchées :

¹ Van Oldenborgh et al., Rapid attribution of the May/June 2016 flood-inducing precipitation in France and Germany to climate change, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., doi:10.5194/hess-2016-308, 2016.

le coût est de l'ordre du milliard d'euros d'après les premières estimations des assureurs et le coût d'une crue du type 1910 (environ 2,5 mètres au-dessus de celle de 2016) serait de 3 à 30 milliards d'après l'OCDE (2014, annexe 8).

De nombreuses activités économiques ont particulièrement souffert des précipitations intenses, avec un impact particulier sur l'agriculture compte tenu de la saison plus avancée de la crue de mai-juin dernier. **Ces événements constituent pour l'ensemble des acteurs du bassin un signal d'alarme, ainsi que l'ont bien illustré les débats du comité de bassin lors de sa séance du 30 juin et ceux du conseil d'administration élargi du 20 septembre 2016².**

Les conséquences d'un étiage sévère, ponctuel comme ceux que le bassin a connu en 1921, 1949 et 1976, ou répétitif, n'ont pas été précisément évaluées. A ce jour, les dernières projections disponibles font apparaître une forte probabilité d'une baisse des débits d'étiage de la Seine et de ses affluents de l'ordre de 30% d'ici la fin du siècle et une baisse conséquente du niveau des nappes. **Il est donc urgent de s'adapter dès maintenant aux effets du changement climatique en construisant un programme d'actions qui agisse simultanément sur les inondations et sur la ressource en eau.**

L'amélioration du fonctionnement hydrologique du bassin dans le sens d'**une meilleure prévention de l'aléa crue et d'une atténuation des étiages** repose sur plusieurs types d'outils complémentaires :

- **l'occupation du sol** en premier lieu, qui influence le cycle hydrologique notamment en modifiant l'infiltration, le stockage, **le remplissage des nappes qui elles-mêmes « régulent » les crues et les étiages**, la vulnérabilité des populations et activités, et la pression exercée sur la ressource ;
- **les aménagements d'hydraulique douce** qui de manière **plus diffuse**, notamment au moyen de bandes enherbées, de haies, permettent de ralentir et de réduire les écoulements, d'améliorer l'infiltration et de recharger les nappes et peuvent jouer, en cas de développement suffisant, à la fois sur les crues locales de période de retour inférieure à 10 ans et sur l'érosion des sols (donc les coulées de boues) tout en apportant en parallèle des bénéfices en termes de biodiversité, de stockage de carbone, de réduction de la pollution et, selon les cas, de baisse des intrants agricoles ;
- **les zones humides et les zones d'expansion des crues (ZEC)** qui permettent de ralentir la dynamique de crues modérées à fortes selon le degré d'aménagement du lit majeur, parmi lesquelles on classe des espaces entièrement naturels ou encore des zones de stockage aménagées par des ouvrages plus ou moins mécanisés (vannes, pompes). Ces zones humides jouent par ailleurs un rôle de soutien des débits en période d'étiage ;
- **les infrastructures ponctuelles** qui, selon leur conception et leur gestion, peuvent avoir un effet plus ou moins éloigné à l'aval de leur lieu d'implantation, et écrêter des crues plus ou moins importantes, comme soutenir des étiages ;
- **la restauration hydromorphologique des cours d'eau** qui permet de contrecarrer les effets d'accélération des écoulements et de modification des échanges nappes-rivières dus à la rectification ou à la chenalisation des cours d'eau.

² Le procès-verbal de cette réunion est disponible sur <http://www.eau-seine-normandie.fr/index.php?id=7792>

Au-delà de la gestion des aléas, il importe de mettre en œuvre des mesures de réduction de la vulnérabilité et d'amélioration de la résilience, la prévision des événements et la préparation à la crise. Ces aspects sont particulièrement développés dans les stratégies locales des territoires concernés : SLGRI³ en application du PGRI⁴ sur les différents TRI, volet inondation de certains SAGE.

Ces **différents outils sont complémentaires** puisque leur **efficacité est plus ou moins locale et plus ou moins importante selon les événements considérés** (très fréquents et modestes ou très rares et extrêmes). Toutefois, les processus de décision, qui peuvent conduire à des choix de mise en œuvre, doivent intégrer dès l'amont une analyse de leur coût au regard des bénéfices attendus, une analyse des impacts possibles (sites disponibles) et une analyse de **l'acceptation des solutions par les acteurs des territoires**.

Par ailleurs, ils doivent reposer sur une vision stratégique, à l'échelle du bassin, dans un principe de solidarité amont-aval qui fait encore souvent défaut en l'absence d'une structuration de maîtrise d'ouvrage adaptée.

C'est pourquoi il est indispensable, pour permettre la prise de décision par les différentes autorités compétentes et acteurs concernés, de réunir l'ensemble des données et études permettant d'évaluer les projets les plus efficaces, à la fois sur la prévention des inondations et sur le soutien d'étiage, dans le but de construire une stratégie intégrée faisant appel à tous les leviers disponibles. Le présent rapport expose une synthèse des principaux éléments réunis dans le temps imparti et propose de poursuivre ce travail sur certains axes majeurs.

II- Cadrage du travail

Du point de vue des inondations comme des étiages, ce rapport se focalise sur des phénomènes de grande emprise, qui concernent des **enjeux de l'ampleur de la métropole francilienne et des centres urbains** (ne seront donc pas considérées ici les inondations par ruissellement et les coulées de boues, malgré le signal donné dans ce sens par les projections climatiques, car elles sont très locales).

En termes de fréquences de retour, **la mission s'intéresse tant aux événements de période de retour inférieure à 10 ans qu'aux événements moyens (centennaux, au sens de la directive inondation⁵)**, en proposant des dispositions complémentaires. Pour ce qui concerne les **événements extrêmes** (millénaux, au sens de la directive inondation), il est admis que leur prise en compte tant dans l'aménagement que dans la régulation des crues n'est pas acceptable, au regard de son coût disproportionné par rapport aux bénéfices attendus : ainsi la gestion de crise, l'amélioration de la capacité de retour à la normale et une reconstruction adaptée ainsi que le recours à l'assurance (privée ou la garantie illimitée de l'État) sont les approches mises en œuvre.

Le territoire considéré pour les actions est le bassin de la Seine jusqu'à la confluence avec l'Oise incluse, sans négliger les petits affluents qui ne sont pas sous l'influence des lacs-réservoirs. L'aval du bassin de la Seine est aussi bénéficiaire puisque les risques d'inondation comme d'étiage sont majoritairement issus de l'amont. Si le présent diagnostic se concentre sur la partie amont, il débouche donc sur des propositions d'amélioration de gestion et d'études complémentaires qui concerneront ainsi l'ensemble du bassin de la Seine.

³ Stratégie Locale de Gestion du Risque Inondation, à l'échelle d'un Territoire à Risque important d'Inondation (TRI).

⁴ Plan de Gestion du Risque Inondation, à l'échelle du bassin seine-Normandie.

⁵ Directive 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et la gestion des risques d'inondations, dite « Directive Inondation ».

III- Éléments de diagnostic

Les auditions (liste des personnes entendues en annexe 2) et rapports analysés depuis fin juillet permettent de dresser les éléments de diagnostic suivants.

L'hydrologie du bassin (annexe 3)

La Seine est une rivière de plaine, de régime pluvial océanique, recevant en moyenne **820 mm d'eau par an, ce qui est assez faible par rapport aux autres bassins français**. Cette pluviométrie moyenne annuelle varie cependant sur le territoire de 550 mm/an sur la Beauce à 1200 mm/an sur les franges Est et Ouest du bassin. Les conditions météorologiques (précipitations, humidité, rayonnement, vent) ainsi que l'occupation des sols conduisent à de **forts taux d'évaporation** : seulement 30% des précipitations conduisent à l'écoulement sur le bassin (contre 50% sur le Rhône). Des précipitations intenses peuvent se produire sur le bassin, qui restent rares par rapport au Sud de la France, mais qui pourraient s'accroître avec le changement climatique.

Le bassin est caractérisé par la présence d'aquifères très étendus et capacitifs qui régulent fortement les variabilités temporelles de l'hydrologie de surface et donnent accès à une ressource en eau en toute saison sur de larges zones du bassin. Sur certains bassins, les nappes peuvent modifier significativement l'hydrogramme de crue : d'après une simulation, la crue de 1999 aurait été deux fois plus importante sans la présence des nappes (Rousset et. al, 2004).

Le fonctionnement hydrologique du bassin présente une relative homogénéité avec un maximum de débit en hiver assez faible, de l'ordre de 40 l/s/km² à l'embouchure de la Seine bien que des situations contrastées existent localement. Les crues de la Seine ne sont donc pas exceptionnelles par rapport à celles des autres fleuves français (50 l/s/km² pour la Loire et le Rhône à leur embouchure et 70 pour le Rhin à Lauterbourg).

Les crues lentes par débordements

Les débordements des grandes rivières du bassin de la Seine surviennent habituellement à partir de novembre et jusqu'au mois de mai. Les crues de la Seine en Île-de-France mettent entre 3 à 4 jours depuis l'amont de l'Yonne ou du Loing et 6 à 8 jours depuis l'amont de la Seine et de la Marne pour parvenir dans l'agglomération parisienne, puis environ 5 jours pour atteindre l'estuaire. Plusieurs affluents de la Seine aux comportements variés interviennent dans la genèse des crues, les effets maximaux étant provoqués par l'arrivée concomitante sur l'agglomération parisienne de plusieurs ondes de crues générées par des épisodes pluvieux successifs. La crue de mai-juin 2016 est survenue en dehors de cette période habituelle, la répartition des précipitations a rendu les petits affluents franciliens particulièrement contributeurs, provoquant une montée plus rapide à Paris du fait de leur proximité (4 à 5 jours).

Historiquement, ces crues concernent :

- le bassin de l'Oise et de l'Aisne : février-mars 1784, novembre 1882, février mars 1910, janvier 1920, janvier 1926, février 1958, décembre 1993 et janvier 1995 ;
- l'Aube, la Seine et la Marne, cours d'eau influencés dès le milieu du XXème siècle par les lacs-réservoirs : 1658, 1740, 1784, 1802, 1836, 1861, 1866, 1910 (3), 1924 (2), 1955, 1982, 1983, 1993, 1995, 2013 sur l'amont de la Seine et 2016 (comparable en niveau de pointe à Paris à la crue de 1982);
- le Loing et l'Yonne à l'aval de Pannecière, bassins présentant des temps de réactions courts, inférieurs à ceux du précédent ensemble ; novembre 1770, 1802, mai 1836, 1846 (Loing), 1856 (Loing), septembre 1866, novembre 1896, janvier 1910 (2), janvier 1924, janvier 1955, 1982, 1995, janvier 2001, janvier 2011 et surtout mai 2016 (supérieure à 1910 à l'amont du Loing).

Certains événements récents sont marquants par leur caractère atypique au XXI^{ème} siècle :

- La crue de mai 2013 dont les débits en amont des lacs-réservoirs sont historiques pour la saison, se situant largement au-dessus d'une période de retour de vingt ans pour un mois de mai, surtout en Champagne. Cet événement a nécessité des dérogations aux règlements de gestion des barrages réservoirs afin de limiter le débit à Troyes ;
- L'étiage tardif de fin 2015 qui a fortement retardé le début du remplissage hivernal des barrages réservoirs ;
- La crue de juin 2016, en termes de saisonnalité, de contribution des affluents franciliens et de célérité (cf. annexe 4).

Les crues rapides

Sans être comparables aux événements cévenols du sud de la France, les crues rapides du bassin sont caractérisées par de fortes intensités de pluie sur des durées courtes, inférieures à la journée. Elles surviennent principalement en été, et ont des impacts sur des petits bassins qui présentent des temps de concentration faibles (inférieurs à 12-24 h) mais elles peuvent également survenir à la suite d'un événement pluviométrique relativement faible en saison hivernale, survenant dans une situation de saturation préalable des sols. La rapidité des crues est d'abord liée à la taille et à la structure (géologie, chevelu, pente, occupation du sol, etc.) des bassins versants.

Ces crues sont plus dommageables sur les petits bassins versants réactifs à forte pente, peu perméables, comme c'est le cas en Île-de-France pour le Grand Morin, le Petit Morin, l'Orge et l'Yvette, l'Yerres. **Cette réactivité est aggravée par l'imperméabilisation des sols urbains et par la réduction des capacités d'infiltration des sols agricoles.** Les inondations en ville suite au ruissellement urbain peuvent provenir de l'incapacité des réseaux à évacuer de grandes quantités d'eau⁶.

Par ailleurs, **le ruissellement rural associé à des problèmes d'érosion des sols se traduit souvent par des coulées de boues.**

Les étiages

Sur les grands axes, le bassin de la Seine ne connaît pas de déséquilibre structurel marqué entre les prélèvements en eau de surface et la ressource disponible du fait du soutien par les grands lacs de Seine qui fournissent de 50 à 70 % de l'eau à Paris en étiage. Les eaux souterraines alimentent les cours d'eau et soutiennent également les étiages : **en moyenne 40% des débits de la Seine à Poses (entrée de l'estuaire) ont transité par un aquifère (Modélisation Safran-Isba-Modcou in Rousset et al, 2004).**

Les années de sécheresse marquantes sont 1858, 1865, 1874 et 1882 pour le XIX^e siècle et 1921, 1949 et 1954 pour le début du XX^e siècle. Plus récemment le bassin a été touché par les sécheresses de 1976 et de la période 1989/1993 dont les effets sur le débit de la Seine ont été masqués par les apports des lacs-réservoirs. Le débit minimum naturel d'étiage à Paris peut être estimé à 47 m³/s en 1921, 41 m³/s en 1949 et 35 m³/s en 1858, 1865 et 1976.

Pour les bassins versants en déséquilibre quantitatif, identifiés sous forme de « zones de répartition des eaux » ou de « bassins en déséquilibre quantitatif potentiel » dans le SDAGE, des mesures de régulation sont mises en œuvre (volumes prélevables, Organismes Uniques de Gestion Collective..). Cependant, du fait des effets du changement climatique (annexe 5), les perspectives d'évolution à l'horizon 2050 montrent que les situations d'étiages sévères des cours d'eau pourraient s'intensifier du fait de la réduction des précipitations estivales, ce qui devrait donner lieu à des organisations multi-acteurs de gestion de crise (priorisation des usages, règles de gestion...) et à une orientation des activités sectorielles vers une sobriété accrue vis-à-vis de l'eau. Cette réduction, associée à l'augmentation de la température de l'eau, aura des impacts quantitatifs et qualitatifs sur la ressource en eau, du fait de

⁶ Il est à noter que l'eau évacuée par les réseaux d'assainissement et pluvial se retrouve *in fine* dans le cours d'eau sans abattement des volumes et donc, contribue aux crues de la rivière.

moindre dilution des polluants, ce qui devrait conduire chaque secteur à réduire ses pressions à la source⁷. Parmi les enjeux notables, le refroidissement de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine pourrait pâtir d'une réduction du débit et d'une augmentation de la température de l'eau (annexe 6).

Parmi les particularités de ce bassin interférant avec le cycle de l'eau, on note :

- **que la Seine est un petit fleuve sous pression d'une grande métropole**, ce qui entraîne notamment des problèmes de dilution et de besoins en eau notamment en étiage, de vulnérabilité et de dommages économiques importants par rapport aux inondations, accrus par l'imperméabilisation ;
- **que les grandes nappes jouent un rôle important dans la dynamique des débits** des cours d'eau ;
- **que ce territoire est majoritairement occupé par une agriculture d'open-field** très productrice, dont les pratiques peuvent avoir notamment pour effet de réduire l'infiltration ;
- **que la Seine et ses abords constituent un axe d'activité d'importance nationale** en termes de transport fluvial, d'activité portuaire, industrielle et économique.

Ces éléments de diagnostic seraient affectés par les effets du changement climatique, de forte probabilité pour l'augmentation des températures et diminution des débits d'étiage, et de plus faible probabilité pour les événements extrêmes, tels que les crues (voir annexe 5).

Trajectoires d'évolution du bassin en termes d'aménagement du territoire (annexe 7)

Compte tenu de l'évolution démographique du bassin et en particulier de l'Île-de-France avec le Grand Paris, la diminution des débits peut rendre problématiques les prélèvements pour l'eau potable. **En 2013, la région Île-de-France comptait 12 millions d'habitants et les projections de l'INSEE donnent une augmentation de +10,1% entre 2007 et 2040⁸**. A horizon 2050, la population pourrait être de 13 millions d'habitants. Une étude prospective sur les besoins en eau potable dans le cadre du développement du Grand Paris a été lancée par l'ASTEE⁹ avec une participation de l'agence de l'eau, les résultats sont attendus pour fin 2016. Les grandes villes seront également le lieu de phénomènes d'îlots de chaleur urbains qui pourraient induire des demandes en eau accrues.

L'évolution du Grand Paris aura aussi des conséquences en matière d'assainissement : une poursuite des tendances d'évolution démographiques pourrait conduire à l'horizon 2050 à une assiette de collecte de 10,7 millions d'habitants pour le SIAAP, ce qui, malgré une baisse tendancielle des consommations, pourrait conduire à une augmentation des flux totaux. Ainsi, le risque de dégradation de la qualité de la Seine est contrôlé mais réel, si aucune évolution significative de l'imperméabilisation n'a lieu : le rejet des déversoirs d'orage ou by-pass des STEU par temps de pluie représente aussi le risque principal de dégradation de la qualité de la Seine¹⁰.

En matière d'artificialisation des sols, depuis presque une décennie en Île-de-France, l'urbanisation se fait majoritairement en reconstruction des tissus déjà urbanisés. Si le ralentissement de l'extension urbaine est particulièrement sensible en grande couronne, grâce notamment à la Seine-et-Marne qui « contribue à plus de la moitié de la réduction de la consommation d'espace »¹¹, c'est encore là que se situent majoritairement les opérations de construction réalisées en extension. Mais dans la région

⁷ Cf. Stratégie d'adaptation du bassin Seine-Normandie au changement climatique.

⁸ En termes démographiques, la Seine-et-Marne reste le département francilien le plus dynamique, suivi de peu par l'Essonne.

⁹ Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement.

¹⁰ Actuellement un seul événement pluvieux peut entraîner 10 jours de déclassement du fait de la baisse de rendement des stations et de l'impact des volumes déversés par ailleurs.

¹¹ Note de l'IAURIF – décembre 2013.

capitale, le schéma directeur autorise un potentiel d'urbanisation nouvelle d'une surface totale de (au moins) 20 250 ha pour la période 2008-2030. Cette urbanisation nouvelle est planifiée, encadrée et le SDRIF définit des secteurs à fort potentiel de densification.

L'étalement et l'influence parisiennes s'étendent désormais hors de l'Île-de-France, sur les départements et les régions limitrophes. Hors Île-de-France, la **progression de l'imperméabilisation est déconnectée de la dynamique démographique : les régions peu densément peuplées (comme la Champagne-Ardenne ou la Bourgogne) ne sont pas toujours les plus économes du point de vue de l'utilisation de l'espace**. Alors même que le SCOT permet une politique de densification, cet outil est parfois insuffisamment développé (Bourgogne, Haute-Marne...). Toutefois cette tendance peut être contredite localement. Par exemple **sur l'aire du SCOT de la région troyenne**, la construction neuve en 2006 consomme 30 à 40% d'espace en moins qu'en 1999. Cependant, au final il apparaît que, comme pour la démographie, la consommation d'espace hors de l'Île-de-France devrait être très largement inférieure à ce qu'elle sera en Île-de-France. Par exemple, le rythme de consommation des espaces agricoles, naturels ou forestiers pourrait être de l'ordre de 500 hectares par an, d'ici à 2030 en Seine-et-Marne. Ce chiffre de 500 ha équivaut exactement à celui de l'imperméabilisation des terres sur l'ensemble de la région Bourgogne à l'horizon 2050 (dans l'hypothèse tendancielle).

En termes de vulnérabilité à l'inondation, en Île-de-France les secteurs de renouvellement et de densification préconisés par le SDRIF se situent souvent en zone inondable avec toutefois une réduction récente de l'urbanisation de ces zones, imputable probablement aux PPRI. **Hors Île-de-France, les dynamiques urbaines concernent notamment les axes des vallées**. Certaines vallées alluviales continuent en effet à se transformer en corridors urbains autour des agglomérations du bassin notamment le long des grands cours d'eau (Seine, Marne, Oise et Aisne), ce qui accroît la vulnérabilité aux inondations et réduit la capacité de mobilisation des zones d'expansion des crues.

Au final, les changements diffus d'occupation du sol interfèrent avec le fonctionnement hydrologique actuel du bassin :

- **L'augmentation des surfaces imperméabilisées induit une diminution de l'infiltration de l'eau, entraînant une concentration des écoulements**. Par exemple, le SIVOA témoigne du fait que l'urbanisation croissante de la vallée de l'Orge aval a augmenté d'une part l'aléa inondation, d'autre part la vulnérabilité des populations et activités. Aujourd'hui, sur la zone SIAAP (Paris et une partie de l'Île-de-France), la « surface active »¹² est évaluée à 254 km². **Sur cette zone, l'augmentation de la surface imperméabilisée sur la période 1996-2010 est évaluée à 4 % alors que la ville de Munich, par exemple, a réussi sur la même période à réduire de 6 % ses surfaces imperméabilisées ;**
- La création de grandes infrastructures de transport fluvial modifie les flux d'échange avec les nappes et donc le comportement des nappes souterraines. Si ce sujet est identifié, leur impact est difficile à évaluer avec précision avec les outils existants ;
- **Certaines pratiques agricoles et forestières** (type et rotation des cultures, arasement des haies, retournement des prairies, tassement des sols avec la mécanisation, compactage dû aux sols laissés nus en interculture, diminution des teneurs en matières organiques du fait des faibles restitutions aux sols, vie des sols affectés par les intrants) **diminuent le pouvoir stockant et infiltrant des sols**, contribuant au ruissellement plutôt qu'à l'infiltration plus particulièrement pour les événements de faible fréquence et augmentant le risque de sécheresse hydrique des sols. Le drainage agricole accélère également les écoulements de sub-surface avant saturation des capacités de drainage. Sur certains départements du bassin, plus de 50% des SAU¹³ sont drainées;
- **Le recalibrage, la rectification et le curage des cours d'eau entraînent des accélérations des écoulements**, comme en témoignent les bassins versants de l'Armançon ou encore du Loing amont, où la rectification de certains affluents du Loing (Bezonde notamment) a pu générer une

¹² Surface qui contribue au ruissellement : il s'agit de la surface urbaine pondérée raccordée aux réseaux d'assainissement et pluviaux. La pondération consiste à affecter un coefficient de ruissellement propre à chaque type de revêtement.

¹³ Surface Agricole Utile (terres arables).

augmentation de la propagation de la crue en juin 2016 ; **ils peuvent par ailleurs conduire à des érosions néfastes du fond et des berges des cours d'eau pouvant dans certains cas entraîner à l'aval des colmatages de systèmes de drainage ;**

- **La disparition des prairies dans les lits majeurs au profit des cultures avec la crise de l'élevage** accroît la vulnérabilité des territoires aux aléas climatiques (par exemple, le bassin de l'Armançon). Sur l'ensemble du territoire, le recul tendanciel des prairies permanentes au profit des grandes cultures risque d'aggraver les tensions pour les étiages, d'autant que les prairies sont remplacées par du maïs dans certaines zones, ce qui risque de donner lieu à des projets d'irrigation sans que les ressources soient disponibles. Dans le même temps, le basculement de l'élevage vers les grandes cultures est de nature à augmenter les dommages d'une crue sur terrains agricoles, en particulier dans le cas d'une crue tardive comme celle de mai-juin 2016 ;
- **La réduction des infrastructures écologiques (disparition des haies...)** depuis plusieurs décennies accélère les écoulements de surface y compris en temps de crue ;
- **Plus globalement, le fonctionnement hydrologique et écologique du bassin versant est altéré par les divers aménagements et par l'occupation du sol**, en particulier par la disparition des zones humides et des zones d'expansion de crues. Sur le Loing amont, l'effet de la raréfaction des zones humides, en particulier sur les affluents rive gauche du Loing, aurait selon certains acteurs aggravé les dommages causés par les événements de mai-juin.

IV- Par rapport à quels risques veut-on améliorer la gestion hydrologique ?

Il s'agit de mieux protéger, à un coût acceptable, les personnes et les biens par rapport aux crues moyennes (période de retour 50/100 ans), qui en général surviennent alors que les sols sont saturés, et de manière plus sûre pour des crues fréquentes (30/20 ans) et très fréquentes (environ 5 ans). Il s'agit par ailleurs de mieux gérer les étiages sévères, tardifs ou répétitifs qui perturbent voire mettent en danger les activités du bassin et entraînent des dommages économiques importants.

Il est en effet illusoire et déraisonnable de vouloir protéger tout le bassin contre des événements plus rares (comme souligné par le comité d'experts, annexe 13), qui relèvent de situations climatiques tout à fait exceptionnelles et dont l'ampleur est sans commune mesure avec les capacités de gestion du bassin. Dans ces cas extrêmes, les mesures de gestion de crise et de résilience prévalent, ainsi que le recours à l'assurance (et à la garantie illimitée de l'État). Le renforcement de la résilience de la culture du risque sont d'ailleurs des axes forts du PGRI.

L'OCDE évalue par exemple les dommages directs sur l'Île-de-France d'une crue de type 1910 entre 3 et 30 milliards d'euros, sans compter l'impact macroéconomique sur la croissance du PIB (annexe 8), tandis que l'IAU estime qu'environ 435 000 logements sont potentiellement exposés à une crue de type centennale, essentiellement dans les départements de la petite couronne, le Val-de-Marne étant considéré comme le territoire le plus sensible.

Les inondations peuvent également entraîner des pollutions graves lorsque des friches industrielles ou des zones de stockage de produits dangereux sont touchées. Les périodes de crues à fortes pluies peuvent entraîner, si les stations anti-crues des réseaux d'assainissement sont dépassées, un débordement des réseaux dans les villes et le dysfonctionnement des stations d'épuration.

En termes de risques liés aux étiages, et au regard des informations disponibles à ce stade, outre les tensions entre usagers de l'eau, pour la dilution des rejets du SIAAP, un débit inférieur à 95 m³/s à

Paris entraîne des problèmes de dilution des rejets des stations et en particulier un risque de dégradation de la qualité du point de vue des nitrites¹⁴, toxiques pour la faune aquatique.

La connaissance de ces événements est-elle suffisante ?

Les inondations importantes passées sont assez bien connues, mais l'image des crues lentes venant de l'amont du bassin a occulté, dans la mémoire collective fortement marquée par 1910, la compréhension que des crues des bassins intermédiaires, comme celle de mai-juin 2016, ont des vitesses de formation et de propagation plus élevées. Les crises d'étiage graves sont beaucoup moins bien connues, le bassin étant moins exposé que d'autres jusqu'alors. Les auditions montrent en particulier que manquent des scénarios simulant des successions d'années sèches.

Que permettent déjà les outils existants ?

Outils combinant la régulation des crues et le soutien d'étiage

Les quatre lacs-réservoirs, Marne (lac du Der), Seine (lac de la Forêt d'Orient), Aube (lacs Amance et du Temple) et Yonne (lac de Pannecière), sont les instruments permettant à l'EPTB Seine Grands Lacs de contribuer à la gestion du risque inondation en écrêtant les crues et de soutenir le débit des rivières pendant la saison sèche sur ces cours d'eau (voir annexe 9).

En comptant les volumes supplémentaires réservés pour les grands lacs de Seine par les barrages du Crescent et du Bois-de-Chaumeçon (bassin versant de l'Yonne) gérés par Électricité de France (EDF), le volume total théorique des barrages situés en amont du bassin de la Seine s'élève à 830 millions de m³.

Les lacs-réservoirs n'évitent pas les débordements mais écrêtent les crues de plusieurs dizaines de cm. Leur action est limitée par leur position à l'amont des bassins versants (ils ne contrôlent que 17% de la surface amont de Paris) et de la période de l'année (cycle de remplissage et de vidange entre le 1^{er} juillet et le 1^{er} novembre, adapté en fonction de l'année en cours).

L'influence des lacs-réservoirs est sensible sur un large panel de crues allant des crues fréquentes (2 à 5 ans) aux crues rares, depuis leur aval immédiat, dès lors que ces événements concernent les bassins qu'ils contrôlent. La diminution des hauteurs d'eau est variable en fonction des sites et des crues, et peut atteindre localement plus d'un mètre. A Paris, la diminution des niveaux d'eau est de 20 cm pour une crue type 1982 et de 80 cm pour une crue type 1955. Pour une crue type janvier 1910 (8,6 m à Paris), la diminution attendue des niveaux grâce aux lacs-réservoirs serait de l'ordre de 65 cm.

Durant une période qui peut aller de la mi-mai à la mi-décembre suivant les années, les lacs-réservoirs restituent l'eau stockée pendant l'hiver et le printemps pour soutenir les débits des principales rivières du bassin (Marne, Aube, Yonne et Seine). Le débit maximal de soutien des quatre lacs représente près de 70 m³/s en août et constitue de 20 à 80 % du débit des rivières entre l'amont et l'aval du bassin. **En moyenne, chaque année 50 à 70 % de l'eau traversant la zone urbanisée de la région parisienne en période d'étiage est fournie par ces ouvrages.**

¹⁴ Une interruption temporaire de la dénitrification dans les stations permet de diminuer le risque d'intoxication de la faune par les nitrites ; cependant cela accroît les flux de nitrates vers le littoral, ce qui peut entraîner des phénomènes d'eutrophisation accompagnés parfois de blooms phytoplanctoniques toxiques en mer. A plus long terme, la collecte séparative des urines, expérimentée dans certains pays, est envisagée dans les logements neufs, mais cela implique un fort changement de la réglementation mais surtout des usages quotidiens qui ne peut s'envisager que dans un temps très long.

Selon le contexte hydrologique, un débit de 80 m³/s ne peut être garanti chaque année (donc en deçà du besoin de dilution du SIAAP). Les autres points critiques du soutien d'étiage du point de vue de la gestion des lacs-réservoirs (centrale EDF de Nogent-sur-Seine, et débit à Gournay sur la Marne pour les producteurs d'eau) sont actuellement assurés, ce qui suffit généralement pour garantir la satisfaction des autres usages.

La « double gestion » crue/étiage limite fortement l'efficacité d'une intervention sur les crues fortes de printemps.

Outils propres à la gestion des crues et des inondations

Plusieurs bassins ont misé sur le ralentissement dynamique, en équipant des zones d'expansion de crues, notamment l'Entente Oise-Aisne, qui depuis l'orientation prise à la suite des inondations de 1993 et 1995 a aménagé les sites de :

- Longueil-Sainte-Marie (inauguré en 2009) : 5 casiers (dont certaines parties en étangs) indépendants avec remplissage dynamique gravitaire (avec abaissement préventif en cas de crue) pour une capacité totale de 15 Mm³ (une part importante des 100 Mm³ potentiels du bassin). Efficacité : 18 cm maximum sur des crues de 20 à 50 ans. Coût : 10 M€ pour 90M€ de dommages évités à chaque remplissage (estimation Entente Oise Aisne)
- Proisy (inauguré en 2009), route doublée par une digue surélevée de 5 m. Remplissage dynamique gravitaire estimé à 4 Mm³ (adapté pour la crue cinquantennale). Coût : 8 M€ pour 70 M€ de dommages évités à chaque remplissage (estimation Entente Oise Aisne).

Ce type d'ouvrage qui peut laisser passer les petites crues est favorable au fonctionnement naturel des cours d'eau et au maintien de la culture du risque.

En lien avec ces aménagements, l'Entente Oise-Aisne installe et indemnise les occupants (notamment les activités agricoles) par des servitudes pour sur-inondation dans les zones de surstockage des crues (précisions sur les servitudes pour surinondation en annexe 10).

Les bassins de l'Armançon et de l'Yerres ont fait des études pour développer des zones d'expansion des crues dans le cadre de leur Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI). Dans le département de l'Aube, des aménagements d'hydraulique douce et un bassin d'orage ont été réalisés en partenariat avec la chambre d'agriculture, qui ont permis de limiter les inondations.

La remise en eau de la zone d'expansion des crues de la Bassée aval fait l'objet de nombreuses études depuis une dizaine d'années. Le site pilote de la Bassée, première phase de ce programme d'aménagement conduisant à stocker temporairement de l'eau dans cette ancienne zone inondable est en cours d'étude dans le cadre du PAPI de la Seine et de la Marne franciliennes pour une enquête publique prévue en 2019.

Depuis le milieu des années 2000, les **PAPI, outils de contractualisation entre l'État et les collectivités, permettent la mise en œuvre et le financement d'une politique de gestion intégrée du risque inondation, à l'échelle des bassins versants**¹⁵. Les actions mises en œuvre dans les PAPI doivent couvrir l'ensemble du champ de la gestion intégrée : ouvrages de protection mais aussi toutes les autres mesures non structurelles (information, culture du risque, prise en compte du risque dans

¹⁵ À ce jour en France, 127 Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) et projets d'endiguements hors PAPI (dans le cadre du Plan Submersions Rapides) ont été labellisés pour un montant global de 1.463 Md€ dont 573 M€ d'aide de l'État, ils ont notamment permis le renforcement de 530 km de digues.

la planification urbaine, prévision et gestion de crise...). Le PAPI de la Seine et de la Marne franciliennes comprend une étude d'homogénéisation des niveaux de protection (murettes) à l'échelle de Paris et de la petite couronne, et une étude d'identification des zones potentielles d'expansion des crues à mobiliser (en conservant, restaurant ou aménageant les zones potentielles).

Il est important de rappeler que les méthodes actuelles de conception et de dimensionnement des ouvrages conduisent généralement à surévaluer l'efficacité réelle des ouvrages. En effet, les ouvrages sont généralement calés sur des événements historiques alors que les conditions réelles sont différentes (voir annexe 13) : un dispositif de gestion des crues ne sera pas aussi efficace sur un événement réel car la localisation et la période des pluies, les conditions de saturation et d'occupation des sols seront différentes. Par ailleurs, la gestion réelle des dispositifs ne pourra pas être parfaite (délai dans la manœuvre de vannes, mise en place de batardeaux...) et pourra souffrir d'imprévu.

Outils stratégiques et de planification à l'échelle du bassin

Pour ce qui concerne les inondations, et en application de la Directive européenne du même nom, le bassin Seine-Normandie s'est également doté d'un **Plan de gestion des risques d'inondations (PGRI) qui vise à réduire les conséquences des inondations, sur la base d'une vision partagée des risques et une priorisation de l'action au regard des enjeux.**

Sur le bassin Seine-Normandie, **16 territoires à risque important d'inondation (TRI), territoires exposés aux aléas de débordement de cours d'eau, de submersion marine et de ruissellement** ont été définis par arrêté. Ils concernent 376 communes qui rassemblent 70 % de la population et 72 % des emplois exposés au risque sur le bassin. A l'échelle de chacun des TRI, et plus largement à l'échelle conjuguée du bassin de gestion du risque et du bassin versant, une Stratégie Locale de gestion du risque d'inondation (SLGRI) a été élaborée et sera mise en place fin 2016 pour décliner à une échelle adaptée les objectifs du PGRI.

Les groupements de collectivités locales du bassin sont engagés dans une dynamique de Programmes d'action pour la prévention des inondations (PAPI), dispositif contractuel entre le porteur d'une stratégie sur le territoire, les maîtres d'ouvrages d'action et les financeurs. Ce dispositif a vocation à se développer plus avant en particulier pour mettre en œuvre de manière opérationnelle les SLGRI qui doivent être approuvées fin 2016 et regroupe les principaux enjeux. Les PAPI sont la principale source de financement de la politique de prévention des inondations via le fonds Barnier qui permet de financer jusqu'à 50 % la politique de prévention des inondations. Une prise de conscience du risque et une véritable culture de la prévention doivent cependant se développer pour permettre aux collectivités et aux autres décideurs des territoires de se mobiliser.

Le SDAGE 2016-2021, via son défi 8 commun au PGRI et certaines de ses dispositions propres contribuant aussi à la prévention des inondations, constitue également un outil de gestion du risque inondation à travers la nécessité d'identifier des zones d'expansion des crues, la compensation des installations en lit majeur des cours d'eau, l'accent à mettre sur les techniques de ralentissement dynamique des crues et d'amélioration de gestion des eaux pluviales.

Les sécheresses et les étiages donnent lieu à un dispositif de directives et schémas moins développés, du fait de l'histoire du bassin. **Le SDAGE et les SAGE comportent des mesures de gestion de la rareté.** Le défi 7 du SDAGE en particulier développe des objectifs de définition des volumes maximaux prélevables, d'adaptation des prélèvements à la ressource disponible et des modalités de gestion adaptées à certaines masses d'eau à risque. Par ailleurs, les **arrêtés sécheresse** entraînent la

diminution voire l'arrêt de certaines activités comme la navigation ou l'irrigation, les usages industriels ou en cas d'étiage grave mais l'utilisation des outils de prévision d'étiage est améliorable.

En termes de lien entre aménagement du territoire et risques d'étiages, **l'évolution de l'occupation des sols entre les années 70 et fin 90 (notamment, l'intensification des cultures céréalières, plus consommatrices d'eau) aurait entraîné une diminution de 4% du volume de ruissellement et d'infiltration sur le bassin**, d'après des simulations réalisées à l'Université Pierre et Marie Curie¹⁶. Les simulations effectuées en conditions de changement climatique sur le bassin montrent qu'une augmentation de la surface en prairies permet d'atténuer la diminution des débits et de diminuer la fréquence de dépassements des niveaux de crise pour les nappes.

Outils opérationnels et contractuels à l'échelle des sous-bassins

Les PAPI et les contrats globaux d'action¹⁷ constituent des outils opérationnels de contractualisation entre l'État, l'agence de l'eau et les collectivités porteuses pour décliner les stratégies de bassin à l'échelle pertinente des sous-bassins.

V- Typologie des leviers d'amélioration de la gestion hydrologique

La typologie suivante permet de structurer les leviers d'amélioration et constitue un sommaire des recommandations qui sont présentées plus dans le détail dans la partie suivante du rapport.

A – Restaurer les capacités naturelles d'infiltration et d'écoulement pour limiter le ruissellement de l'eau en zones rurale et sur les surfaces imperméabilisées

- **En zone rurale**, aménagements d'hydraulique douce (haies, zones enherbées, fascines,... cf. annexe 11a) et pratiques favorables à des sols plus filtrants sur l'ensemble du territoire ;
- **Désimperméabilisation** de surfaces qui n'ont plus lieu d'être imperméables ;
- **Compensation systématique des surfaces imperméabilisées** dans les nouveaux projets d'aménagement ;
- **En zone urbaine**, développement des toitures végétalisées, noues... (cf. annexe 11b) pour une gestion des eaux pluviales adaptée ;
- **Restauration des fonctionnalités des zones humides** sur l'ensemble du bassin.

B- Préserver et restaurer les zones d'expansion des crues (ZEC)

- **Restauration des fonctionnalités des cours d'eau et leurs annexes hydrauliques ainsi que les zones humides alluviales** sur l'ensemble du bassin ;
- **Identification, caractérisation et conservation des zones d'expansion des crues naturelles** (lits majeurs des cours d'eau) (annexe 12) ;
- **Aménagement de certaines ZEC anthropisées pour optimiser leur contribution** et mise en place de dispositifs associés d'indemnisation des propriétaires de terrains sur-inondés dans le cadre de stratégies locales ;

Point de vigilance : les aménagements dans le lit majeur et le retournement des prairies réduisent les possibilités d'expansion des crues.

¹⁶ Dans le cadre du projet de l'ANR ORACLE : Opportunités et Risques pour les Agro-écosystèmes et les forêts en réponse aux changements Climatique, socio-économiques et politiques en France (et en Europe) (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/?Projet=ANR-10-CEPL-0011>).

¹⁷ L'AESN contribue à la réalisation des travaux prévus au programme du SAGE préférentiellement dans le cadre de contrats globaux d'actions (outil de planification pluriannuel à caractère prévisionnel, cf. <http://www.eau-seine-normandie.fr/index.php?id=7696>).

C- Réguler les débits par des ouvrages dédiés

- **Ouvrages à double finalité** (prévention des inondations et soutien au débit d'étiage) – exemple des « grands lacs de Seine » ;
- **Ouvrages à finalité de prévention des inondations** : exemple du projet des casiers de la Bassée ou de l'ouvrage de régulation de Proisy ;
- **Ouvrages à finalité de soutien au débit d'étiage** : retenues, recharge artificielle des nappes.

D- Réduire la vulnérabilité des territoires et des activités

- **Limitation de la construction en zone inondable** (mesures réglementaires, fiscales, tarifs d'assurance...) ;
- **Développement de techniques résilientes** de construction et d'aménagement en zones inondables constructibles ;
- **Amélioration de la résilience des réseaux** (transports, télécommunication, énergie, eaux usées et eau potable) à la crue ;
- **Développement des pratiques industrielles et agricoles moins consommatrices d'eau** et facilitant l'infiltration d'eau et adaptées aux sécheresses ou inondations ;
- **Amélioration des dispositifs de prévision et de gestions de crise** (épisodes de sécheresse, crues sur les petits bassins versants) et développement de la culture du risque sur les inondations et les étiages.

VI- Pistes d'amélioration de ces différents leviers à l'échelle du bassin

La première recommandation est d'élaborer et de tenir à jour un tableau hiérarchisé de l'ensemble des projets connus de réduction des aléas inondation et sécheresse sur le bassin de la Seine en y indiquant à chaque fois, les coûts et bénéfices attendus. Ce tableau figure en annexe 14 du présent document. Les projets d'ouvrages portés par les EPTB Seine Grands Lacs et Entente Oise Aisne donnent lieu à des fiches par projet, en annexe 15.

Il s'inscrit dans un plan d'actions et d'études plus globales présenté ci-après. Ce plan d'actions a été construit sur la base des auditions et réunions de concertation réalisées, et a bénéficié de la contribution d'un groupe d'experts piloté par le CEREMA, dont le rapport figure en annexe 13.

Par ailleurs, la carte en annexe 16 situe les principaux projets structurants, tandis que l'annexe 17 montre leur complémentarité par rapport à différents événements de référence (crues, étiages historiques).

Cette complémentarité doit se retrouver dans une approche équilibrée et solidaire entre l'amont et l'aval, entre l'urbain et le rural, entre les actions préventives et actions curatives.

Ces différentes propositions ont été présentées et discutées lors d'une réunion du conseil d'administration extraordinaire de l'agence de l'eau élargi aux principales collectivités concernées le 9 novembre 2016¹⁸.

¹⁸ Le procès-verbal de cette réunion est disponible sur <http://www.eau-seine-normandie.fr/index.php?id=7792>

Levier A : Restaurer les capacités naturelles d'infiltration et d'écoulement pour limiter le ruissellement en zone rurale et sur les surfaces imperméabilisées

Il semble en premier lieu important de favoriser l'alimentation des nappes par infiltration naturelle, pour soutenir l'étiage, lutter contre les pénuries d'eau et limiter les inondations et les crues. Cela peut se faire en favorisant des types d'occupation du sol plus drainants, des aménagements optimaux d'hydraulique douce sur les chemins d'écoulements préférentiels des versants à l'échelle des parcelles et le long des thalwegs (zones boisées ou enherbées en fonds de vallées) et en favorisant les zones humides. Pour être efficace, ce type d'action doit être généralisé à l'ensemble du bassin.

Dans les zones urbaines¹⁹ (représentant 7% de la surface totale du bassin en amont de Paris), les ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source contribuent dans une moindre mesure à la réduction du ruissellement global (contrairement aux sous-bassins fortement urbanisés et à l'échelle plus locale), mais participent à la régulation des débits ruisselés (en limitant aussi la pollution rejetée), à l'humidification des sols (espaces végétalisés) et à l'atténuation de l'effet « îlots de chaleurs » en ville.

Ainsi, les aménagements d'hydraulique douce (idéalement surfaces en herbe combinées à des haies et fascines en amont), pour l'instant peu développés sur le territoire considéré, permettraient de jouer sur les crues fréquentes (3-4 ans de période de retour), avec par ailleurs des effets positifs en termes de biodiversité, de qualité de l'eau, de limitation de l'érosion, de l'aléa coulées de boues et des inondations locales par ruissellement (annexe 11a). Il est à noter que les drains ont un effet sur les crues qui diffère selon l'intensité des pluies²⁰. Pour les dispositifs de type bandes enherbées, une couverture de 3% des SAU (hors prairies) permettrait selon les études disponibles de ralentir et de réduire le ruissellement de 5 à 25% environ²¹. Ainsi, une estimation réalisée par l'Université Pierre et Marie Curie montre que, généralisés à l'ensemble du bassin de la Seine à Paris, de tels dispositifs auraient permis de réduire entre 125 et, au maximum, 680 millions de m³ les volumes écoulés lors de l'épisode de mai-juin 2016 (soit entre 15 et 78% du volume de stockage des lacs-réservoirs). Les haies auraient une meilleure efficacité que les bandes enherbées pour une surface occupée environ deux fois plus faible (leur impact sur les cultures dépassant néanmoins leur emprise au sol). Il est à noter que les zones « infiltrantes » naturelles (prairies, forêts) et les aménagements d'hydraulique douce (hors situation des pluies fortes et exceptionnelles), jouent un rôle prépondérant dans la recharge annuelle et pluriannuelle des eaux souterraines, ces derniers constituant une réserve importante en eau et contribuant fortement à l'alimentation de la majorité des rivières du bassin en période d'étiage.

L'artificialisation des sols pourrait être contenue, et tout nouvel aménagement devrait chercher à permettre l'infiltration de l'eau au maximum dans le sol (en évitant toutefois le risque de pollution des nappes). Par ailleurs, sachant que la majeure partie du territoire considéré est dévolue à l'agriculture, **des pratiques agricoles ayant fait leur preuve en matière d'augmentation de la réserve**

¹⁹ Cf. annexe 11b.

²⁰ Accentuation des crues pour des périodes de retour compatibles avec le dimensionnement du réseau de drainage (1 à 2 ans de période de retour des pluies), autolimitation et stockage dans le réseau et les parcelles pour des pluies de périodes de retour de 5 à 10 ans, et effet neutre au-delà de 10 ans.

²¹ Cf. annexe 11a. L'hypothèse basse correspond à 5% de ruissellement retenue pour les fortes pluies continues. L'hypothèse « haute » est basée sur 25% de rétention du ruissellement pour une pluie de 25 mm/h (hypothèse optimiste pour la situation de mai-juin 2016, où une partie des sols a été saturée). A noter toutefois que les précipitations maximales observées les 30 et 31 mai 2016 sont restées inférieures à 80 mm/jour, sans dépasser 10 mm/h (MÉTÉO-France).

utile du sol et de l'infiltration (couverture systématique des sols, augmentation de la teneur en matière organique, pratiques limitant le tassement des sols...) sont à généraliser. A titre d'estimation, si on considère que 0,2% de la surface agricole est effectivement tassée (ce qui constitue une hypothèse basse), cette surface est susceptible de générer lors d'un épisode du type de mai-juin 2016 un ruissellement local de l'ordre de 48 millions de m³. Sur le bassin de la Marne, un scénario théorique consistant à remplacer les terres cultivées par des prairies dans le lit majeur sur 80 km entre St-Dizier et Épernay a été testé : cela permettrait d'écarter les crues de Saint-Dizier à l'aval du bassin et de ralentir les écoulements sur le tronçon modifié, avec en conséquence une surélévation de la lame d'eau sur ce tronçon alors qu'à l'aval les niveaux d'eau sont au contraire abaissés de 5 à 17 cm à Damery. Si ce test montre l'importance de l'occupation du sol dans le lit majeur pour atténuer l'aléa, il montre aussi qu'imposer des prairies en lit majeur ne suffit pas à contrecarrer complètement les crues.

En **zone urbaine**, un développement de la gestion des eaux pluviales à la source menant à la diminution de 17% de surfaces actives (sur le bâti existant et nouveau) aurait pu permettre de réduire le volume d'environ 1,5 millions de m³ pendant un épisode pluvieux du type de mai 2016 (l'écoulement en zone urbaine étant estimé à 151 millions de m³ pour des pluies précipitées de l'ordre de 377 millions de m³ pour l'épisode de mai-juin).

ACTIONS

- A1 Rendre systématique la compensation hydraulique des nouveaux projets d'aménagement urbain (élaboration d'une doctrine de bassin par circulaire puis modification du SDAGE en 2021) ;
- A2 Recenser les surfaces imperméabilisées qui peuvent faire l'objet d'une désimpermeabilisation dès que possible, y compris dans les zones urbaines existantes et accompagner (agence de l'eau) les projets innovants de désimpermeabilisation et de gestion des eaux pluviales ;
- A3 Réinstaurer l'obligation de fournir dans le dossier de permis de construire une pièce sur la gestion des eaux pluviales assurant une meilleure gestion à la source ;
- A4 Impulser la planification des actions et aménagements en hydraulique douce des zones rurales à l'échelle spatiale cohérente des bassins versants et porter largement à la connaissance des acteurs du territoire les objectifs poursuivis. A court terme, lancer un appel à projets de l'agence de l'eau sur des projets d'hydraulique douce ;
- A5 Stabiliser et simplifier l'accompagnement agro-environnemental, pour des pratiques favorisant l'infiltration, tout en le rendant plus incitatif ; conditionner le maintien des aides de l'AESN pour les SAGE et les contrats à l'existence d'un volet sur la généralisation des bonnes pratiques de gestion du ruissellement et de l'infiltration à la parcelle. Concernant l'hydraulique douce urbaine, étudier une fiscalité incitative (outil efficacement déployé à Munich) ;
- A6 Mettre en place un suivi annuel de la réalisation des zonages pluviaux annexés aux PLU.

ETUDES

- A7 Faire tourner les modèles bio-climatiques utilisés à l'Université Pierre et Marie Curie « en hautes eaux », en lien avec le service de prévision des crues pour (i) analyser l'effet de la végétation sur les hydrogrammes de crues (les résultats attendus pour différents territoires du bassin) et (ii) simuler l'effet sur les écoulements d'une augmentation de l'imperméabilisation du bassin, en particulier sur la région parisienne ;

- A8 Développer les connaissances sur la recharge naturelle des nappes et les relations nappes-rivières, et évaluer quantitativement les bénéfices et méthodes de recharge naturelle des nappes par amélioration des capacités d'infiltration en milieu rural ou urbain ;
- A9 Poursuivre les études (y compris modélisation) pour mieux quantifier l'efficacité de l'hydraulique douce sur les crues et les étiages, et affiner les outils de changement d'échelle pour en déterminer l'efficacité réelle à différentes échelles spatiales ;
- A10 Réaliser une reconstitution historique météorologique et culturelle remontant aux années 1940 afin de tenir compte des très forts changements agricoles des années 50/60 (notamment évolution des rendements et de l'impact des pratiques sur les sols), pour améliorer les projections dans le futur et avoir des éléments de comparaison par rapport à des ambitions de modifications de pratiques agricoles et d'occupation du sol.

Levier B : Préserver et restaurer les zones d'expansion des crues (ZEC)

Les zones d'expansion des crues naturelles actuelles pourraient être inventoriées et préservées. Celles qui sont investies en partie par des activités anthropiques peu sensibles pourraient être utilisées en cas de crue, avec des indemnités à l'appui pour les propriétaires en cas de sur-inondation notamment (cf. annexes 10 et 12). En effet, la capacité de stockage des ZEC est importante, cependant, plus de 50% des terrains inondables sont fortement anthropisés.

ACTIONS

- B1 Réaliser une cartographie des champs d'expansion des crues fonctionnels naturels ou peu anthropisés pour assurer leur préservation ou leur restauration dans les documents d'urbanisme ; identifier les ZEC potentiellement aménageables pour améliorer leur fonctionnalité, en tenant compte des trajectoires d'évolution de l'aménagement du territoire (cf. annexe 7). L'Agence de l'eau peut accompagner cette action ;
- B2 Pour les ZEC anthropisées ne pas réaliser de protections de berges en dehors des zones à enjeux majeurs tels que les ponts, les infrastructures routières, certains barrages, etc., afin de garantir la pérennité des processus géodynamiques, et éviter la construction de toute infrastructure pouvant nécessiter des protections de berges à court ou moyen terme ;
- B3 Clarifier la réglementation existante en matière de servitudes d'utilité publique dans les zones d'expansion des crues et l'améliorer si besoin, tout en veillant à ce que les pratiques culturelles intègrent l'inondabilité de la zone. Etudier également les possibilités de servitudes conventionnelles et contractuelles afin de préserver et/ou améliorer la fonctionnalité des zones d'expansion des crues ;
- B4 Mobiliser les opérateurs fonciers (SAFER, EPFN...) pour l'acquisition privilégiée des terrains en ZEC au moyen de convention ;
- B5 Définir des protocoles entre autorités de gestion des inondations et chambres d'agriculture pour faciliter la procédure d'indemnisation en cas de surinondation en cohérence avec le guide publié par les ministères de l'agriculture et de l'environnement ;

- B6 Modifier le programme d'aides de l'agence de l'eau pour systématiser l'aide à l'identification et à l'indemnisation en zones de surinondation en lien avec les travaux menés au niveau national à ce sujet ;
- B7 En ce qui concerne l'indemnisation des exploitations agricoles lors de calamités (inondations, précipitations, sécheresse), identifier d'éventuelles déficiences du secteur assurantiel dans les zones inondables et étudier la mise en place de fonds d'indemnisation (ministère de l'agriculture, et localement démarche engagée par le département de Seine et Marne).

ETUDES

- B8 Faire un bilan hydrologique des capacités d'absorption et de restitution de la zone amont de la Bassée.

Levier C : Réguler les débits par des ouvrages dédiés

Il convient de réfléchir sans tabou à toutes les situations possibles. En termes d'ouvrages, les projets suivants ont été examinés dans le cadre de cette étude. Les principaux éléments d'analyse pour chacun d'eux sont les suivants :

- Les casiers de la Bassée (annexe 15A) ont fait l'objet d'un débat public en 2011-2012. Cette option a été largement étudiée et apparaît pour l'EPTB Seine Grands Lacs comme la plus opportune pour réduire l'onde de crue de la Seine en aval de la confluence avec l'Yonne, et donc d'abaisser le niveau de la crue à Paris. Pour le site pilote, le planning actuel repose sur la réalisation des études de conception et des études d'impact pour une enquête publique en 2019 et une mise en service du site pilote à l'horizon 2023. La réalisation de l'ouvrage complet dépendra du retour d'expérience de cette première phase ;
- 65 sites de ralentissement dynamique (annexe 15B) ont été étudiés sur le bassin de l'Yonne (digues de faible hauteur et pertuis dans le lit mineur). Ils s'avèrent surtout avoir un intérêt local ; leur efficacité par rapport à l'agglomération parisienne est discutable (augmentation de la probabilité de rencontre des ondes de crue Seine et Yonne) ;
- 25 sites initialement à « double objectif » ont été étudiés également sur le bassin de l'Yonne (annexe 15J), parmi lesquels 8 ont été retenus avec l'objectif gestion de crue (le soutien d'étiage, à l'époque, étant prévisionnellement assuré par le projet du lac des Côtes de Champagne) ; il semble que l'Yonne ne soit pas globalement l'option la plus prometteuse pour le soutien d'étiage pour des raisons géologiques, sauf peut-être en aval ;
- Le lac des Côtes de Champagne (annexe 15K), avec un double objectif crue-étiages a été envisagé dans les années 90. En 1997 l'utilité publique de ce projet avait été remise en cause, compte tenu de la destruction de centaines d'hectares de zones humides classées, et alors qu'on tablait sur une baisse du nombre d'habitants à Paris et une limitation du développement de l'Île-de-France. Les études à actualiser pour ce projet seraient nombreuses compte tenu notamment des évolutions réglementaires intervenues depuis les premières études : études d'impact et recherche de mesures compensatoires en application de la séquence éviter-réduire-compenser, étude de dangers, étude coûts –bénéfices, en intégrant les nouveaux modèles disponibles pour simuler l'hydraulique en aval jusqu'à Paris ; compte tenu de son ampleur, le projet serait soumis à débat public puis enquête publique.

Parallèlement, des projets d'amélioration des dispositifs semblent intéressants à poursuivre :

- La réhabilitation et la mise à niveau du dispositif de protection localisée (digues, murets et fermetures des passages sous remblais, annexe 15G) à Paris (par rapport à une crue du type 1910) et en Petite Couronne (par rapport à une crue du type 1924) ;
- Au niveau du lac-réservoir de la Marne, une revanche de stockage pourrait être gagnée sans aménagements nouveaux. Ce point pourrait être étudié via une simple évolution des consignes de crue ;
- Les débits cibles et règlements d'eau des lacs-réservoirs sont à l'étude pour être améliorés. L'amélioration peut être importante pour le soutien d'étiage tardif, sans dégrader l'action en période estivale. A titre d'exemple pour l'axe Marne, la révision du règlement d'eau permettrait de diminuer le nombre de jours sous le seuil d'alerte (23 m³/s) à Gournay de l'ordre de 540 j avec la gestion actuelle à environ 70 jours pour la gestion proposée (sur la période du 1^{er} novembre au 31 décembre sur 110 années) ;
- Travailler sur la saisonnalité (sécheresse comme inondation), en priorisant les enjeux. Exemple du lac-réservoir de la Seine : les zones urbaines de Troyes peuvent supporter sans dommage le transit d'un débit de 160 m³/s, grâce au système de by-pass qui permet de protéger les zones les plus vulnérables situées en amont de l'agglomération. En revanche, un tel débit est susceptible de créer des dommages importants sur les cultures situées dans la vallée en aval. C'est pourquoi, les débits maximum de restitution sont fixés à des valeurs très inférieures (jusqu'à 40 m³/s) pendant les périodes de forte vulnérabilité agricole. Ces choix mériteraient d'être encore affinés en tenant compte des différents enjeux ;
- Par ailleurs, il est possible d'accroître l'efficacité de l'ouvrage Seine en augmentant la capacité des canaux de restitution. Cette possibilité n'aura qu'une incidence locale en amont de l'agglomération de Troyes.

En termes d'amélioration du soutien d'étiage, sur les axes déjà régulés, la création de nouvelles retenues ne paraît pas actuellement prioritaire d'après Seine Grands Lacs (les années sèches comme 2003, 2006 et 2011, les axes régulés ne sont pas ou peu concernés par des arrêtés sécheresses contrairement aux affluents ne bénéficiant pas du soutien d'étiage), sous réserve de phénomènes de succession d'années sèches. Le soutien des débits de l'axe Seine par la recharge active des nappes alluviales (annexe 15I) a été étudié.

D'autres options envisagées par Seine Grands Lacs semblent à écarter :

- Le tunnel de Gennevilliers (annexe 15C) coupant la boucle de Gennevilliers jusqu'au Port de Gennevilliers ne semble pas prioritaire au regard des coûts d'investissement et des incidences potentielles négatives à l'aval ;
- Un rehaussement des lacs-réservoirs actuels pour augmenter leur capacité a été écarté car très coûteux du fait des implications en termes de génie civil et des extensions surfaciques des retenues, pour une efficacité discutable ;
- Interconnexion entre les lacs-réservoirs Seine, Marne et Aube (annexe 15L) ;
- Canalisation des lacs-réservoirs vers la région Parisienne (annexe 15H).

Le tableau de l'annexe 14 reprend de façon synthétique les éléments techniques et financiers par projet en fonction des informations rassemblées dans le cadre de ce rapport.

ACTIONS

- C1 Accélérer la réalisation des projets suivants : optimisation des consignes de crues et règlements d'eau des lacs-réservoirs existants (annexe 15M); réalisation du casier pilote de la Bassée puis si le pilote est conclusif, de l'ensemble du programme de casiers de la Bassée (annexe 15A); ouvrages de ralentissement dynamique sur le bassin de l'Oise (annexe 15D à 15F) ; réhabilitation des dispositifs de protection localisée (Paris et petite couronne-annexe 15G). La maîtrise d'ouvrage de ces projets est en cours de consolidation dans le contexte GEMAPI entre la Métropole du Grand Paris et l'Établissement Seine Grands Lacs ;
- C2 Étudier un programme ambitieux de ralentissement dynamique et d'hydraulique douce sur l'Yonne (annexe 15B) à partir des différentes études déjà conduites, tout en étant particulièrement vigilant à ne pas augmenter le risque de synchronisation de la Seine et de l'Yonne ;
- C3 Engager dès que possible un débat public autour du programme d'aménagement cible à l'image de celui déjà mené sur la Bassée. L'EPTB Seine Grands Lacs pourra réaliser cette action dès 2017 ;
- C4 Mettre à jour les études d'opportunité nécessaires à la prise de décision sur le projet de lac des côtes de Champagne, au regard des effets prévisibles du changement climatique, dans une logique de fonctionnement double et en associant les acteurs locaux (annexe 15K) ;
- C5 Étudier en seconde priorité les projets de barrages sur l'Yonne (annexe 15J) en étant vigilant au risque de synchronisation avec les crues de la Seine ; expertiser et expérimenter l'efficacité et l'opportunité de recharge artificielle des nappes pour le soutien d'étiage (annexe 15I) ;
- C6 Renoncer pour l'instant aux projets suivants dont les coûts semblent supérieurs aux bénéfices : dérivation par tunnel de la boucle de Gennevilliers (annexe 15C) compte tenu de l'occupation du foncier ; rehaussement des lacs-réservoirs existants ; réalisation de canaux ou tunnels reliant les lacs-réservoirs à Paris (annexe 15H) ; interconnexion des lacs-réservoirs (annexe 15L) ;
- C7 Accompagner les collectivités locales dans l'émergence d'un EPAGE unique sur le bassin versant du Loing dont l'action sur ce territoire avec le reste du bassin amont de la Seine pourra être coordonné par l'EPTB Seine Grands Lacs ;
- C8 Encourager l'évolution nécessaire et l'élargissement de la gouvernance de l'EPTB Seine Grands Lacs : création du syndicat mixte au plus tôt ;
- C9 Réaliser une étude de parangonnage des politiques d'aménagements hydrauliques menées sur certains grands fleuves et leurs affluents, notamment en Europe et aux États-Unis, pour apporter un éclairage utile sur les méthodes et moyens de définir et d'assurer une cohérence d'ensemble aux aménagements.

ETUDES

- C10 Consolider la synthèse faite dans le présent rapport sur les éléments relatifs à différentes options susceptibles de gérer les fortes crues ;
- C11 Élaborer des jeux d'événements (pluie, périodes, sols, débits) couvrant de manière équilibrée le bassin afin de pouvoir tester la robustesse du système d'aménagement existant, d'améliorer les modalités de leur gestion et de tester un schéma optimisé d'aménagement à terme ;
- C12 Étudier l'utilisation du canal de Nogent-sur-Seine comme ouvrage évacuateur de crues, à l'issue de la mise à grand gabarit entre Bray-sur-Seine et Nogent-sur-Seine (y compris ses éventuelles conséquences négatives en aval) ;
- C13 Analyser la courbe de qualité de la Seine par temps sec dans un scénario de changement climatique ; Déterminer le débit minimum à Paris pour maintenir le bon état de la Seine pour l'ammonium et les nitrites ; Simuler l'effet d'une succession d'années sèches sur la gestion des étiages par les barrages ;
- C14 Réaliser une étude socio-économique et environnementale des conséquences des sécheresses intégrant une reconstitution historique des années sèches et une approche prospective (l'EPTB SGL est candidat pour piloter une telle étude en partenariat avec d'autres acteurs (INRA, BRGM, MétéoFrance, etc.) ;
- C15 Étudier l'opportunité puis le cas échéant la faisabilité d'utiliser les volumes des barrages réservoirs des canaux de navigation (par exemple les barrages de Grosbois, Pont-et-Massène, Panthier, Cercey, et des canaux du Nivernais et du Loing). Cette étude est à mener avec VNF et avec un soutien éventuel de l'Agence de l'eau.

Levier D : Réduire la vulnérabilité des territoires et des activités

Outre les actions de réduction de la vulnérabilité qui sont mises en œuvre dans les stratégies locales, il est nécessaire de développer une vision cohérente sur ce sujet à l'échelle du bassin.

Mieux anticiper un événement du type de mai 2016

Un travail est en cours entre l'Université Pierre et Marie Curie, le BRGM et Météo France pour améliorer les prévisions à 10 jours et saisonnières sur le comportement des nappes, en lien avec les cours d'eau. Il s'agit de mieux appréhender l'évolution lente des nappes et sa combinaison avec l'évolution rapide des cours d'eau, ce qui permettrait d'améliorer considérablement l'anticipation du type de conjonction advenue en mai 2016 (sols saturés, nappes hautes et pluies continues) et donc notamment d'en tirer des consignes de gestion mieux adaptées pour les barrages dans certaines situations et d'anticiper la mise en place des mesures de prévention pour maintenir les services et la sécurité.

De manière globale, il paraît souhaitable d'améliorer la gestion de crise quels que soient les aménagements envisagés.

Par exemple, il semble que le tronçonnement de Vigicrue à l'aval de Paris n'est pas assez précis comme l'a montré la gestion de crise lors de l'épisode du mois de juin sur l'aval du bassin. On pourra

notamment citer l'exemple de Vigi'Orge sur le bassin de l'Orge a, permis l'évacuation de 200 voitures sur un parking. Le dispositif de prévision des crues national géré par l'État ne pourra jamais couvrir tous les tronçons et il devra utilement être complété de dispositifs locaux, adaptés aux besoins des acteurs locaux.

En termes de culture du risque, si la communication et l'exercice grandeur nature SEQUANA sur la crue de 1910 ont été utiles collectivement, ils ne doivent pas pour autant occulter la communication sur d'autres types d'événements. Il pourrait être judicieux de communiquer sur des événements moins fréquents mais dévastateurs comme le fut l'épisode de 1982, ainsi que sur le risque d'étiage.

ACTIONS

- D1 Poursuivre l'amélioration des échanges de données en temps réel entre VNF et les Services de Prévision des Crues sur les manœuvres de barrage en début de crue et leur prise en compte dans les prévisions de crue ;
- D2 Améliorer le partage des connaissances et la collecte des données sur la sécheresse (INRA, chambres d'agriculture, BRGM etc.) et définir des indicateurs de caractérisation de l'état de sécheresse à l'échelle du bassin, en s'appuyant sur les réflexions en cours (groupe de travail animé par l'Association française pour la prévention des catastrophes naturelles) ;
- D3 Sensibiliser les agriculteurs à l'intérêt d'adapter les pratiques culturales et surtout les techniques d'irrigation pour anticiper une baisse de leurs prélèvements sur les ressources en eau et généraliser la diffusion des meilleures techniques disponibles sur la gestion de l'eau dans les secteurs artisanal et industriel. Une conférence de consensus avec les Chambres d'Agriculture peut démarrer rapidement ;
- D4 Encourager les acteurs locaux à développer des dispositifs de prévision des crues locaux, articulés avec le dispositif de l'État (Vigicrues) ; envisager une aide de l'agence de l'eau à ces dispositifs locaux ;
- D5 Assurer un suivi resserré de l'atteinte des objectifs du PGRI sur la réduction de la vulnérabilité (vis-à-vis des crues) et du SDAGE sur la régulation des usages (prélèvements et consommation notamment en étiage) ;
- D6 Lancer le grand prix de la culture du risque d'inondation du bassin Seine-Normandie et engager à sa suite un appel à projets sur ce sujet ;
- D7 Mettre en place un atelier presse et un cycle de formation sur les conséquences des étiages/sécheresse/pénurie d'eau et inondations pour sensibiliser la presse professionnelle, les acteurs économiques et les élus à ces thématiques ;
- D8 Développer la connaissance et la réflexion partagée sur les bassins versants des petits affluents pour construire des stratégies d'aménagement concertées prenant en compte la protection des enjeux locaux pour appuyer le développement d'une solidarité amont-aval sur le bassin. De nouveaux programmes d'aménagements sur l'amont du bassin de la Seine ne seront possibles et acceptés que si les populations locales y trouvent leur intérêt et sous réserve d'une évaluation multi-critères ; concrètement mettre en place un observatoire des étiages/sécheresses sur les petits affluent comme un outil d'aide à la décision et de sensibilisation des acteurs locaux ; envisager un soutien de l'agence de l'eau sur ces observatoires locaux ;
- D9 Maitriser l'urbanisation en zone inondable : intégrer la prise en compte des risques d'inondations dès la planification (documents d'urbanisme) et l'amont de la conception des aménagements, assurer de manière stricte le contrôle de la légalité des décisions d'urbanisme notamment dans les TRI et ainsi garantir la nécessaire application des PPRi, réviser ou harmoniser les PPR sur les TRI si nécessaire. Une circulaire du Premier Ministre aux Préfets serait bienvenue ;

- D10 Lorsque c'est inévitable, ou après un sinistre, construire ou reconstruire des bâtiments « résilients », c'est-à-dire capable de subir une inondation sans endommagement majeur, voire même sans nécessiter l'évacuation de leurs occupants. Cela implique la révision du système assurantiel qui actuellement rembourse la reconstruction à l'identique, sous réserve des dispositions du plan de prévention des risques naturels prévisibles (article L111-15 du code de l'urbanisme). Par ailleurs, une réflexion sur l'instauration d'un système « malus » en lien avec la fréquence des sinistres « inondation » pourrait être menée. Il pourra être envisagé de s'inspirer des travaux sur la charte « quartiers résilients » élaborée dans le cadre de la SLGRI Métropole Francilienne ;
- D11 Mettre en place une incitation voire une obligation à diminuer la vulnérabilité des opérations d'aménagement ou de renouvellement urbains bénéficiant de crédits d'État (FPRNM, AESN, ANRU ...) ;
- D12 Concevoir des quartiers intégrant la résilience des réseaux, des équipements publics, mais aussi les conditions de gestion des crises (à l'instar des préconisations de la charte « quartiers résilients » de la Métropole Francilienne) ;
- D13 Encourager les opérateurs de réseaux (eau potable, assainissement, énergie, télécommunications, transports) à réaliser des exercices coordonnés entre eux, et à échanger leurs données sur les points vulnérables, pour prévenir le risque d'effet domino. Il pourra être envisagé de s'inspirer des travaux de partage de données de vulnérabilité prévus par la « déclaration d'intention » entre opérateurs de réseau, dans le cadre de la SLGRI Métropole Francilienne.

ETUDES

- D14 Mettre en place un programme d'études sur les étiages dans le bassin de la Seine afin de mieux apprécier la ressource en eau en période d'étiage, de mieux comprendre la dynamique des étiages à l'échelle annuelle et sur le long terme dans un contexte de changement climatique, d'évaluer leurs effets sur la qualité des milieux naturels aquatiques, les besoins en eau actuels et futur, d'envisager des mesures d'adaptation et d'arbitrage entre différents usages, et de définir le cas échéant des solutions palliatives adaptées.
- D15 Conduire une étude du type OCDE 2014 (inondation sur Paris) sur l'impact socio-économique d'étiages ou sécheresses importantes et/ou pluriannuelles.
- D16 Faire une synthèse hydrologique à l'échelle du bassin : débits naturels, débits soutenus, en crue en étiage, débits de référence, ZEC, taux d'imperméabilisation, taux d'infiltration, temps de réaction, volumes en jeu.
- D17 Assainissement (SIAAP) : anticiper la question des débordements de réseaux à Paris en cas de crues combinée à de fortes pluies.
- D18 Améliorer la prévision à plusieurs mois des crues et des étiages sur la base des derniers modèles de prévision météorologiques et hydrogéologiques.
- D19 Préciser les incertitudes sur les projections climatiques en termes de crues et d'étiages sur le bassin avec l'apparition de nouveaux éléments permettant une meilleure compréhension des causalités affectant les circulations atmosphériques et phénomènes météorologiques sur le bassin.
- D20 Développer la prévision des sécheresses sur la base d'indicateurs partagés avec la mise en ligne d'informations opérationnelles pour les acteurs économiques.

VII- Autres pistes d'amélioration de ces différents leviers à l'échelle des sous-bassins

Sur les bassins de l'Oise et de l'Aisne, l'Entente Oise-Aisne envisage les projets suivants pour diminuer les risques :

- ✦ Site de Longueil 2 (amélioration de la gestion des casiers existants par l'utilisation de pompes) : efficace sur une très grande plage de fréquences de crues, mais nécessite des pompages avec risque de coupure d'alimentation électrique en crues du fait de l'implantation des relais EDF en zone inondable (possibilité de mettre en place des citernes pour l'autonomie en carburant). Permettrait de monter le surstockage à 18 Mm³. Coût : environ 10 M€ à préciser ;
- ✦ Ouvrage du même type que Proisy à Montigny-sous-Marle (intérêt identifié dans le PAPI, étude et DUP faites), demandes de subvention dans le cadre du Plan Seine ; 8 M€ d'investissement, quelques oppositions aujourd'hui éteintes ;
- ✦ Vic-sur-Aisne : opportunité nouvelle d'utilisation d'anciens bassins de sucrerie sur 60 ha (déjà acquis par l'Entente Oise Aisne). Capacité de stockage estimée à 4-5 Mm³ ; bénéficierait à 3 TRI (Compiègne, Creil, Val d'Oise partie du TRI Métropole francilienne).
- ✦ L'entente Oise-Aisne cherche à développer les aménagements d'hydraulique douce, ce qui pourrait être facilité si la compétence optionnelle « ruissellement-érosion » était prise à un niveau territorial suffisant et éventuellement déléguée à l'Entente.

Sur le bassin de la Marne, plusieurs scénarios ont été étudiés dans le cadre de l'étude du PAPI Marne (2005-2009), dont les conclusions ont été les suivantes :

- ✦ 42 « points noirs hydrauliques » susceptibles d'avoir un impact plus local ont été repérés et ont donné lieu à une fiche action, mais non étudiées dans le détail.

Sur le bassin de l'Armançon, le syndicat de gestion du bassin, en se basant sur une approche intégrée qualité/quantité, amont/aval, inondations/sécheresse, occupation des sols/économie locale, souhaite développer un panel d'actions d'hydraulique douce (sur la base d'une étude de 2006 qui conclut que la construction de gros ouvrages hydrauliques ne semble pas adaptée aux contraintes géographiques ni économiques) :

- ✦ favoriser l'infiltration à la parcelle par l'adaptation des pratiques culturales, la mise en place de haies, de bandes enherbées et l'aménagement des fossés d'assainissement agricole ;
- ✦ désimperméabiliser certaines zones urbaines ;
- ✦ remettre en fonction des zones naturelles d'expansion des crues notamment via l'achat de foncier ;
- ✦ aménager des sites de sur-inondation ponctuelle (étude prévue) ;
- ✦ préserver les zones humides des pressions de drainage et d'urbanisation (recensement en cours) ;
- ✦ favoriser l'élevage sur les zones sensibles comme le lit majeur.

Une étude de 2007 a proposé trois scénarii d'implantation d'ouvrages de ralentissement dynamique à l'amont de Tronchoy pour une protection vis-à-vis des crues de retour 2 et 10 ans (24 ouvrages stockant 28,9 Mm³ pour un coût de 55 M €, 15 ouvrages stockant 26,4 Mm³ pour 45 M €, 7 ouvrages stockant 17,5 Mm³ pour 40 M€) et en complément l'aménagement de 3 sites à l'aval de Tronchoy permettant d'écarter des crues de période de retour 30 ans (2 Mm³, 15 M €). Ces aménagements n'améliorent pas la gestion de l'aléa à l'aval (notamment à Paris). Aucune suite n'a été donnée faute de financements suffisants face aux bénéfices potentiels pour le bassin de l'Armançon.

Le Grand Troyes envisage de réhabiliter les digues de protection et en complémentarité de mettre en œuvre des actions d'hydraulique douce en amont du bassin. Par ailleurs la définition d'une trame verte et bleue urbaine par rapport à la vulnérabilité climatique est à l'étude. Sur l'Hozain, affluent de la Seine dans l'Aube, une étude de 2014 préconise de mettre en place des aménagements d'hydraulique douce et des zones d'expansion des crues gérés.

Au niveau du bassin de l'Orge, le SIVOA envisage les projets suivants pour diminuer les risques localement :

- ✧ Réalisation d'une zone de ralentissement dynamique à Brétigny sur Orge (analyse coût-bénéfices en cours)
- ✧ Retrait de freins hydrauliques (à Marcoussis)
- ✧ Acquisition de zones inondables
- ✧ Elaboration puis suivi et animation d'une politique « zéro rejet » d'eaux pluviales pour toute construction nouvelle (règle inscrite dans le règlement d'assainissement du syndicat)
- ✧ Etude de zones d'expansion de crues supplémentaires (bassins Saint Germain amont, Gué, Carouge, bassin de la Rémarde, Rémarde amont...)
- ✧ Renforcer les capacités de stockage en zone amont sur les plateaux (retenues, politique agricole...)

Sur le bassin de l'Essonne, le syndicat de gestion du bassin (le SIARCE) a fait des travaux de ralentissement dynamique des crues. En termes de projets, le SIARCE :

- ✧ vient d'achever l'étude d'un système d'annonce de crues ;
- ✧ fait des tests d'abaissement de clapets ou d'ouverture de vannes sur 8 ouvrages hydrauliques ;
- ✧ envisage 3 opérations d'effacements d'ouvrages ;
- ✧ réalise des aménagements d'hydraulique douce sur les parcelles agricoles à Guigneville sur Essonne ;
- ✧ effectue des travaux de restauration des zones humides (boisements alluviaux, marais, domaines et étangs communaux) sur 5 communes.

Sur le bassin de l'Yerres, le Syndicat mixte pour l'Assainissement et la Gestion des Eaux du bassin de l'Yerres (SyAGE) étudie la possibilité d'une importante zone d'expansion des crues de 500 000 m³ après avoir envisagé dans le cadre du PAPI une série de petites zones d'expansion jugées non pertinentes en termes de rapport coûts/bénéfices.

Sur le bassin du Loing amont, le développement d'une solidarité amont/aval et d'actions concertées est essentiel. Le syndicat de gestion (SIVLO) souhaiterait engager des actions visant à préserver et restaurer les zones humides notamment via leur acquisition, susceptibles de jouer le rôle de zones naturelles d'expansion des crues. Par ailleurs, suite aux inondations de juin, le SIVLO souhaite actualiser une étude hydraulique réalisée sur le bassin de la Bezonde en 2004 et l'étendre aux bassins de l'Ouanne, du Puiseaux et du Vernisson. Le SIVLO a également demandé que soit élaboré un PPRI sur les affluents rive gauche du Loing suite aux crues de mai-juin 2016.

Sur le Loing et les petits bassins versants, il pourrait s'avérer efficace de confier à un EPAGE à créer la maîtrise d'ouvrage unique sur le bassin et définir un programme d'actions (PAPI) basé sur du

ralentissement dynamique. Suite aux récentes crues la structuration des collectivités au niveau du bassin du Loing est en cours.

VIII- Conclusions et modalités de mise en œuvre

Les recommandations présentées découlent d'une démarche participative à l'échelle du bassin. Pour la plupart, leur mise en œuvre devrait être rapide au regard de l'urgence à agir, largement partagée par l'ensemble des acteurs.

Il conviendrait de proposer dès début 2017 au conseil d'administration de l'agence de l'eau et au comité de bassin un ensemble de modifications du programme d'aides de l'agence pour subventionner les actions les plus efficaces permettant d'améliorer le fonctionnement hydrologique du bassin :

- Identification et préservation des zones d'expansion des crues,
- Indemnisation des propriétaires et exploitants de terrains sur-inondés dans le cadre d'une stratégie de gestion du risque d'inondation,
- Projets innovants permettant l'augmentation de l'infiltration en milieu rural et urbain,
- Inventaires des surfaces imperméabilisées à désimperméabiliser,
- Réduction de la vulnérabilité des populations, des territoires et des activités.

Dans les prochaines semaines, sera transmise aux préfets du bassin une ligne de conduite concernant la position de l'État sur les documents d'urbanisme et les nouveaux projets d'aménagement, pour mieux y prendre en compte la gestion des eaux pluviales et les objectifs d'alimentation naturelle des nappes par l'infiltration en zone rurale.

Enfin, les EPTB du bassin, en particulier Seine Grands Lacs et l'Entente Oise-Aisne, seront sollicités pour préparer, en concertation avec l'ensemble des acteurs, un programme de travaux et d'études sur les bases développées dans le présent rapport, et le présenter au comité de bassin et au comité technique du Plan Seine. Ces programmes ont vocation à alimenter le CPIER Plan Seine 2015-2020 et à être intégrés ultérieurement dans les stratégies locales de gestion du risque d'inondation (SLGRI), notamment la SLGRI de la métropole francilienne en cours de finalisation, et dans les futures révisions des PAPI (dont le PAPI de la Seine et de la Marne Franciliennes et le futur PAPI sur le bassin Oise-Aisne).

Jean-François CARENCO

Préfet coordonnateur de bassin Seine-Normandie

Président du conseil d'administration de l'agence de l'eau
Seine-Normandie

Annexes

ANNEXE 1 : LETTRE DE MISSION DU PREMIER MINISTRE AU PREFET COORDONNATEUR DE BASSIN	29
ANNEXE 2 : PERSONNES RENCONTREES DANS LE CADRE DE LA MISSION	33
ANNEXE 3 : FICHE HYDROLOGIE DU BASSIN DE LA SEINE	37
ANNEXE 4 : ÉVENEMENT DE CRUE DE JUIN 2016	41
ANNEXE 5 : IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE BASSIN DE LA SEINE	45
ANNEXE 6 : CENTRALE NUCLEAIRE DE NOGENT-SUR-SEINE.....	47
ANNEXE 7 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES TRAJECTOIRES D'EVOLUTION DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE	49
ANNEXE 8 : EVALUATION DU COUT DES CONSEQUENCES DES CRUES ET DES ETIAGES.....	53
ANNEXE 9 : CONTRIBUTION DES LACS-RESERVOIRS A L'ECRETEMENT DES CRUES ET AU SOUTIEN DU DEBIT D'ETIAGE	55
ANNEXE 10 : SERVITUDES LIEES A LA « SURINONDATION »	57
ANNEXE 11A : HYDRAULIQUE DOUCE - REDUCTION DES ECOULEMENTS SUPERFICIELS EN ZONE RURALE	59
ANNEXE 11B : GESTION A LA SOURCE DES EAUX PLUVIALES - REDUCTION DES ECOULEMENTS EN ZONE URBAINE.....	76
ANNEXE 12 : ZONES D'EXPANSION DES CRUES ET ZONES HUMIDES	87
ANNEXE 13 : AVIS ETABLI PAR UN COMITE D'EXPERTS EN HYDROLOGIE ET EN OUVRAGES SUR LES PROJETS D'AMENAGEMENTS DU BASSIN DE LA SEINE PILOTE PAR LE CEREMA A LA DEMANDE DE LA DRIEE ET DE L'AESN	101
ANNEXE 14 : LISTE DES PROJETS ETUDIES SUR LE BASSIN SEINE-NORMANDIE.....	107
ANNEXE 15 : FICHES PAR OUVRAGE	115
ANNEXE 15A : ESPACES ENDIGUES DE LA BASSEE	115
ANNEXE 15B : ZONE DE RALENTISSEMENT DYNAMIQUE SUR LE BASSIN DE L'YONNE.....	119

ANNEXE 15C : TUNNEL DE DERIVATION DE LA BOUCLE DE GENNEVILLIERS.....	121
ANNEXE 15D : OUVRAGE DE LONGUEIL II	123
ANNEXE 15E : OUVRAGE DE MONTIGNY-SOUS-MARLE.....	125
ANNEXE 15F : OUVRAGE DE VIC-SUR-AISNE (MONTIGNY-LENGRAIN).....	127
ANNEXE 15G : MISE A NIVEAU DES PROTECTIONS LOCALES.....	131
ANNEXE 15H : CANALISATION ENTRE LES LACS-RESERVOIRS ET LA REGION PARISIENNE	133
ANNEXE 15I : SOUTIEN DES DEBITS PAR LA REALIMENTATION DES NAPPES.....	135
ANNEXE 15J : BARRAGE SUR LE BASSIN DE L'YONNE	137
ANNEXE 15K : LAC DES COTES DE CHAMPAGNE	139
ANNEXE 15L : INTERCONNEXION ENTRE LES LACS-RESERVOIRS	141
ANNEXE 15M : REVISION DES REGLEMENTS D'EAU DES LACS.....	143
ANNEXE 16 : CARTE DES PRINCIPAUX PROJETS	145
ANNEXE 17: EVENEMENTS DE REFERENCE ET REPONSES POSSIBLES.....	147

Annexe 1 : Lettre de mission du Premier Ministre au Préfet coordonnateur de bassin

Le Premier Ministre

Paris, le 29 JUIN 2016

N° - 3 2 1 6

Monsieur le Préfet,

Suite aux pluies très intenses du 28 au 30 mai 2016, des crues importantes se sont développées sur le Loing et divers affluents secondaires de la Seine en Ile-de-France, à l'origine d'une montée importante de la Seine atteignant 6,10 mètres au pont d'Austerlitz le 3 juin 2016. Ces inondations ont touché principalement le Loiret et l'Ile-de-France. Elles ont aussi été caractérisées par une date de survenue tardive dans l'année alors que les crues de référence ont eu lieu, dans la majorité des cas, en hiver.

Cet événement attire l'attention sur deux points : la capacité de régulation des barrages réservoirs à double fonction de gestion des étiages et des crues est faible en mai puisque ceux-ci sont en fin de remplissage pendant ce même mois ; les pluies intenses survenant plus à l'aval que les prises d'eau des ouvrages et sur des bassins versants sans ouvrage n'ont pu être régulées.

La gestion des milieux aquatiques et la prévention des inondations (GEMAPI) est une compétence obligatoire de la métropole parisienne à compter du 1^{er} janvier 2018. Les réflexions stratégiques sur la prévision des inondations dans le cadre de la stratégie locale en cours associent, aux côtés de l'État, les collectivités et notamment l'établissement public territorial de bassin (EPTB) Seine Grands Lacs. Selon l'étude récente de l'OCDE, une crue atteignant le niveau de celle de 1910 causerait environ 30 milliards d'euros de dégâts. A ce niveau, le fonds de prévention des risques naturels majeurs ne pourrait couvrir les sinistres et la garantie illimitée de l'Etat serait appelée. A l'échelle du bassin Seine-Normandie, c'est également l'État qui est responsable du plan de gestion du risque inondation.

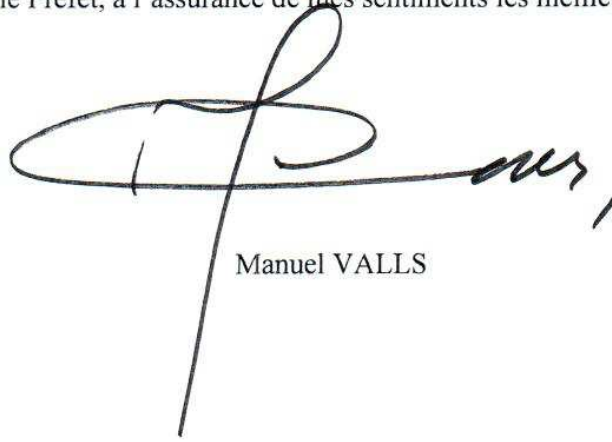
Tous ces éléments plaident pour que les collectivités concernées, dont la métropole du Grand Paris, et l'Etat réunissent leurs réflexions sur la prospective des inondations pour le territoire francilien.

Monsieur Jean-François CARENCO
Préfet de la région d'Ile-de-France,
Préfet de Paris,
Préfet Coordonnateur du bassin Seine-Normandie
Immeuble le ponant
5 rue Leblanc
75911 PARIS CEDEX 15

Sur la base de ces constats, en votre qualité de Préfet coordonnateur de Bassin, je vous demande de mettre sur pied un programme d'études sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la Seine. Vous associerez les collectivités concernées et bénéficiaires, au premier rang desquels la Métropole du Grand Paris, ainsi que les conseils régionaux et départementaux concernés, afin de partager le diagnostic puis de formuler des propositions, d'une part pour renforcer la prévention des inondations et d'autre part, pour sécuriser le soutien d'étiage. L'association en particulier du comité de bassin permettra d'intégrer le point de vue des collectivités de l'amont et de l'aval.

Vous me rendrez compte de l'avancement de votre démarche, y compris les démarches engagées avec les collectivités territoriales concernées pour partager le diagnostic sur le fonctionnement hydrologique du bassin et les principales pistes d'amélioration envisagées, pour le mois d'octobre prochain.

Je vous prie de croire, Monsieur le Préfet, à l'assurance de mes sentiments les meilleurs.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Manuel Valls', with a long horizontal stroke extending to the right and a vertical stroke extending downwards from the middle of the horizontal stroke.

Manuel VALLS

Annexe 2 : Personnes rencontrées dans le cadre de la mission

- ✦ Le 11 août, Jean-Michel Cornet, directeur de l'Entente Oise-Aisne
- ✦ Les 12 août et 6 septembre, Florence Habets, directrice de recherche CNRS, météorologue, UPMC
- ✦ Le 12 août, Jean-Pierre Tabuchi, Chargé de mission intégration des mutations Au SIAAP et Amélie Saint-Germain, chargée d'études hydraulique, DSE, SIAAP
- ✦ Le 17 août, Régis Thépot, directeur général des services de Seine Grands Lacs-réservoirs, Marc Vincent, directeur des services techniques, Stéphane Demerliac, Ingénieur (climat et étiages), Yann Ragénès, Ingénieur équipe-projet PAPI, Alexie Lorca
- ✦ Le 22 août, Pierre-Alain Roche, CGEDD
- ✦ Le 1^{er} septembre, Alain Monteil, directeur territorial bassin de la Seine, VNF et Fabrice Daly, chef du service Gestion de la Voie d'Eau
- ✦ Le 2 septembre, Claudine Jost, directrice de l'hydrologie et de la Bassée de Seine Grands Lacs, Marc Vincent, directeur des services techniques, Stéphane Demerliac, Ingénieur (climat et étiages)
- ✦ Le 7 septembre, Charles Baubion et Pierre-Alain Schieb, OCDE
- ✦ Le 13 septembre, François Cholley, président du SIVOA (Orge), M. Bouchy, Directeur général, M. Valois, Directeur rivière, Mme Reinier, Directrice assainissement
- ✦ Le 9 septembre, Eric Coquille, président SMBVA (ex SIRTAVA, Armançon)
- ✦ Le 13 septembre, Eric CHALAUX Directeur du SyAGE
- ✦ Le 16 septembre, Benoit Digeon, président du SIVLO (Loing amont)
- ✦ Le 24 septembre, Valéry Denis, Maire-adjoint et conseiller communautaire délégué à la trame hydraulique au Grand Troyes
- ✦ Le 12 octobre, M Vialatte futur directeur du SIARCE et M Pierre SEMUR, Président de la commission aux finances et maire de Ballancourt sur Essonne.
- ✦ Le 17 octobre, Nicolas Marracq, Directeur de l'Entente marne
- ✦ Le 3 octobre, journée de travail avec le comité d'experts Yann Deniaud (Céréma), Edouard Durand (Céréma), Bertrand De Bruyn (Céréma), Charles Perrin (Irstea) et l'EPTB Seine Grands Lacs, Marc Vincent, Claudine Jost, Stéphane Demerliac.
- ✦ Le 3 octobre, Nicolas Juillet, président du SDDEA (Aube) et Stéphane Gillis, directeur.

En particulier sur le volet « hydraulique douce rurale et urbaine » :

- ✧ Le 12 juillet, Jean -Philippe Lemoine, GIP Seine-aval, Chargé de mission "Hydrodynamique & Transport Sédimentaire"
- ✧ Le 12 juillet et le 25 août, Jean-François Ouvry et Jean-Baptiste Richet, AREAS
- ✧ Le 12 août, Nicolas Masseï, Jean-Paul Dupont, professeurs à l'Université de Rouen, Département Géosciences et Environnement, UMR CNRS 6143
- ✧ Le 16 août, Bruno Tassin, LEESU, Ecole des Ponts et Chaussées (Directeur de recherches, Directeur du LEESU)
- ✧ Le 22 août, Guillaume Nuti, SAGE Armançon
- ✧ Le 23 août, Philippe Martin, professeur à AgroParisTech
- ✧ Le 23 août, Emmanuel Berthier, CEREMA, Chef d'unité technique
- ✧ Le 29 août, Jérôme Rozanski, SIAVHY
- ✧ Le 1er septembre, Delphine Allier, BRGM
- ✧ Le 1er septembre, Christophe Debarre, SAGE Marne Confluence
- ✧ Le 13 septembre, Marc Benoît, INRA
- ✧ Le 15 septembre, Pauline Germanaud, Animatrice Zones Humides et Ruissellement-Erosion, Contrat SEQUANA, SICEC
- ✧ Le 16 septembre, Vazken Andreassian, IRSTEA
- ✧ Le 21 septembre, Yves Nédélec, CEREMA, responsable du groupe Géotechnique, géologie appliquée aux infrastructures et aménagement
- ✧ Le 22 septembre, Céline Schott & Thomas Puech, INRA Mirecourt
- ✧ Le 26 septembre, Xavier Carpentier, Responsable érosion Chambre d'agriculture de la Marne
- ✧ Le 3 octobre, Arthur Brunaud, Animateur du contrat de bassin Orge amont SISBO
- ✧ Le 4 octobre, Manuel Pruvost-Bouvattier, IAU-IdF -Département Environnement Urbain et Rural
- ✧ Le 6 octobre, Bruno Ludwig, Directeur bureau d'étude LIOSE
- ✧ Le 10 octobre, Véronique Souchère, INRA Grignon
- ✧ Le 11 octobre, Jean-Marie Mouchel, Directeur de l'UMR Metis 7619, Université Pierre et Marie Curie
- ✧ Le 12 octobre, Cécile Mauclair et Assad Alicherif, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région d'Île-de-France
- ✧ Le 12 octobre, Valentin Landemaine, Université de Rouen

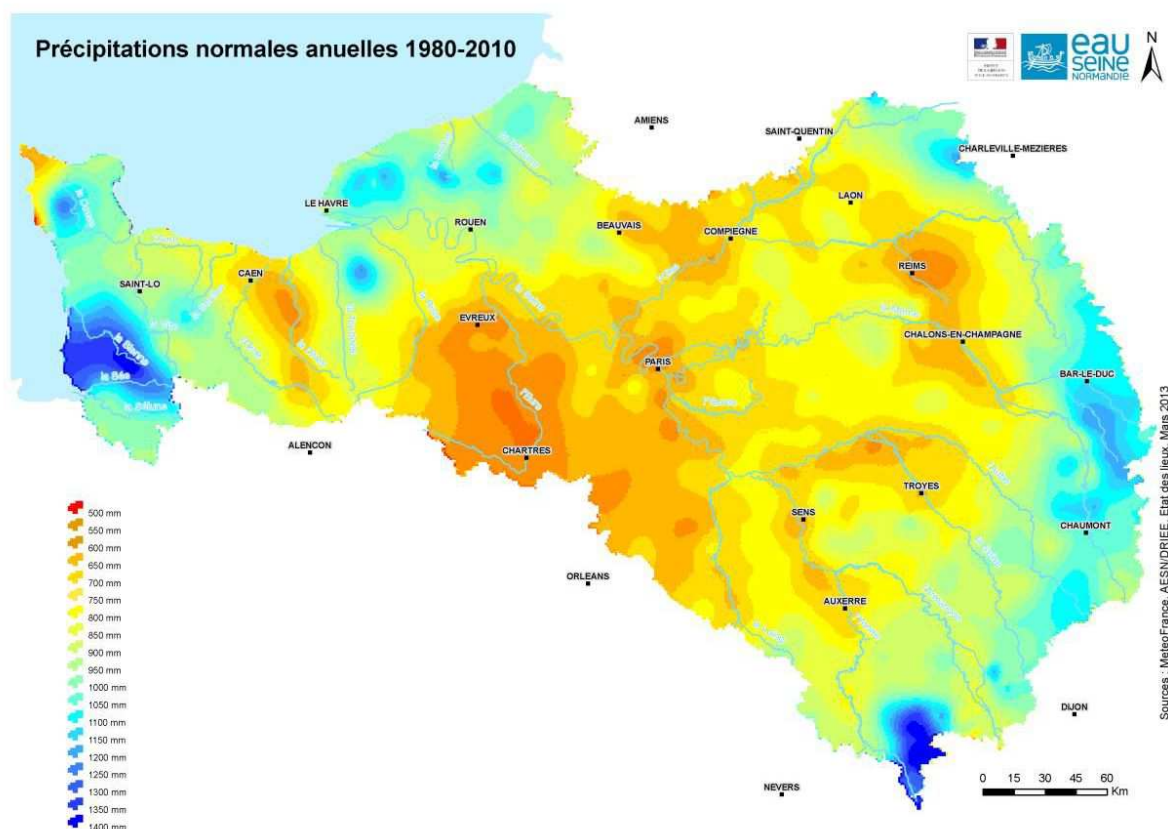
- ✧ Le 13 octobre, François Micheau, Service eau et biodiversité, DREAL Centre-Val de Loire
- ✧ Nadine AiresLe 18 octobre, Xavier Grillo, Président du SIARCE,
- ✧ Le 19 octobre, Christian Roux, Chef de l'unité études, Direction de l'Eau, Conseil Départemental des Hauts-de-Seine

L'ensemble des personnels de l'AESN et de la DRIEE qui pouvaient contribuer à la qualité de ce travail ont été mobilisés pour la rédaction ou la relecture : qu'ils en soient remerciés.

Annexe 3 : Fiche hydrologie du bassin de la Seine

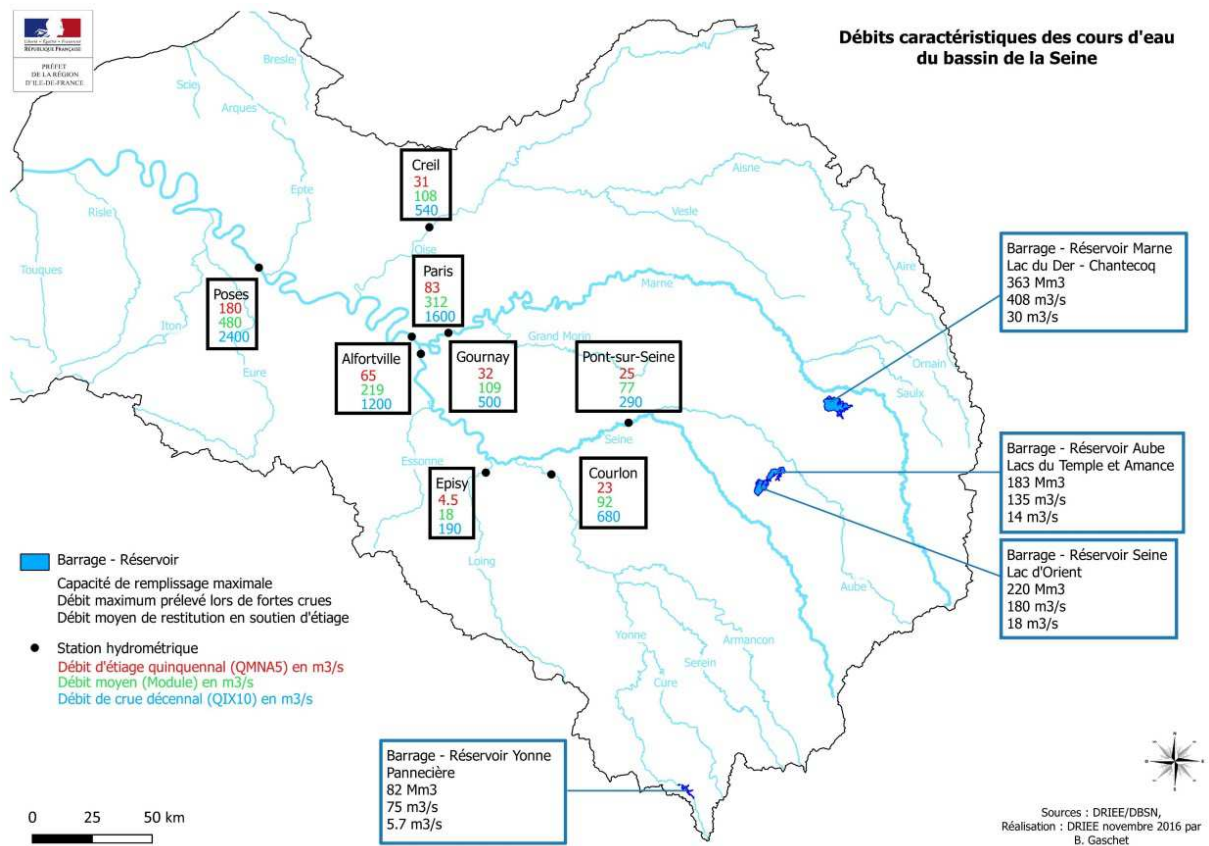
Le relief du bassin de la Seine est peu accidenté, avec des altitudes généralement inférieures à 300 m, dépassant rarement 500 m sauf dans le Morvan où elles culminent à 900 m. Ces altitudes modérées expliquent les faibles pentes moyennes des cours d'eau (de 1 à 3 m par km).

La Seine est une rivière de plaine, de régime pluvial océanique, recevant en moyenne 820 mm d'eau par an. Cette pluviométrie moyenne annuelle varie cependant sur le territoire de 550 mm/an sur la Beauce à 1200 mm/an sur les franges Est et Ouest du bassin.



Le réseau hydrographique du bassin comprend 55 000 km de cours d'eau. La majeure partie de ce réseau converge vers la Seine qui draine un bassin versant de 78 600 km². Les petits cours d'eau représentent 80 % du linéaire fluvial mais ne correspondent qu'à 12 % de la surface en eau et 6 % du volume total d'eau du réseau hydrographique.

Le débit moyen interannuel de la Seine à Paris est de 310 m³/s. Il atteint 540 m³/s à l'entrée de l'estuaire, soit 6,9 l/s/km². **La Seine amont, la Marne, l'Yonne et l'Oise apportent en moyenne 100m³/s chacune** (cf. la carte suivante). Cependant, les fluctuations entre l'année la plus sèche et l'année la plus humide connues en 75 ans, peuvent être importantes, de l'ordre de 1 à 5. Ces écarts sont dus non seulement au volume des précipitations tombées au cours de l'année mais aussi à leur répartition dans l'année, et enfin au niveau des nappes qui reflète les précipitations des années précédentes.



Le fonctionnement hydrologique du bassin Seine-Normandie présente une relative homogénéité avec un maximum de débit en hiver assez faible, de l'ordre de 40 l/s/km² bien que des situations contrastées existent localement, au niveau de vallées pouvant présenter de fortes singularités (pentes significatives, fonctionnement karstique, etc.). Les crues de la Seine ne sont donc pas exceptionnelles par rapport à celles des autres fleuves français (50 l/s/km² pour la Loire et le Rhône à leur embouchure et 70 pour le Rhin à Lauterbourg).

Le bassin de la Seine est caractérisé par les échanges importants entre les rivières et les nappes : ainsi, les apports des nappes dans le débit de la Seine dans son exutoire (au droit du barrage de Poses) représentent environ 30%-40% du débit moyen²². Une forte influence des variations climatiques naturelles sur l'hydrosystème est observée avec une augmentation des échanges en année hydrologique humide et un effet plus marqué sur les apports par les nappes dans le débit des cours d'eau. La contribution des nappes au débit de crue est de l'ordre de 5 à 10%, en fonction de la taille du cours d'eau et de la nature géologique de son bassin versant.

Régime des crues

D'une façon générale, deux principaux types de fonctionnement hydrologique de crue coexistent sur le bassin :

- les crues lentes par débordements de rivières consécutifs à des événements pluvieux généralisés et répétés ;
- les crues rapides de tête de bassin qui sont provoquées par des précipitations fortes et localisées.

Les crues lentes par débordements

Les débordements des grandes rivières du bassin de la Seine surviennent principalement à partir de novembre et jusqu'au mois de mai. Ce sont pour la plupart des inondations lentes et puissantes qui font suite à des pluies longues et régulières sur des bassins versants étendus. La durée de submersion peut atteindre plusieurs semaines, voire exceptionnellement plusieurs mois localement.

Le système global concerné est composé d'un ensemble de sous-bassins :

- le secteur Oise-Aisne, en amont de la confluence avec la Seine;
- le secteur hydrologique de l'Aube, de la Seine et de la Marne en amont de l'Île de France, régulé par les lacs-réservoirs ;
- le Loing et l'Yonne à l'aval de Pannecière, présentant des temps de réactions inférieurs à ceux du précédent secteur ;
- les affluents de taille plus réduite (Yerres, Orge, Essonne en Île-de-France, Epte, Eure).

Les crues de la Seine en Île-de-France mettent entre 2 et 3 jours depuis l'amont du Loing, 3 à 4 jours depuis l'amont de l'Yonne et 6 à 8 jours depuis l'amont de la Seine et de la Marne pour parvenir dans l'agglomération parisienne. Plusieurs affluents de la Seine aux comportements variés interviennent dans la genèse des crues, les effets maximaux étant provoqués par l'arrivée concomitante sur l'agglomération parisienne de plusieurs ondes de crues formées :

- à la confluence Seine-Aube pour la Petite Seine ;
- à Joigny pour l'Yonne ;
- à Châlons-en-Champagne pour la Marne, et sur le Grand et le Petit Morin.

En crue, l'eau transite entre Paris et Poses en 1 à 3 jours et dans l'estuaire, entre Poses et Honfleur-Le Havre, le temps de transit est estimé à 4 -7 jours.

Les crues rapides

Sans être comparables aux crues cévenoles par leur volume et leur rapidité, des crues plus rapides concernent des petits bassins qui présentent des temps de concentration faibles (inférieurs à 12-24 h). Elles peuvent survenir suite à de fortes intensités de pluie sur des durées courtes, inférieures à la journée. Elles surviennent principalement en été, mais peuvent également survenir suite à un cumul pluviométrique relativement faible en saison hivernale notamment du fait de la saturation des sols.

Ces crues rapides concernent plutôt l'amont de petits bassins versants, ruraux ou urbains, dont les cours d'eau ont des temps de réaction courts. Elles se produisent principalement en tête de bassins versants comme ceux de l'amont de l'Oise, de l'Aisne et de l'Aire ou de l'Yonne. Leur genèse peut y être de l'ordre de quelques heures, notamment sur l'Yonne et l'Aube.

L'imperméabilisation croissante des sols par l'urbanisation réduit les temps de réaction des bassins versants qui peuvent être parfois déjà courts et aggrave fortement les effets des crues rapides. Les inondations peuvent provenir alors de l'incapacité des réseaux d'eaux pluviales à évacuer de grandes quantités d'eau.

Par ailleurs, le ruissellement rural est associé à des problèmes d'érosion des sols et se traduit souvent par des coulées de boues. Ce phénomène est accentué l'hiver lorsque les sols sont à nu.

Les étiages

Sur les grands axes, le bassin de la Seine connaît des déséquilibres structurels entre les prélèvements en eau et la ressource disponible dont les effets ne sont pas marqués du fait du soutien des grands lacs de Seine qui limitent dans les conditions hydrologiques actuelles le seuil d'alerte en étiage à 1 à 2% du temps. Ils fournissent de 30 à 70 % de l'eau à Paris en étiage.

Dans les années 1950, les étiages étaient observés de juin à novembre et le mois de juin représentait 22% des occurrences des débits mensuels minimaux et octobre 26%. Pour la période récente, plus de

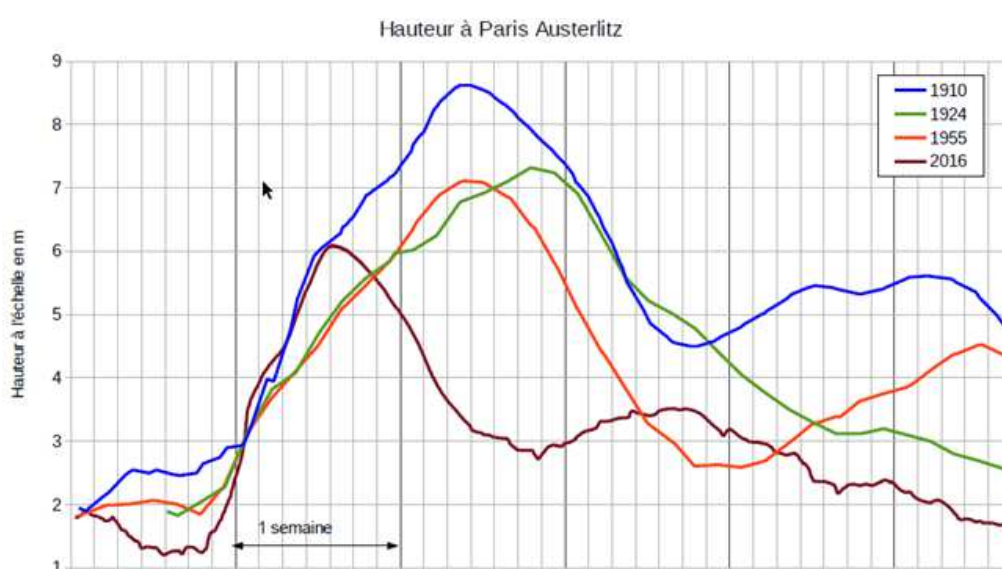
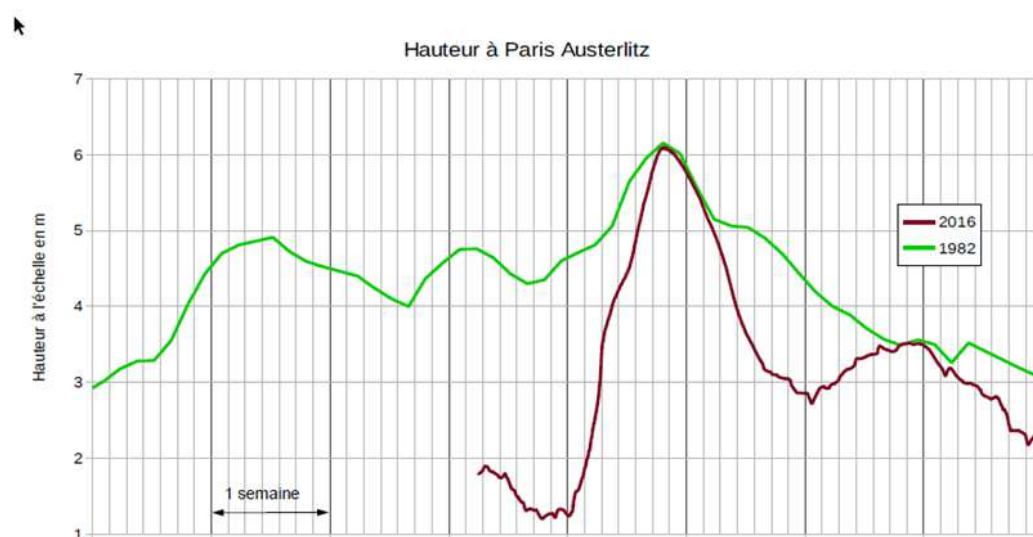
85% des étiages sont observés en août (64%) et en septembre (21%). Le soutien des étiages s'accompagne donc d'une forte régularisation de leur période d'occurrence.

Cependant, du fait des effets du changement climatique, les perspectives d'évolution à l'horizon 2050 montrent que les situations d'étiages sévères des cours d'eau pourraient s'intensifier du fait de la réduction des précipitations estivales. Cette réduction, associée à l'augmentation de la température de l'eau aura des impacts quantitatifs et qualitatifs sur la ressource en eau, du fait de moindre dilution des polluants et des eaux.

Annexe 4 : Événement de crue de juin 2016

L'événement de crue de juin 2016 est atypique en plusieurs points :

- **sa saisonnalité** : cette crue est très tardive, au regard de la plupart des crues du bassin de la Seine. Le phénomène observé en juin est inédit depuis le début du XX^{ème} siècle ;
- **la part des bassins contributeurs** : du fait de la répartition des précipitations, le bassin du Loing et les petits affluents franciliens sont les principaux contributeurs à la crue de la Seine. Le Loing a en particulier apporté un débit comparable à celui de l'Yonne ;
- **sa célérité** : à Paris, le niveau maximum de la crue de 2016 (6,10 m) est comparable à la crue de janvier 1982 (6,15 m) mais la vitesse de montée jusque 6 m est proche de la crue de janvier 1910 (de l'ordre de 0,8 à 0,9 m par jour). Comme le montrent les deux graphiques ci-après.



Formation et dynamique de la crue

Les conditions initiales jouent un rôle prépondérant. Outre l'intensité et la distribution spatiale des pluies, la part forte du ruissellement et d'écoulement hypodermique a été très conséquente dans le bassin versant amont de l'Yonne, car les sols ont été gorgés d'eau et les aquifères sub-affleurants saturés au printemps 2016 (Dupont, 2016). Dans ce contexte, les cumuls de pluie localisées et très intenses enregistrés en 3 jours (**150 mm du 28 au 30 mai**) sur les bassins versants du Loiret, de l'Yonne ou de l'Essonne correspondent en moyenne à des périodes de retour comprises entre 10 et 50 ans, et ils atteignent localement des périodes de retour de 100 ans. Les cumuls enregistrés sont 2 à 3 fois supérieurs aux normales. Par la suite, de nouveaux épisodes pluvieux de moindre ampleur touchent le bassin Seine-Normandie jusqu'au 3 juin, qui réactivent les crues déjà en cours sur les rivières du bassin. **En raison des pluies exceptionnelles qui se sont abattues sur l'Île-de-France et le bassin du Loing, la pointe de crue a donc été formée par les affluents franciliens (Yerres, Loing, Petit et Grand Morins) et a été gonflée par les apports de la Seine, de l'Yonne et de la Marne, dont la pointe est parvenue plus tardivement.** La pointe de crue a ainsi atteint la région parisienne en moins de 6 jours.

Caractérisation de la crue

Excepté sur la partie aval du bassin versant du Loing, les crues dépassent en hauteur celles de 1910 sur les petits affluents. Selon l'historique connu, on peut donc estimer que la période de retour des inondations sur ce secteur est au moins centennale. Si on tient compte de sa saisonnalité, ce type d'événement est beaucoup plus rare (plusieurs milliers d'années – N.Flipo et al – Colloque Piren Seine 2016).

Les crues sont également exceptionnelles sur les affluents franciliens de la Seine moyenne et de la Marne, notamment l'Essonne, le ru d'Ancoeur (ou Almont), l'Yerres, l'Yvette, la Mauldre, le Petit Morin et le Grand Morin. Sur plusieurs de ces cours d'eau, les niveaux maximaux connus aux stations de mesure ont été dépassés.

Sur la Seine, en aval de la confluence avec le Loing, et jusqu'à la confluence avec l'Oise, la période de retour de la crue est comprise entre 15 et 30 ans. Si on tient compte de sa saisonnalité, ce type d'événement est beaucoup plus rare, la dernière crue comparable s'étant produite en mai 1836 (500 ans – N.Flipo et al – Colloque Piren Seine 2016).

En aval de la confluence avec l'Oise, la période de retour est d'environ 10 ans. Sur la Marne en Île-de-France et l'Yonne, le débit enregistré correspond à une période de retour de l'ordre de 5 ans. Toutefois les secteurs proches de la confluence avec la Seine, aussi bien sur la Marne que sur l'Oise, ont connu des débordements d'occurrence vicennale puisque sous influence directe du niveau de la Seine. Sur le bassin de l'Yonne, malgré plusieurs événements conséquents mais localisés de ruissellement lié aux pluies intenses, les cours d'eau n'ont pas connu de crue majeure. Sur l'Yonne aval, la période de retour est de l'ordre de 5 à 10 ans.

Effet des Grands lacs de Seine

Les ouvrages de stockage, situés sur les secteurs amont des cours d'eau principaux moins concernés par les précipitations, n'ont pu apporter qu'un effet d'écêtement limité. Cependant, et malgré un volume disponible également limité en cette saison (remplis à 90%), ils ont eu un effet d'écêtement sensible sur les apports issus de l'amont, donc plutôt sur la phase de décrue. L'effet d'abaissement à Paris a été estimé à 5 cm sur le maximum de crue, et à 25 cm pendant la décrue. **Cette situation illustre le fait que, de par leur implantation et leur gestion, ces barrages ne peuvent avoir un effet ni l'ensemble du bassin de la Seine ni pendant toute l'année.**

En conclusion, dans l'état actuel de l'avancement de l'étude, les analyses typologiques proposées ont montré des différences de comportement entre les grands types d'aquifères du bassin versant Sud Est du Bassin de Paris. Parallèlement au ruissellement de surface et aux écoulements hypodermiques dans les sols, il apparaît clairement que **lors de l'épisode pluvieux du printemps 2016, plus marqué dans la partie Sud-Est du Bassin de Paris, la recharge des aquifères a été très importante** (en particulier du Jurassique moyen et de la craie), et a contribué, plus ou moins selon les sous- secteurs hydrologiques, au développement de la crue exceptionnelle enregistrée.

Sources : *Rapport de retour d'expérience du Service Prévention des Risques et des Nuisances - Service de Prévision des Crues Seine Moyenne-Yonne-Loing (DRIEE), N. Flipo, F. Baratelli, L. Fleurent, S. Guillon, F. Habets, A. Jost, L. Lestel, M. Maillot, J-M. Mouchel (2016). Retour sur la crue de juin 2016. Colloque annuel du PIREN Seine, Paris, 6-7 octobre 2016.*

Annexe 5 : Impacts du changement climatique sur le bassin de la Seine

Les simulations réalisées sur le bassin de la Seine, sur la base des projections de changement climatique issues des travaux du GIEC, donnent les résultats suivants sur l'eau :

- Une baisse de la pluviométrie estimée à -6% d'ici le milieu de siècle, -12% d'ici la fin de siècle ;
- Une augmentation de l'évapotranspiration moyenne ;
- Une baisse des débits généralisée : selon les modèles cette baisse atteint 10 à 30 %²³ d'ici la fin de siècle ;
- Notamment des étiages plus sévères (diminution de -30 à -60% des débits d'étiage) ;
- Une baisse des niveaux de nappes de plusieurs mètres (2 à 3 mètres en moyenne) ; la diminution affecte surtout les plateaux tandis que la plaine alluviale de la Bassée semble peu affectée ;
- Une réponse incertaine concernant les pointes de crue généralisée mais des épisodes de ruissellement urbain et de coulées de boues probablement plus fréquents ;
- Une augmentation de la température de l'eau de 2°C en moyenne.

Malgré leurs incertitudes, ces impacts sont suffisamment forts pour avoir des conséquences lourdes sur la gestion de l'eau.

En termes de gestion de l'eau, ces impacts se traduisent par :

- Une baisse généralisée de la ressource en eau superficielle et souterraine pouvant notamment poser problème pour l'approvisionnement en eau potable prélevée dans la Seine ;
- Des étiages sévères récurrents : des situations de crise aujourd'hui pourraient devenir fréquentes ;
- A rejets égaux, une concentration mécaniquement plus élevée des polluants du fait de la baisse des débits : un état dégradé, un fonctionnement de la rivière menacé (pressions polluantes accrues, risques d'eutrophisation accrues...) ;
- Des difficultés d'adaptation pour la faune et la flore du fait des pressions polluantes accrues et de l'augmentation de la température ;
- Une incertitude en termes d'accroissement du risque inondation par débordement.

Ces conséquences hydrologiques doivent être croisées avec l'évolution des usages de l'eau et de l'occupation des sols sur le bassin.

Le projet européen CLIMAWARE a permis de simuler l'hydrologie du bassin en incluant les principaux usages et la gestion des lacs-réservoirs. Des indicateurs de performance représentatifs de la tension sur les usages (limitation des autorisations des débits prélevés, risque sur la qualité des eaux...) ont été calculés afin d'évaluer l'impact du changement climatique pour différents scénarios de gestion. Deux types d'adaptation des règles de gestion ont été envisagés : une modification des courbes de remplissage et de vidange, ou la mise en place d'une gestion prédictive sur la base de prévision des débits. Ces mesures permettent une légère amélioration des performances, mais même avec cette gestion adaptée, les indicateurs montrent un impact significatif sur les étiages. Par exemple, on peut s'attendre à ce que le seuil d'alerte en étiage (le premier seuil impliquant des restrictions d'usage de l'eau) soit atteint 5 % du temps dans le futur alors qu'il ne concerne que 1 à 2 % du temps actuellement.

²³

Les résultats de l'étude nationale Explore 2070, basées sur le 4^{ème} rapport du GIEC, envisagent une baisse des débits du bassin de la Seine d'environ 30%. Cependant des résultats issus de simulations plus récentes (thèse de G. Dayon, Cerfacs, 2015), basées sur le 5^{ème} rapport du GIEC, donnent des baisses de débit moins inquiétantes à l'horizon 2100, de l'ordre de 10 à 20% le plus souvent, et parfois 30% sur certains affluents.

Annexe 6 : Centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine

La centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine est implantée sur la rive droite de la Seine, dans le département de l'Aube (10), en région Champagne-Ardenne. Elle se situe à 50 km au nord-ouest de Troyes et à 105 km au sud-est de Paris. Le site s'étend sur une surface de 212 hectares. Pour son altitude d'implantation, une majoration de 15 % sur le débit de crue millénale²⁴ a été appliquée, de manière à aboutir à une cote majorée de sécurité (CMS) qui constitue la base de dimensionnement des installations (cf. Rapport de la mission parlementaire sur la sécurité nucléaire, la place de la filière et son avenir).

La centrale est dotée de deux unités de production de 1 300 MW chacune. Chaque unité de production est composée d'un Réacteur à Eau Pressurisée (REP) et d'une tour de refroidissement de 165 m de haut. La construction du Centre Nucléaire de Production d'Electricité (CNPE) a débuté en 1980. L'unité de production n°1 a fourni son premier kWh en 1987, la seconde en 1988.

Elle produit en moyenne chaque année 18 milliards de kWh. Cette production couvre près de deux fois les besoins en électricité de l'ex région Champagne-Ardenne et plus de 4 % de la production nucléaire en France. Cela correspond à 9 années de fonctionnement du métro parisien.

Les prises d'eau pour le refroidissement en Seine, dans le bief de Nogent, sont de la plus haute importance pour la sûreté de l'installation. Elle est donc sécurisée à la fois :

- par le maintien de la ligne d'eau du barrage du Livon²⁵ qui permet de garantir une hauteur d'eau ;
- et par le double rôle écrêteur de crues et soutien d'étiage garanti par les réservoirs Seine et Aube situés en amont.

A noter qu'en Seine, à l'amont de la centrale, est également installé un seuil immergé en palplanches permettant, y compris en cas de défaillance du barrage du Livon, de s'assurer d'un volume d'eau disponible pour arrêter la centrale.

La centrale est autorisée à prélever jusqu'à 7 m³/s en Seine et 0,1 m³/s dans la nappe d'accompagnement (dans ce dernier cas pour l'unité de déminéralisation) de la Seine².

Le débit de la prise d'eau en Seine doit être restitué intégralement à l'exception de la fraction évaporée qui ne peut en aucun cas dépasser 1,85 m³/s en débit de pointe, avec un débit moyen annuel de 1,5 m³/s.

En période d'étiage, à savoir lorsque le débit à Pont-sur-Seine est inférieur à 15 m³/s, la fraction maximale évaporée est réduite à 1,7 m³/s. La température et l'humidité relative de l'air sont des paramètres d'influence du débit évaporé par les deux aéroréfrigérants. Les évolutions de ces paramètres du fait du changement climatique pourraient induire des faibles variations du débit évaporé.

Le débit réservé en Seine à l'aval du rejet de la centrale doit, en toute circonstance, être supérieur à 8 m³/s. Le volume de rejet de la centrale en Seine est en exploitation courante de 260 000 m³/j. Il peut atteindre 578 880 m³/j en cas de mise à l'arrêt rapide. La température à l'aval du rejet après mélange aux eaux de la Seine doit être inférieure en moyenne sur 12 heures glissantes à 28°C.

La différence de température à l'aval du rejet après mélange aux eaux de la Seine et la température de la Seine à l'amont (échauffement) est inférieure en moyenne sur 12 heures glissantes à 3°C. Lors

²⁴ Les inondations laissant moins de traces dans le paysage que les séismes, la période d'observation est plus courte, de l'ordre de cent ans, et l'extrapolation à mille ans se fait par une méthode statistique.

²⁵ Pour ces données et les suivantes cf. arrêté du 29 décembre 2004 autorisant EDF à poursuivre les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents liquides et gazeux pour l'exploitation du site nucléaire de Nogent-sur-Seine.

d'étiage hivernal sévère, à savoir lorsque le débit de la Seine devient inférieur à 20 m³/s de novembre à février, l'échauffement en moyenne sur 12 heures glissantes pourra dépasser 3°C sans excéder 4°C.

Lorsque les conditions climatiques ne permettent plus de respecter le cas général, un dépassement de la température à l'aval du rejet après mélange aux eaux de la Seine est autorisé 2% du temps sur une année calendaire sans dépasser toutefois 30°C en moyenne sur 12 heures glissantes. L'échauffement doit alors être inférieur à 1,5°C sur 12 heures glissantes (sous conditions et avec information préalable des services de l'État et de contrôle).

Crues et étiages sévères :

Les valeurs limites de rejets d'effluents liquides ne sont applicables que pour un débit de Seine compris entre 20 mètres cubes par seconde au moins et 160 mètres cubes au plus. En période d'étiage (débit de Seine compris entre 15 et 20 m³/s) et en période de crues (débit de Seine compris entre 160 et 300 m³/s), les rejets sont soumis à l'accord préalable de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

A partir de 300 m³/s, les rejets des réservoirs d'effluents chimiques et radioactifs sont interdits du fait du risque de dispersion sur les berges inondées.

En dessous d'un débit de Seine de 15 m³/s, les rejets des réservoirs d'effluents chimiques et radioactifs sont aussi interdits.

Avec un débit réservé en aval de 8 m³/s, en considérant une évaporation de 1,7 m³/s, le débit théorique de Seine en-dessous duquel la centrale ne pourrait réglementairement plus fonctionner à pleine puissance sur les deux unités de production serait de l'ordre de 10 m³/s à Pont sur Seine.

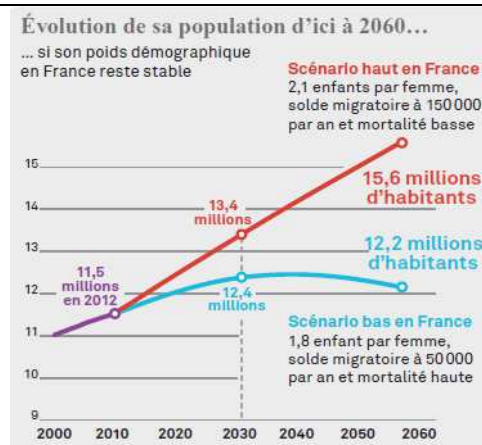
Annexe 7 : Synthèse bibliographique sur les trajectoires d'évolution de l'aménagement du territoire

Un travail bibliographique²⁶ mené par Bruno Ledoux, guidé par les 3 questionnements mentionnés ci-après, a montré que si les documents analysés traitent de façon détaillée des dynamiques démographiques aux échelles de la région ou de la commune, les autres sujets intéressant la présente étude sont traités par ces documents en termes très généraux, de façon peu approfondie et sans corrélation entre eux ou avec la problématique démographique. Le changement climatique est assez présent, mais surtout évoqué sous l'angle des émissions de gaz à effet de serre, moins sur les étiages et les inondations.

1/ Quelle évolution est attendue en termes de consommation d'espace, et corrélativement d'imperméabilisation, sur le périmètre du bassin amont de la Seine ?

Comme le montre le tableau suivant, les prévisions de croissance démographique sur le bassin amont de la Seine, hors région Île-de-France (et bassin de l'Oise), à l'horizon 2040, représentent moins de 5% de la croissance attendue en Île-de-France (les pertes attendues en Haute-Marne et dans la région de Bar-le-Duc réduisant presque de moitié les gains attendus dans les autres secteurs). Alors que cette région devrait voir sa population augmenter de 742 000 habitants d'ici 2040, la croissance sur le reste du territoire se mesure en quelques dizaines de milliers d'habitants, certains secteurs poursuivant ou entamant une décroissance démographique. De plus, les dynamiques démographiques positives hors Île-de-France sont pour partie largement influencées par la région capitale, aux franges (dans ou à proximité) de l'aire urbaine de Paris (Sens, Auxerre, Montargis...).

La population d'Île-de-France : prospective



Les dernières projections de population 2007-2040 réalisées par l'Insee en 2006 anticipent une poursuite de la croissance démographique importante. Elle atteindrait, selon l'INSEE, 12,8 millions d'habitants en 2040. A horizon 2050, l'incertitude sur les évolutions démographiques s'accroît, l'hypothèse de travail retenue a été de prendre une population de 13 millions d'habitants. (SRCAE Île-de-France)

²⁶ Bibliographie consultée : études produites par des institutions spécialisées (INSEE, IAU...), documents d'aménagement et de planification à caractère réglementaire (tous les SCOT n'ont pu être consultés dans le temps imparti), études produites par le monde universitaire (peu nombreuses et anciennes).

Région	Département	Evolution démographique 2016-2040	Remarques sur les limites d'utilisation des données départementales
Île-de-France (+ 742 000)	Paris	+ 33 000	
	Essonne	+ 88 000	
	Hauts-de-Seine	+ 136 000	
	Seine-Saint-Denis	+ 81 000	
	Val-de-Marne	+ 81 000	
	Val-d'Oise	+ 70 000	
	Seine-et-Marne	+ 174 000	
	Yvelines	+ 79 000	
Champagne-Ardenne	Haute-Marne	- 16 000	L'essentiel des aires urbaines du département sont dans le périmètre
	Marne	- 6 000	La Marne doit voir sa population augmenter légèrement jusqu'en 2020 puis baisser jusqu'en 2040. L'aire urbaine de Reims (319.059 habitants, 238 communes), BV de l'Aisne, a connu une croissance moyenne annuelle de 0,3% entre 2008 et 2012. Celle de Châlons-en-Champagne (81.166, 66 communes) a eu une croissance nulle. Celle d'Eprenay compte 36.271 habitants.
	Aube	+ 13 000	Scénario du SCOT de la région Troyenne : + 6 355 habitants pour 2010-2020
Bourgogne	Yonne	+ 19 000	Concerne essentiellement les aires urbaines de Sens et Auxerre, vallée de l'Yonne
	Côte-d'Or	+ 31 000	Les 2 principales aires urbaines sont hors périmètre
	Nièvre	- 4 000	Peu concerné
Lorraine	Meuse	+ 3 000	Zone d'emploi de Bar-le-Duc 2008-2030 : -3 400
	Oise	+ 51 000	Ne concerne que le bassin de l'Oise
Picardie	Aisne	+ 9 000	Sur le bassin de la Seine, l'aire urbaine de Château-Thierry compte 34.750 habitants, soit 6% de la population du département. Les autres aires urbaines sont situées sur les bassins Oise et Aisne.
Centre	Loiret	+ 52 000	Les aires urbaines appartenant au bassin de la Seine (Montargis et Pithiviers) représentent 10% et 2% de la population du département

Si sur l'ensemble du périmètre d'étude **l'étalement urbain, et donc l'artificialisation des sols, se poursuit, ce phénomène connaît depuis 5 à 10 ans un ralentissement sensible.** De plus, au moins en

Île-de-France, la production de la ville se fait majoritairement en recyclage des tissus déjà urbains plutôt que par son extension sur des espaces agricoles ou naturels. Mais dans la région capitale, le schéma directeur autorise un potentiel d'urbanisation nouvelle d'une surface totale de (au moins) 20 250 ha pour la période 2008-2030. **Cette urbanisation nouvelle est planifiée, encadrée** et le SDRIF définit des secteurs à fort potentiel de densification.

Hors Île-de-France, dans plusieurs secteurs, les SCOT sont récents, en cours d'élaboration ou même absents. Or les études montrent que **les régions peu densément peuplées (Champagne-Ardenne ou Bourgogne) ne sont pas les plus économes du point de vue de l'utilisation de l'espace.** Alors même que le SCOT permet une politique de densification, cet outil est parfois insuffisamment développé (Bourgogne, Haute-Marne...). En Champagne-Ardenne par exemple, les études indiquent que **la progression de l'artificialisation est déconnectée de la dynamique démographique (la première a progressé entre 2000 et 2012 alors que la seconde est légèrement négative).** Attention également à **bien identifier des évolutions fines : sur l'aire du SCOT de la région troyenne, la construction neuve en 2006 consomme 30 à 40% d'espace en moins qu'en 1999. Ici, la population augmente au fil des ans, mais l'évolution corrélative des surfaces urbanisées est moindre que par le passé.**

Le lien entre étalement urbain (et donc artificialisation) et imperméabilisation n'est pas traité, de façon quantifiée, dans les documents exploités, seulement mentionné. L'Île-de-France fait exception, puisque le Service public de l'assainissement parisien a réalisé des travaux sur ce sujet.

A partir des documents recensés et exploités, il nous est impossible de quantifier de façon même grossière l'importance de la consommation d'espace à venir hors de l'Île-de-France. **Des quelques chiffres tirés de ces documents, il apparaît que, comme pour la démographie, la consommation d'espace hors de l'Île-de-France devrait être très largement inférieure à ce qu'elle sera en Île-de-France.** Par exemple, le rythme de consommation des espaces agricoles, naturels ou forestiers pourrait être de l'ordre de 500 hectares par an, d'ici à 2030 en Seine-et-Marne. Ce chiffre de 500 ha équivaut exactement à celui de l'artificialisation des terres sur l'ensemble de la région Bourgogne à l'horizon 2050 (dans l'hypothèse « fil de l'eau »).

2/ Quelle augmentation de population vivant en zone inondable – par débordement des cours d'eau – est-elle conjecturable ?

Dans la documentation exploitée seule l'IAU, en Île-de-France, **soulève cette question en évoquant les secteurs de renouvellement et de densification préconisés par le SDRIF et leur situation fréquente en zone inondable.** Mais l'IAU met également en évidence une **réduction récente de l'urbanisation en zone inondable imputable probablement aux PPRI.** De plus, les constructions autorisées par les PPRI doivent respecter des normes de construction les rendant peu vulnérables.

Hors Île-de-France, les dynamiques urbaines telles qu'elles sont envisagées par l'INSEE concernent **notamment les axes des vallées, qui continuent à être des zones privilégiées d'implantation et de développement urbain,** mais le niveau de détail n'est pas suffisant pour avancer que ce constat traduit également une augmentation potentielle de l'exposition de l'urbanisme au risque inondation.

3/ Peut-on identifier l'apparition de zones de pression démographique sur la ressource, en termes de dilution et en termes de prélèvement ?

Là encore, la documentation exploitée ne traite pas directement de ce sujet. Hormis le cas particulier des rejets du SIAAP, les pressions sur la ressource sont évoquées mais pas corrélées de façon précise, quantifiée, aux projets de développement (scénarii démographiques, construction de logements, urbanisation...).

Annexe 8 : Evaluation du coût des conséquences des crues et des étiages

Les éléments de coûts globaux des conséquences des crues et des étiages sont indispensables à l'établissement d'un diagnostic, permettant de manière dynamique de se projeter dans une stratégie de réduction mettant en œuvre les différents leviers d'action (planification, aménagement ...) mais aussi d'autres leviers tels que les leviers financiers ou assurantiels (en cas de statu quo). A ce stade, nous ne disposons pas sur le bassin Seine-Normandie d'analyse globale des coûts des conséquences des crues et des étiages ni d'outils intégrés permettant de comparer différents scénarii d'intervention en s'appuyant sur une caractérisation objective des coûts et des effets, y compris les externalités.

Si les informations sur les coûts des étiages et des sécheresses sont éparses, le bassin dispose depuis 2014 d'une analyse intéressante du coût des crues. En effet, en 2013, l'EPTB Seine Grands lacs, en partenariat avec le ministère de l'Ecologie et le conseil régional d'Île-de-France, a confié à l'OCDE une étude sur les politiques de gestion des risques d'inondation en Île-de-France afin d'en limiter l'impact économique.

L'OCDE procède selon la méthode de la « revue par les pairs », qu'elle applique à l'examen des politiques publiques et qu'elle a déjà eu l'occasion de décliner à de nombreuses reprises sur la problématique de la gestion des risques, notamment en France sur le bassin de la Loire (2010). L'intérêt de cette démarche consiste à intégrer à la fois l'expertise en analyse économique de l'OCDE, la comparaison internationale, et un processus de dialogue inclusif et impartial entre toutes les parties prenantes permettant d'aboutir à un consensus partagé.

Cette étude inclue à la fois une évaluation fine de l'impact d'une inondation majeure de la Seine, ainsi que des politiques publiques de prévention de ce risque et de leur mise en œuvre. Elle aborde ainsi à la fois la problématique de la gouvernance, des mesures de résilience et aborde dans un dernier volet les questions du financement de la prévention de ce risque.

L'OCDE évalue les dommages directs de différents scénarios d'inondation centrés autour de la crue de 1910 entre 3 et 30 milliards d'euros. Ces dommages ont été calculés en utilisant le modèle préexistant dit « ALPHEE » mais en l'enrichissant avec des estimations pour les différents dommages aux réseaux (transports publics, routes, électricité, eau), qui manquaient à ce modèle. Par exemple, la RATP a estimé les dommages à son réseau de l'ordre de 1 à 5 milliards d'euros et ERDF estime que les dommages aux très nombreux postes sources et postes de transformation haute tension/basse tension qui seraient touchés sont compris entre 250 millions et 1 milliard d'euros.

Un apport important de l'étude sur ce volet concerne l'impact macroéconomique. « Un choc de grande ampleur pourrait avoir un impact significatif au niveau macroéconomique en termes de croissance et de PIB, avec des répercussions en termes d'emploi. L'évaluation macro-économique montre ainsi une réduction significative du PIB national qui atteindrait sur 5 ans de 1,5 à 58,5 milliards d'euros soit de 0,1 à 3 % en cumulé. La réduction de l'activité des entreprises causée par l'inondation affecterait significativement la demande en main d'œuvre avec jusqu'à 400 000 emplois qui pourraient être concernés dans le cas extrême. Même si le rebond d'activité pourrait réduire certains de ces effets rapidement après une année, les conséquences dommageables d'une crue majeure de la Seine pourraient se faire sentir à moyen et long terme. Ils pèseraient lourdement sur les finances publiques, notamment du fait de l'appel à la garantie de l'État liée au mécanisme d'indemnisation CAT-NAT, dont les ressources financières ne permettraient pas de couvrir la compensation des dommages. La dette publique pourrait alors augmenter également de 0,1 à près de 3% ».

Sur la question de la gouvernance, le diagnostic est posé : « La gestion du risque d'inondation de la Seine en Île-de-France s'effectue dans un cadre fragmenté suite aux strates successives de décentralisation. Ceci a entravé pour partie l'émergence d'une dynamique porteuse, malgré les risques auxquels la région est confrontée. L'absence d'une vision stratégique d'ensemble autour de ce risque pour ce territoire stratégique - contrairement à d'autres grands fleuves français tels que la

Loire ou le Rhône - révèle un déficit de gouvernance au vu des enjeux concernés, même si une prise de conscience se fait jour actuellement. Les outils développés au niveau national ont peiné dans le passé à trouver une application concrète et efficace dans ce territoire aux enjeux hors-du-commun ».

La revue fait une série de propositions d'amélioration des processus de gouvernance face à ce risque majeur et insiste sur les opportunités liées à la mise en œuvre de la Directive Inondations et la mise en place de la métropole du Grand Paris.

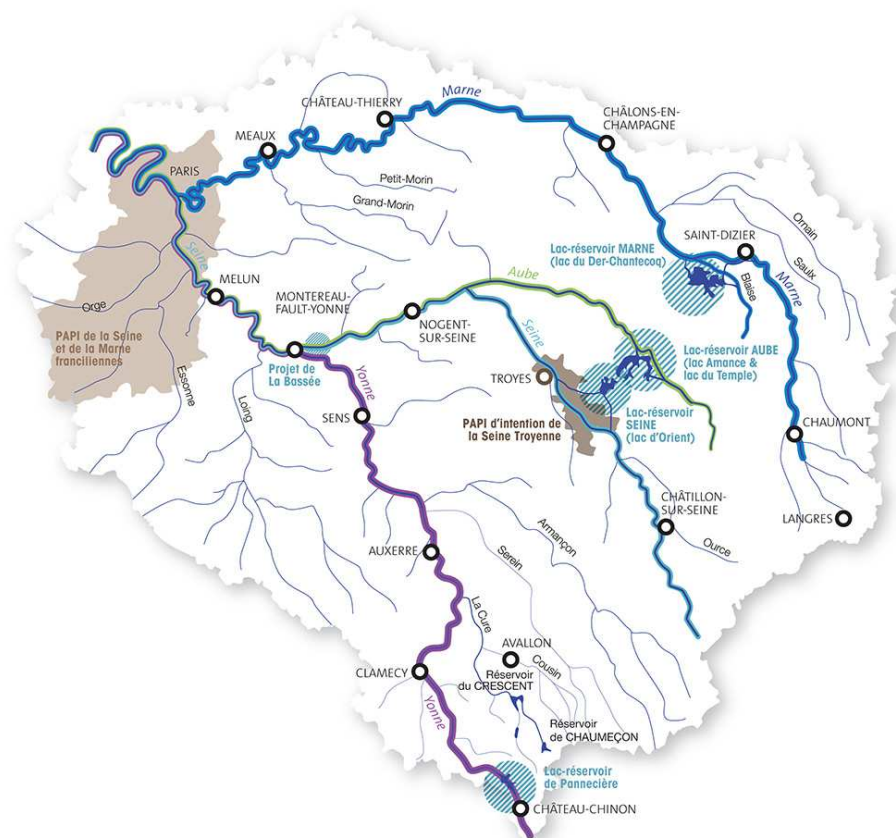
Concernant les mesures de résilience, la revue de l'OCDE dresse un panorama des différentes mesures structurelles et non-structurelles de réduction du risque d'inondation pour la métropole francilienne. Ceci inclut à la fois les mesures de connaissance et de communication du risque, les politiques de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire, la résilience des entreprises et des infrastructures critiques, et enfin les mesures structurelles de protection et de contrôle de l'aléa. Le constat est celui de la prédominance d'une large hétérogénéité dans la mise en œuvre des différentes mesures selon les territoires, et en conséquence de leur niveau de résilience. De nombreuses synergies entre les différentes mesures pourraient être mieux mises à profit par une stratégie cohérente d'ensemble, ambitieuse et sur le long terme d'amélioration de la résilience de la métropole.

Enfin, la revue de l'OCDE aborde la problématique du financement de la prévention du risque d'inondation en Île-de-France. Si elle constate que le niveau de financement de la prévention du risque d'inondation semble approprié au niveau national équivalent à environ au tiers des dommages moyens annualisés, elle note que le bassin de la Seine et la région Île-de-France n'ont pas bénéficié de ces outils de financement au même niveau que les autres bassins. Elle propose la mise en place d'une stratégie de financement à long terme dotée de ressources mieux en adéquation avec le niveau de risque constaté, et qui permettrait de prioriser les mesures de prévention les plus bénéfiques à la réduction de ce risque majeur sur la base d'une analyse cout-bénéfice comparative pour l'ensemble des mesures structurelles comme non-structurelles.

L'approbation du Plan de Gestion du Risque d'Inondation, PGRI du bassin par le Préfet Coordonnateur du Bassin et de la SLGRI d'île de France par le Préfet de Police et le Préfet de Paris à la fin de l'année 2015 contribue à répondre à cette analyse de 2014.

Annexe 9 : Contribution des lacs-réservoirs à l'écêtement des crues et au soutien du débit d'étiage

L'action des lacs-réservoirs est sensible depuis le lieu d'implantation des quatre lacs-réservoirs dans le Morvan et en Champagne humide, jusqu'à la confluence de la Seine et de l'Oise, puis en aval de la région Île-de-France, au moins jusqu'au barrage de Pose.



Les quatre lacs-réservoirs, MARNE (Lac du Der), SEINE (lac de la Forêt d'Orient), AUBE (lacs Amance et du Temple) et le lac de Pannecièrre, sont les instruments permettant à l'EPTB Seine Grands Lacs d'assurer ses deux missions historiques :

- Gérer le risque lié aux inondations en écrêtant les crues ;
- Soutenir le débit des rivières pendant la saison sèche.

Sur l'écêtement des crues

L'influence des lacs est sensible sur un large panel de crue allant des crues fréquentes (2 à 5 ans) aux crues rares, depuis leur immédiat aval. La diminution des hauteurs d'eau est variable en fonction des sites est des crues et peut atteindre localement plus d'un mètre.

A Paris, la diminution des niveaux d'eau varie de 20 cm pour une crue type 1982 à près de 80 cm pour une crue type 1955. Pour une crue type janvier 1910, la diminution des niveaux de l'ordre de 65 cm.

En termes de dommages sur la région Île-de-France, les lacs permettent de les réduire de 25 à 60 % suivant les crues. Cela représente une économie moyenne de 272 Millions d'Euro par an sur cent ans. Pour la crue de janvier 1910, les dommages seraient réduits de 14,5 à 5,9 Milliards d'Euros.

Sur le soutien des étiages

Durant une période qui peut aller de la mi-mai à la mi-décembre suivant les années, les lacs restituent l'eau stockée pendant l'hiver et le printemps pour soutenir les débits des principales rivières du bassin (Marne, Aube, Yonne et Seine). Le débit de déstockage des quatre lacs représente près de 70 m³/s et représente de 20 à 80 % du débit des rivières entre l'amont et l'aval du bassin. **En moyenne, chaque année 50 à 70 % de l'eau traversant la zone urbanisée de la région parisienne est fournie par les ouvrages.**

La pression exercée sur la ressource est importante sur la Seine, par la multiplicité des usages : une centrale nucléaire, plusieurs centrales thermiques, la demande de production d'eau potable, les industries et les stations d'épuration. Depuis la mise en service des lacs-réservoirs, aucun arrêté de restriction d'utilisation d'eau lié à la quantité de la ressource n'a été nécessaire sur les axes régulés.

Annexe 10 : Servitudes liées à la « surinondation »

L'article L. 211-12 du Code de l'environnement prévoit la possibilité d'instaurer des servitudes d'utilité publique notamment pour créer **des zones de rétention temporaire des eaux de crues ou de ruissellement, par des aménagements permettant d'accroître artificiellement leur capacité de stockage de ces eaux (surinondation) afin de réduire les crues ou les ruissellements dans des secteurs situés en aval.**

Les zones de surinondation correspondent donc à des zones de rétention temporaire des eaux par accroissement de la capacité de stockage des eaux d'une zone déjà inondable.

Cette possibilité existe également pour créer ou restaurer des zones de mobilité du lit mineur d'un cours d'eau en amont des zones urbanisées dans des « zones de mobilité d'un cours d'eau » ou pour préserver ou restaurer des zones humides « stratégiques pour la gestion de l'eau ».

Les servitudes d'utilité publique sont créées par arrêté préfectoral, à l'initiative de l'État, des collectivités territoriales ou de leur groupement après enquête publique de droit commun et avis de la Commission départementale des risques naturels majeurs. **Elles ouvrent droit à indemnisation, à la charge de la collectivité qui a demandé l'institution de la servitude.** L'arrêté instituant la servitude peut prévoir, entre autres opérations, la création ou la suppression d'aménagements afin d'assurer l'efficacité de la servitude. Le propriétaire d'une parcelle de terrain concernée par une servitude bénéficie d'un droit de délaissement et peut ainsi demander l'acquisition partielle ou totale de celle-ci par la collectivité qui a demandé l'institution de la servitude.

Pour la réussite des projets mis en œuvre, il est recommandé qu'un protocole d'indemnisation sur une base amiable soit envisagé entre les propriétaires, les exploitants et le pétitionnaire et de préférence avant les enquêtes publiques. Le protocole apporte une garantie de respect des intérêts agricoles et les indemnisations ne modifient pas l'économie du projet au regard des investissements et des dommages évités.

La réduction de la vulnérabilité des enjeux agricoles exposés au risque d'inondation reste un levier d'action essentiel de sécurisation de cette activité économique, que ces enjeux soient exposés au risque d'inondation ou à l'effet d'une sur-inondation.

Par exemple, l'Entente Oise-Aisne a signé un protocole global qui définit le mode opératoire des protocoles locaux et trois protocoles locaux, qui différencient les indemnisations selon les pratiques culturales (prairies ou cultures), la saison d'occurrence des inondations, la proximité avec les aménagements, la forme de la vallée (en lien avec l'augmentation du niveau d'inondation).

A titre d'exemple, des indemnités ont été payées lors de la régulation de la crue de janvier 2011 à Proisy (pâtures). Sur 230 ha de surinondation (jusqu'à +5m pendant 48h), environ 20 000 € d'indemnités ont été versées, auxquels se sont ajoutés 20 000 € de ramassage des flottants échoués dans les parcelles et de remise en état des clôtures.

Avec 3 ouvrages, l'Entente Oise-Aisne dispose d'un fonds abondé à hauteur d'environ 500 000 €, qui permet de couvrir une crue mobilisant ces ouvrages en plein été, et de financer les travaux de remise en état.

Le guide « Prise en compte de l'activité agricole et des espaces naturels dans le cadre de la gestion des risques d'inondation » fournit des éléments de connaissance, des retours d'expériences et des outils pour mettre en œuvre les servitudes

(http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/20160422_guidegtactiviteagricoleespacesnaturelsvoletactiviteagricole.pdf).

Annexe 11 a : Hydraulique douce - réduction des écoulements superficiels en zone rurale

Nota : ce travail est réalisé avec concours de l'Université Pierre et Marie Curie, et particulièrement grâce à la contribution de Léonora Fleurant et de Florence Habets.

La superficie agricole du bassin versant de la Seine à Paris représente 60% de la surface totale :

	km ²	
Surface agricole totale	28 364	100%
Prairies	3 732	13%
Vignobles	385	1,4%

Dans un contexte agricole, indépendamment de l'intensité des pluies, le ruissellement accru est dû essentiellement à trois facteurs : la couverture des sols, le tassement du sol et la formation d'une croûte de battance. Un ruissellement accru induira également une érosion plus intense avec des conséquences qui peuvent être catastrophiques dans certains secteurs du bassin.

Les contraintes anthropiques :

La battance traduit la sensibilité des sols à la fermeture de la porosité en surface, avec formation d'une croûte réduisant l'infiltration de l'eau. Ce phénomène est accentué par certaines pratiques agricoles comme le piétinement excessif, le sol nu ou le labour. Le paramètre textural pour la battance est fonction du type de sol (IFEN-INRA : Le Bissonnais et al., 2002). Les sols limoneux, en particulier les plus pauvres en argile et en matière organique, sont très sensibles à la battance (Vandervaere et al., 1998). **Lorsque la croûte de battance est formée, les pluies ultérieures, même si elles sont de faible intensité, engendrent du ruissellement.** L'Île-de-France (la Beauce y compris), le sud de Picardie et l'arc Jurassique à l'Est du fait de leur sensibilité à la battance sont particulièrement concernés par les sols lessivés et les sols lessivés dégradés (INRA, GisSol).

Le tassement, causé par le passage répété des engins agricoles, réduit, quant à lui, la porosité pour les horizons superficiels et plus profonds. Ainsi l'infiltrabilité du sol limoneux, par exemple, est réduite d'un facteur 10 (INRA : Chahinian et al., 2005 ; Quiquerez et al. 2008) et tombe à des valeurs de 2 mm/h (Cerdan 2001).

L'absence de couverture végétale des sols aggravent les phénomènes de ruissellement et l'érosion.

L'orientation du travail du sol et/ou de semis dans le sens de la pente accélère les écoulements surfaciques.

Le drainage agricole à la parcelle peut influencer la vitesse d'écoulement vers l'aval en fonction de la pluie vs dimensionnement des réseaux de collecte. Sur certains départements du bassin, plus de 50% des SAU sont drainées.

Les contraintes naturelles ou géomorphologiques :

Les pluies supérieures à 50 mm/j sont nécessaires mais non suffisantes pour expliquer l'apparition des crues rapides. **Ainsi, dans les zones cultivées sur limon battant, ce seuil de déclenchement peut être inférieur à 50 mm/j** et le cumul des jours précédents abaisse les seuils de déclenchement (Douvinet & Delahaye, 2010, étude faite en Normandie et Picardie). **Lorsque les pluies sont violentes et intenses, les crues apparaissent indépendamment de l'occupation et du type de sol**, celui-ci n'ayant pas le temps d'absorber suffisamment d'eau. L'encaissement d'un bassin versant, même avec une faible part de surfaces ruisselantes, conditionne la réactivité et l'efficacité hydrologique des bassins (Indice HAND – Nobre et al., 2011). **Mais, plus les surfaces infiltrantes (bois et prairies) sont nombreuses, plus la pluie doit être violente pour déclencher une crue rapide.**

Il y a donc un effet de la forme du bassin versant (pente et encaissement de la vallée, taille, forme compacte) et de l'occupation du sol (agricole, forêt, route, etc.). En fonction du contexte géomorphologique et édaphique, le risque de crue sera plus ou moins important.

Méthodes d'hydraulique douce

Dans le but de réduire les risques d'érosion des sols et de ruissellement rapide, les méthodes d'hydraulique douce répondent à deux objectifs principaux (Boiffin et AREAS 1990, AREHN, 2003) :

- Diminuer la production d'eaux de ruissellement par la mise en œuvre de toutes les techniques réduisant les surfaces à risque de ruissellement (augmentation de la capacité d'infiltration), ou intégrer des zones d'infiltration ;
- Ralentir les écoulements résiduels, par l'allongement du cheminement de l'eau, notamment sur les pentes, l'intercalage d'ouvrages retardateurs sur son trajet, l'utilisation de " chemins d'eau " offrant une certaine rugosité et permettant l'infiltration.

Mise en place de haies, fascines et zones enherbées

Les bandes enherbées : de nombreuses études montrent que les surfaces en herbe sont parmi les solutions les plus simples et les plus efficaces d'hydraulique douce pour réduire les écoulements en permettant l'infiltration²⁷. Sous couvert herbacé, l'infiltration reste quasi constante, comprise entre 50 et 100 mm/h, ce qui signifie qu'une bande en herbe de 10m de large sur 100m de long a la capacité d'infiltrer entre 14 et 28 l/s. Cette mesure sera d'autant moins efficace que les débits d'écoulements sont importants (crues majeures). Le document du CORPEN (2007) sur les zones-tampons fait état de 40 références internationales où l'efficacité moyenne sur la réduction des ruissellements interceptés se situe dans une fourchette comprise entre 40 et 80%, mais pour des ratios Surface en herbe/ Surface en culture compris entre 5 et 370%.

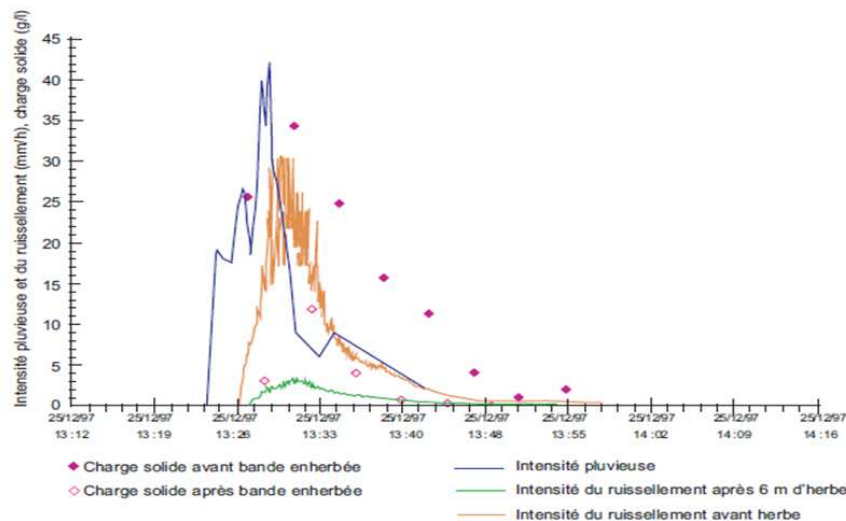


Figure 1 Comparaison des hydrogrammes d'entrée et de sortie d'une bande enherbée (Lecomte 1999)

Selon le CORPEN (2007), les zones enherbées en **bordure de rivière** ont une réelle efficacité au-delà de 10 m de largeur, en infiltrant au moins 50% du ruissellement. On notera toutefois que les bordures de rivières situées dans les fonds de vallée humides, potentiellement saturées en cas de remontée des eaux de nappe ou de l'inondation, pourront au contraire faire partie des zones contributives au ruissellement au sens de Beven et Kirkby²⁸.

²⁷ La bande enherbée de bas de parcelle est efficace si elle a une largeur comprise entre 5 et 20m (CORPEN, 2007).

²⁸ Indice Beven-Kirkby est un calcul de la capacité d'une zone à accumuler de l'eau.

L'enherbement dense et continu en inter-rang des vignes de Champagne²⁹ peut réduire le coefficient de ruissellement jusqu'à 0,4 -1% pour les intensités testées de la pluie de 30 à 76mm/h, alors que le coefficient de ruissellement maximal en inter-rangs nus est de l'ordre de 80% pour la pluie de 26 mm/h (Morvan et al., 2014). Cependant, l'auteur note les effets contradictoires de changement d'échelle rapportés, dus essentiellement aux opportunités supplémentaires pour l'infiltration sur le bassin versant, l'allongement du temps de parcours (effet positif), ou au contraire, une augmentation du coefficient de ruissellement à cause de la concentration des écoulements vers l'aval.

Le couvert herbacé dans le thalweg est une mesure anti-érosive qui peut aussi intercepter le ruissellement des terres labourées situées en amont pour un rapport de superficie 1,2% en herbe (programme de recherche Risque Décision Territoire, Martin 2007). Dans ce contexte, la capacité à infiltrer le ruissellement déterminé se situe en moyenne entre 20 et 30%³⁰. Cependant, pour des pluies de 37 mm en 7 heures (10-20 ans de période de retour) une bande enherbée perd progressivement son efficacité jusqu'à 5 -10% d'eau infiltrée à l'approche de la saturation.

Les bandes enherbées permettent aussi de **ralentir les vitesses d'écoulement** : par exemple, une réduction de 35 à 70% est rapportée pour une de pente 8% (Deletic et al. 2006).

Plus la bande enherbée est large, plus elle est efficace. **Les prairies pourraient donc être des solutions optimales pour l'infiltration des eaux de ruissellement. D'après l'AREAS, la capacité moyenne d'infiltration par prairie sur le département de Seine-Maritime est de 11 300 m³ par an.** De plus, la conversion des petits sous-bassins versants amont (de 2 à 50 km²) en prairie peut réduire de 50-55% le pic de ruissellement à l'exutoire pour une pluie de période de retour de 5 ans et de 40-45% pour une pluie de de période de retour de 25 ans (Gerla, 2007). De même sur un bassin versant de Normandie de 3000 ha, Souchère et al., 2005 ont estimé à partir du modèle STREAM que **lorsque 1% de zone en herbe est ajouté au niveau des zones ruisselantes, le volume exporté par le bassin versant est réduit de 80% pour une pluie longue et intense (40 mm en 6 heures, période de retour de 10 ans). En revanche, si ces zones en herbe sont ajoutées sans stratégie de localisation, la réduction n'est plus que de 12% pour la même pluie. Pour des pluies orageuses plus intenses (25 mm en 1 heure, période de retour de 10 ans), l'effet des mêmes zones enherbées même optimisées sur le bassin devient très faible.** Ainsi, outre le positionnement des aménagements, ce n'est pas la quantité de pluie mais son intensité qui détermine l'efficacité des aménagements (*e. g.* Lecomte, 1999).

De même, Fiener & Auerswald (2006a et b) ont étudié l'enherbement des thalwegs et conçu des modèles pour montrer l'efficacité des chemins enherbés sur le bassin de Lauterbach en Allemagne constitué des sous-bassins de 30 à 1700 ha. A l'échelle des sous-bassins à thalwegs enherbés, les mesures pluriannuelles montrent un abattement de 87% du ruissellement et 68% de sédiments par les aménagements de l'hydraulique douce. A l'échelle du bassin entier, la réduction du ruissellement serait moindre, notamment pour les pluies les plus intenses (jusqu'à 50 ans de temps de retour), où le contenu du sol en eau devient un paramètre important de contrôle de l'infiltration. Ainsi, il n'est pas aisé de traduire les effets mesurés à l'échelle de la parcelle à l'échelle du bassin versant. Cela nécessite la modification des paramètres des modèles ou des formules de ruissellement (Poulard et al. 2013 ; Landemaine, 2016). Ainsi, l'effet de changement d'échelle reste encore à explorer avec les modèles adéquats à parfaire ou à développer.

Pour la préservation de la fonction d'infiltration, beaucoup de recherches ont porté sur les dispositifs enherbés, mais il est tout à fait possible de mettre en place d'autres types de couvert avec des capacités d'infiltration semblables, notamment des surface productrices de biomasse,

²⁹ Dispositifs expérimentaux de 0,25m², pentes de 2 à 5%.

³⁰ Modélisation STREAM (en lien avec le Syndicat Mixte des Bassins Versants du Dun et de la Veules, Seine-Maritime) pour 30 simulations : 3 dates d'occupation du sol x 5 évènements de pluie x 1 scenario d'aménagement (vs situation sans bandes enherbées de 20 à 50m).

comme les haies (cf. programme Innobioma³¹ de la CA76 en cours). Cette piste est très intéressante face à l'absence de valorisation des surfaces en herbe par l'élevage.

Les haies : leur localisation sur le chemin de l'eau ou pas, l'épaisseur des haies (et donc leur âge), tout comme la densité de leur implantation par hectare de culture, jouent un rôle important dans la quantité d'eau interceptée (Viaud, 2004). Par exemple, l'eau interceptée annuellement par les haies est de l'ordre de 27 à 146 mm pour une densité de haies de 27 à 200 m/ha pour les sols bretons limoneux acides.

Sur les sols limoneux, les haies de 5 ans et plus peuvent réduire d'un facteur 10 le ruissellement (CORPEN, 2007) : par exemple, 9m² de haies infiltrent 1l/s (correspondant à la capacité d'infiltration moyenne de 400 mm/h pour des pluies ayant des périodes de retour de 5 ans). La largeur minimale des haies denses doit être supérieure à deux mètres.

Les haies contrôlent le transfert d'eau dans le sol et le sous-sol créant un gradient de potentiel qui attire l'eau des versants. Les haies à système racinaire fortement développé augmentent aussi les flux capillaires pour les haies, ce qui peut influencer la resaturation des sols et des bas de versant au moment de la reprise des écoulements d'automne (Ghazavi et al., 2011).

Les fascines : **Ce sont des barrières végétales faites de branchages morts ou vivants mis sous forme de fagots. Leur vocation première est de limiter les flux érosifs.** En effet, la fascine présente une efficacité immédiate sur la sédimentation des particules grossières (> 125 µm). Elles sont généralement placées dans les bas de parcelles érodées et sur les têtes de thalwegs. C'est leur résistance mécanique qui leur confère leurs propriétés de ralentissement des écoulements et de piégeage des sédiments. Pour réduire les débits, il est nécessaire de placer plusieurs fascines en cascade orthogonalement à l'axe de la pente. Les vitesses de ruissellement sont divisées par 10 et l'arrivée du pic de crue peut être ralentie localement (Richet et al., 2016). En revanche, l'infiltration moyenne reste de faible intensité, mais augmente avec le temps grâce au développement de la végétation autour de la fascine et à l'activité biologique. La haie aura à moyen terme une efficacité assez proche de celle de la fascine pour stopper les sédiments, et sera susceptible de la remplacer pour la fonctionnalité « limitation des flux érosifs ».

La combinaison des haies, bandes enherbées et des fascines permet une efficacité renforcée sur la limitation du ruissellement et sur l'infiltration, le tout sur une plus grande plage temporelle par rapport à des précipitations intenses ou continues. A noter que le drainage agricole peut rendre inefficaces les bandes enherbées et les haies si elles sont implantées sur les sols drainés.

Fossés drainants et noues

Quand ils sont suffisamment dimensionnés, ces objets peuvent être des zones tampons ou de ralentissement des écoulements dans le cas de crues d'intensité moyenne et de fort ruissellement (INRA-ONEMA : Dollinger et al., 2014). La réduction des écoulements se fait par infiltration lorsque le toit de la nappe est situé en-dessous de la surface d'eau libre ou l'exfiltration dans le cas contraire et l'évapotranspiration.

Des réseaux de fossés de collecte à faible pente (perpendiculaires à la pente) et des réseaux présentant une forte macro-rugosité ou une architecture ramifiée et sinueuse peuvent tendre à réduire et différer le pic de crue (Y. Nédélec, 2009 ; Dollinger et al., 2014). Les redents de pierres sèches à travers du lit du fossé, à intervalles répétés, ne constituent pas un obstacle étanche, mais élèvent le niveau de l'eau par rapport à celui d'un fossé entièrement dégagé, à mesure que le débit augmente. Un certain volume d'eau est ainsi emmagasiné dans le lit du fossé au lieu d'être évacué rapidement vers l'aval (Y. Nédélec - entretien).

³¹ Cf. <http://www.chambre-agriculture-76.fr/gestion-de-l'exploitation/energies/produire-de-l'energie/biomasse-energie/innobioma/>

Les noues permettent d'infiltrer 200mm/h pour une zone non-tassée sur sol très perméable, et 10 à 50mm/h dans le cas contraire.

Les drains agricoles sont connectés à l'aval des parcelles à des réseaux de fossés. L'impact hydrologique du drainage agricole associé aux fossés de collecte varie en fonction de l'intensité des pluies (Henine et al., 2012) :

- L'accentuation des crues pour les périodes de retour compatibles avec le dimensionnement du réseau de drainage (un à deux ans) ;
- L'autolimitation et stockage dans le réseau ou les parcelles, pour les crues de période de retour entre cinq et dix ans, le drainage a alors un impact « positif » ;
- Au-delà de dix ans de période de retour, l'hydrosystème étant saturé, le drainage ne montre plus d'impact.

Organisation paysagère

Le dimensionnement des zones-tampons va dépendre de la surface de l'impluvium, la largeur et la distance parcourue au travers de la zone tampon (CORPEN, 2007). Selon Viel et collaborateurs (2014), plus que le pourcentage d'herbages dans les zones de ruissellement, c'est leur organisation et leur structuration dans l'espace qui définit leur capacité à ré-infiltrer partiellement ou en totalité le ruissellement. De même, ce n'est pas la densité de haies mais l'organisation du maillage bocager qui détermine son efficacité hydrologique.

Les fascines et les haies situées immédiatement en aval de surfaces ruisselantes de petites dimensions et très érodables présentent le plus d'intérêt. Il s'agit par exemple des situations suivantes (AREAS : Ouvry et al., 2012):

- au pied des versants concernés par l'érosion en rigoles, c'est-à-dire en majorité ceux qui ont une pente supérieure à 5 % ;
- au pied des versants de pente plus faible (2 à 5 %) mais concernés par des problématiques de pluies intenses sur sol nu (ex : semis de maïs ou de betteraves) ou avec un type d'occupation du sol très ruisselant (ex : pommes de terre), et a fortiori si les parcelles sont cultivées dans le sens de la pente ;
- perpendiculairement aux thalwegs d'ordre 1 et 2 de Strahler, ou sur des axes d'écoulements concentrés (coin de parcelle) sujets à l'érosion en ravines, c'est-à-dire en majorité ceux qui ont une pente supérieure à 1 %.

- ❶ Au pied des versants de pente > 5 % qui souffrent d'érosion en rigole
- ❷ Perpendiculaire à un axe de ruissellement
- ❸ En coin de parcelle
- ❹ A l'interface entre parcelle cultivée et prairie
- ❺ En protection rapprochée d'une zone urbaine
- ❻ En protection rapprochée d'une route
- ❼ En protection rapprochée d'une bétairie (puits karstique)
- ❽ En protection rapprochée d'un ouvrage de réduction des inondations
- ❾ En renforcement d'une bande enherbée le long de la rivière
- ❿ En association avec une bande enherbée de talweg

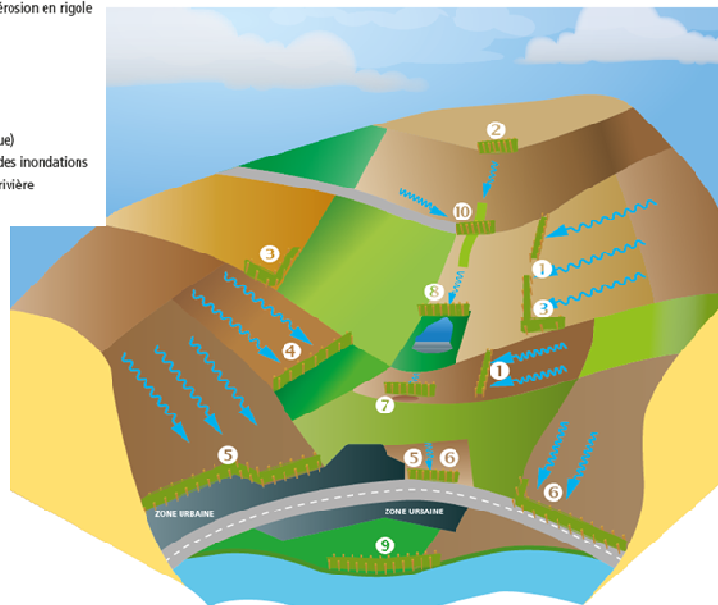


Figure 2 Localisation pertinente des haies et des fascines pour réduire les écoulements

Le type de végétation va aussi être important à prendre en compte : pour les haies, une végétation endémique ligneuse (surtout arbustive) avec des tiges denses ou avec un système racinaire développé et les graminées (à condition qu'elles soient fauchées) est particulièrement propice.

Afin de déterminer les meilleurs emplacements des aménagements d'hydraulique douce en fonction du sens d'écoulement de chaque parcelle agricole, des modèles sont utilisés, comme c'est le cas du syndicat mixte des bassins versants du Dun et de la Veules (Seine Maritime) touché par les problèmes d'érosion et de ruissellement (Figure 3).

Effet d'échelle spatiale

Les travaux de modélisation simulant les écoulements depuis la parcelle jusqu'au petit bassin versant de l'ordre de 1000 km² confirment que les dispositifs d'hydraulique douce sont efficaces lorsqu'ils sont bien positionnés et face à des événements pluvieux dont l'intensité maximale n'est pas trop élevée (période de retour de 10 ans au maximum). L'effet de ces aménagements est conditionné par l'intensité de la pluie, sa distribution au sein du bassin versant, la capacité d'infiltration des sols.

La plupart des modèles appliqués à l'échelle du bassin versant s'accordent sur le fait que l'efficacité des dispositifs d'hydraulique douce « diminue » en passant à l'échelle supérieure. En effet, les événements qui touchent tout l'ensemble de grand bassin versant, ce sont des événements majeurs, alors que les petits événements se produisent à l'échelle des petits bassins versants. Face à ces événements majeurs, les aménagements d'hydraulique douce pourront toujours infiltrer de l'ordre de 1 mm à chaque crue quel que soit la taille du bassin, voire 2 ou 3 mm selon la densité et le type de ces aménagements. De plus, le changement d'échelle s'accompagne de la contribution de sous-bassins versants peu ou pas équipés ou encore cette diminution de l'efficacité des ouvrages pourrait être due au contournement des aménagements et à la concentration du ruissellement vers l'aval (Landemaine, 2016 ; Fiener & Auerswald, 2006).

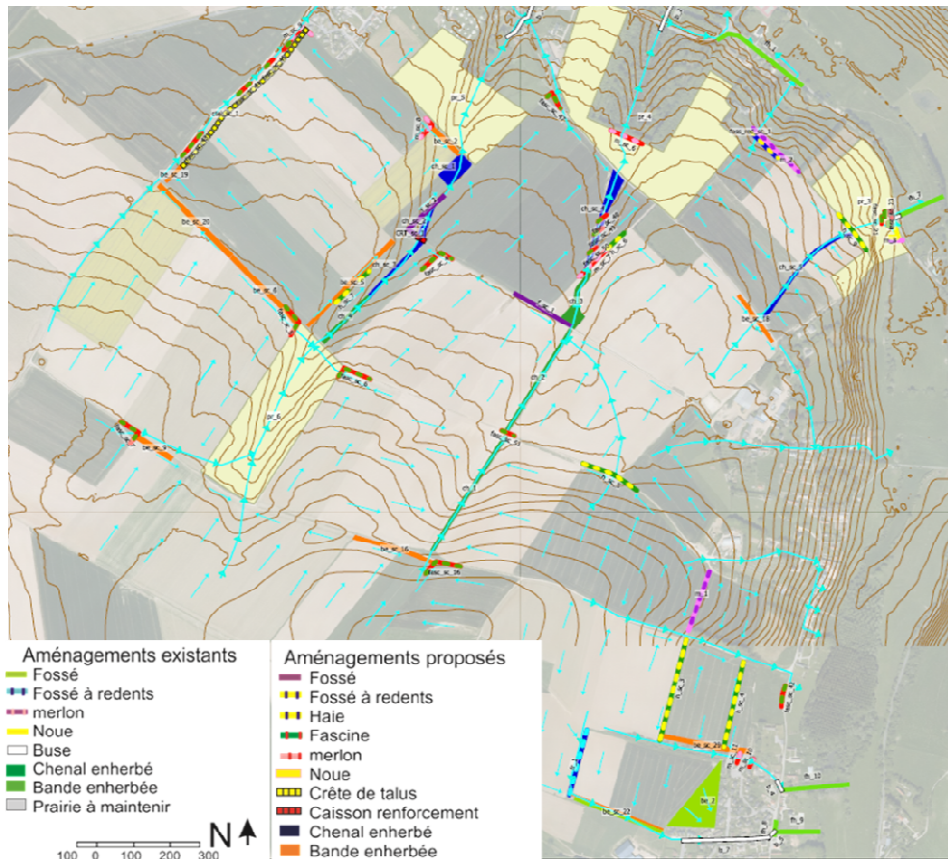


Figure 3 Schéma d'aménagement de Saint-Aubin-sur-Mer avec exemple de localisation des ouvrages d'hydraulique douce (Antea-group/ LIOSE, 2015) Les bandes enherbées sont situées dans les zones de talwegs ou perpendiculaires à la pente ; les haies - perpendiculaires à la pente et les fascines localisées au niveau des petits côtés des parcelles agricoles.

L'établissement de courbes-type décrivant l'efficacité de ces mesures en fonction des caractéristiques des événements pluvieux semble réalisable pour les bassins versants de tailles moyennes représentatives (Landemaine, 2016).

Patrimoine existant des aménagements de l'hydraulique douce

Le recensement des données cartographiques existantes ayant effet sur le ruissellement (notamment des haies, bandes enherbées) a démontré que de telles informations sont très rares et obtenues pour les territoires relativement modestes, touchés notamment par les problèmes d'érosion, de coulées de boues et de crues rapides.

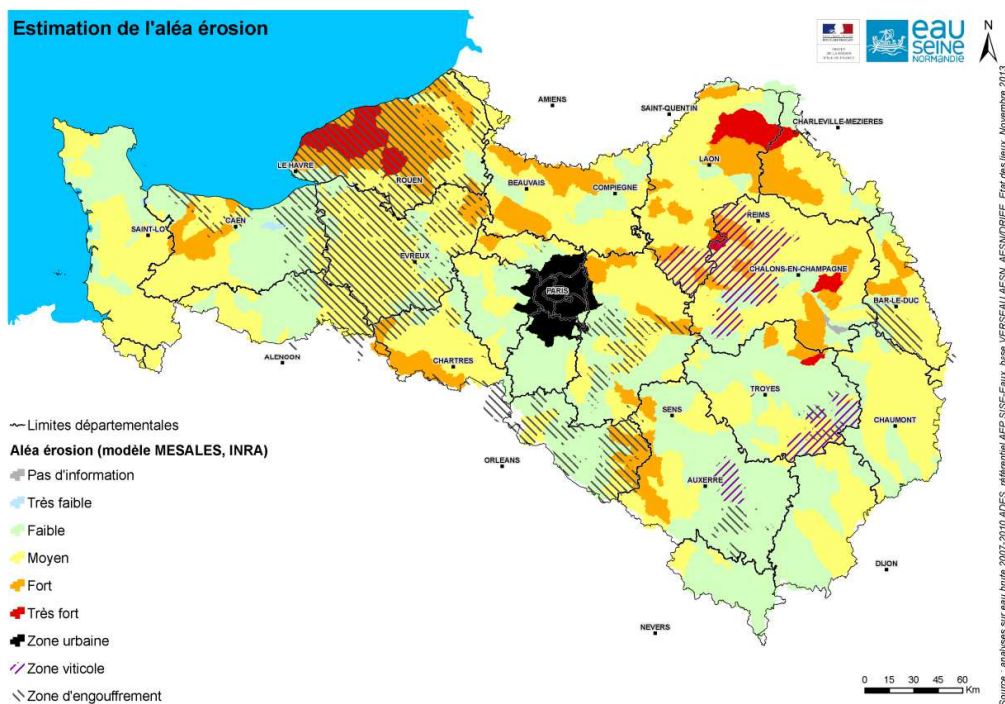


Figure 4 Estimation de l'aléa érosion des sols (modèle MESALES), État des Lieux du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands (2013)

Ainsi, l'ex-région Haute Normandie est pionnière dans le domaine de maîtrise du ruissellement (car plus touchée de France par l'érosion³²). Dans sa base de données (<http://bdcastor.fr/>) sont recensés et caractérisés les divers aménagements d'hydraulique douce (> 2 500), mais aussi les ouvrages structurants (> 1 400).

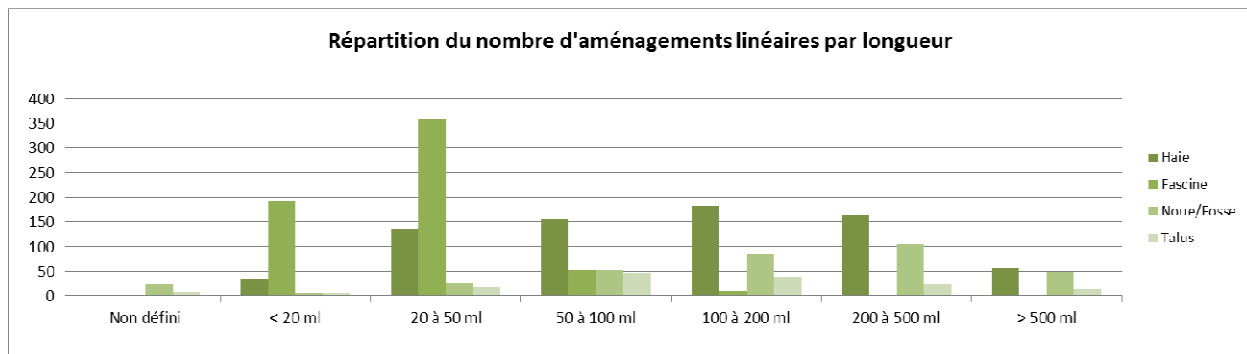


Figure 5 Répartition des aménagements d'hydraulique douce par leur longueur sur les départements de Seine Maritime et de l'Eure (bdcastor, octobre 2016)

Quelques autres recensements peuvent exister dans les parcs nationaux et régionaux ou encore dans les services instructeurs des aides du PDRR, mais il s'agit de données hétérogènes et impossibles à compiler à l'échelle du bassin à ce jour.

Les données géoréférencées à l'échelle de la région avec une résolution suffisante ont été aussi créées en Île-de-France afin de cartographier les éléments fixes du paysage³³ (ECOLINE et ECOMOS). Cet inventaire cartographique a été mené par l'IAU d'Île-de-France et Natureparif et réalisé à partir de photographies aériennes de 2008. Selon ces données et sans préjuger de leur efficacité quant à la

³² En 2000, le département de la Seine-Maritime a été le 4^{ème} département Français au niveau des Cat Nat inondations, causées uniquement par les ruissellements.

³³ Ces données étaient utilisées notamment pour les travaux concernant les Trames vertes et bleues, la biodiversité, la continuité écologique et la rédaction du schéma régional de cohérence écologique (SRCE).

fonctionnalité « hydraulique », les haies représentent 0,07 % des zones agricoles, les bandes enherbées - 0,1 % et les prairies couvrent 3,9% de la région. Une mise à jour de cette base de données est prévue prochainement.

Si de telles données sont manquantes, c'est que les difficultés méthodologiques et financières subsistent pour obtenir ce type d'information à la résolution spatiale suffisante. En effet, les structures /aménagements visés ont des dimensions modestes et nécessitent pour leur détection des moyens aéroportés ou satellitaires, suivis par des traitements informatiques complexes (cf. programme de recherche DIVA -Action Publique, Agriculture et Biodiversité, CAREN ; CES THEIA 2016). **La mise en place d'une stratégie nationale d'acquisition des données répondant à plusieurs objectifs semble nécessaire.**

Pratiques agricoles réduisant les écoulements

En France, il est démontré que les techniques sans labour (TSL) sont capables de limiter le ruissellement dans la grande majorité des cas. **Toutefois, l'impact reste fondamentalement lié aux multiples conditions qui entourent la technique : les TSL permettent (i) de maintenir une couverture du sol (ii) d'augmenter la teneur en matière organique à la surface du sol (iii) de favoriser la création de biopores par l'activité des lombriciens (ADEME, 2007).**

La présence d'un couvert vivant (ex. inter-culture) ou mort (résidus de culture) réduit les ruissellements (10 à 75%) et l'érosion (75 à 95%) à la parcelle : pour que cette couverture du sol soit efficace, les auteurs considèrent qu'il faut dépasser un taux de couverture seuil de 25 à 40% de la surface (Armand, 2010 ; Kwaad et al., 1998). **La rotation de cultures permet de limiter les périodes de sols nus et donc de réduire le ruissellement.** Des simulations réalisées sur un bassin versant aux États-Unis ont montré que le risque de crue pouvait être diminué rien qu'en pratiquant une rotation de culture maïs, soja et alfalfa (Schilling et al., 2014).

Malgré l'efficacité attestée de ces techniques, d'après Maetens et al. (2012, revue bibliographique des études européennes), les mesures d'hydraulique douce ainsi que le maintien d'un couvert végétal ont plus d'impact que les techniques modifiées de travail du sol (non-labour ou labour limité) pour la réduction du ruissellement.

Enfin, pour réduire les écoulements, le sens des semis et du labourage devrait suivre les courbes de niveau afin que les sillons constituent un obstacle au ruissellement.

Application à l'échelle du bassin de la Seine à Paris

Les chiffres donnés ici permettent de comparer l'impact théorique de l'hydraulique douce sur les flux ruisselés abattus. Ce ne sont pas des chiffres « exacts » car une estimation rigoureuse devrait être réalisée par petit sous-bassin versant prenant en compte des données locales (pente, occupation précise du sol, état de saturation, tassement en fonction du type de culture, agencement paysager, pluviométrie, etc.). Et idéalement, ces chiffres devraient être confirmés par des mesures.

Afin de tester le potentiel des mesures d'hydraulique douce à forte capacité d'infiltration en zone rurale, une première estimation avec des hypothèses très simplificatrices a permis d'estimer les volumes qui auraient pu être soustraits de l'écoulement de la Seine à Paris, lors de l'épisode de mai juin 2016. On se base sur la répartition spatiale des précipitations SAFRAN fournie par Météo France sur 16 jours du 28 mai au 12 juin 2016. Pour cet événement le volume de précipitation atteint 5,6 milliards de m³ et le volume d'eau écoulé à Paris en 16 jours est de 1,5 milliards de m³ (en moyenne 1100 m³/s). Il est à noter, que cette crue résulte en partie de la saturation des sols consécutivement à la pluie logue et continue (projet RESSCUE Dupont et al, 2016) et dans ces conditions, les aménagements en hydraulique douce seraient saturés rapidement.

Estimation du ruissellement pendant l'épisode de mai/juin 2016

La part des écoulements des surfaces agricoles a été calculée selon l'équation suivante :

$$Débit = C_u \times P_u + C_a \times P_a + C_f \times P_f$$

Où C_i correspond aux coefficients d'écoulement respectivement pour les zones urbaines (= 0,4 valeur moyenne bibliographique), les zones agricoles et les zones de forêts ($C_a=1,5C_f$). Les coefficients agricole et de forêt sont donc estimés par différence pour obtenir le volume écoulé. P_i correspond aux précipitations cumulées sur les périodes correspondantes, respectivement pour les zones urbaines, les zones agricoles et les zones de forêts. Le coefficient en zone urbaine étant imposé à 40%, le coefficient agricole calculé est égal à 30% et celui des forêts à 20%.

Le **volume global de pluie ruisselée**³⁴, calculé **sur les zones rurales** est alors de **2,9 milliards de m³**.

A noter que la différence de contribution de chaque sous-bassin versant agricole dans l'écoulement global n'est pas estimée. Pourtant, il a été démontré précédemment, que la géomorphologie de chaque bassin, l'occupation des sols, les pratiques culturales et l'agencement des prairies, forêts et les aménagements d'hydraulique douce influencent fortement les flux sortants. Par exemple, le tassement du sol pourrait exacerber le ruissellement. Considérant que 5% de toutes les surfaces agricoles sont sujets à tassement (appliqués aux 4% SAU à risque à l'échelle européenne selon Gis Sol), on obtient 0,2% de la SAU très « ruisselants ». Dans ces conditions, par rapport aux précipitations de mai-juin, cela reviendrait à un volume écoulé fort au droit de ces surfaces tassées de l'ordre de 48 millions³⁵ de m³.

Surfaces théoriques concernées par la mise en place des bandes enherbées et flux théoriques infiltrés

On considère qu'une couverture herbacée (ou tout autre type de couvert/production à forte capacité d'infiltration) de 3% de la SAU avec positionnement sur les thalwegs les plus sensibles et les tournières en aval de parcelles à risque permet de réduire le ruissellement de 25% (Lecomte, 1999) pour un évènement de pluie de 25 mm en une heure. En effet, les expérimentations récentes sur le bassin confirment que les bandes enherbées sur 3,3% de la SAU permettraient de gérer des lames ruisselantes importantes (AREAS, projet PESTICEROS).

Il est à noter que les précipitations maximales observées les 30 et 31 mai sont restées inférieures à 80 mm (avec un maximum ne dépassant pas 10 mm par heure), ainsi, les aménagements d'hydraulique douce judicieusement placés sur les zones ruisselantes, pourraient absorber des volumes conséquents (cf. par ex. Souchère et al. 2005). Généralisé à l'ensemble du bassin de la Seine à Paris, **une extension de 740 km² de bandes enherbées (hors prairies)** aurait permis (sans saturation - hypothèse forte !) de réduire de 680 millions de m³ les volumes écoulés lors de l'épisode de mai-juin 2016.

Toutefois, pour une forte pluie continue, l'efficacité des bandes enherbées³⁶ est réduite (par saturation des sols ou proximité de la nappe) et quelques travaux arguent la diminution de l'effet des aménagements d'hydraulique douce avec changement d'échelle de la parcelle au bassin versant. **Ainsi pour explorer l'hypothèse basse, une efficacité de 5% a été retenue dans ces conditions (INRA : Martin, 2007). Le volume théorique réduit serait alors de 125 millions de m³ soit 15% du volume des barrages.**

³⁴ A noter que ce calcul est très sensible aux coefficients retenus.

³⁵ C'est un volume équivalent au stockage effectué pendant cette même période par les quatre barrages-réservoirs.

³⁶ L'efficacité des bandes enherbées dépend de sa largeur : à la parcelle ou petit bassin versant, leur efficacité est démontrée pour les pluies de période de retour de 10 à 20 ans (en Normandie).

On s'attend à ce que les haies denses et développées aient une meilleure efficacité que les bandes enherbées et pour une surface environ deux fois plus petite.

Estimation du linéaire à équiper par les aménagements d'hydraulique douce³⁷

Tenant compte des principes énoncés plus haut pour le positionnement des structures d'hydraulique douce, un traitement SIG a été effectué afin de faire ressortir les lignes d'écoulement principal grâce au modèle numérique de terrain (MNT 50m) et de les croiser avec les côtés des îlots³⁸ du registre parcellaire agricole (RPG 2014).

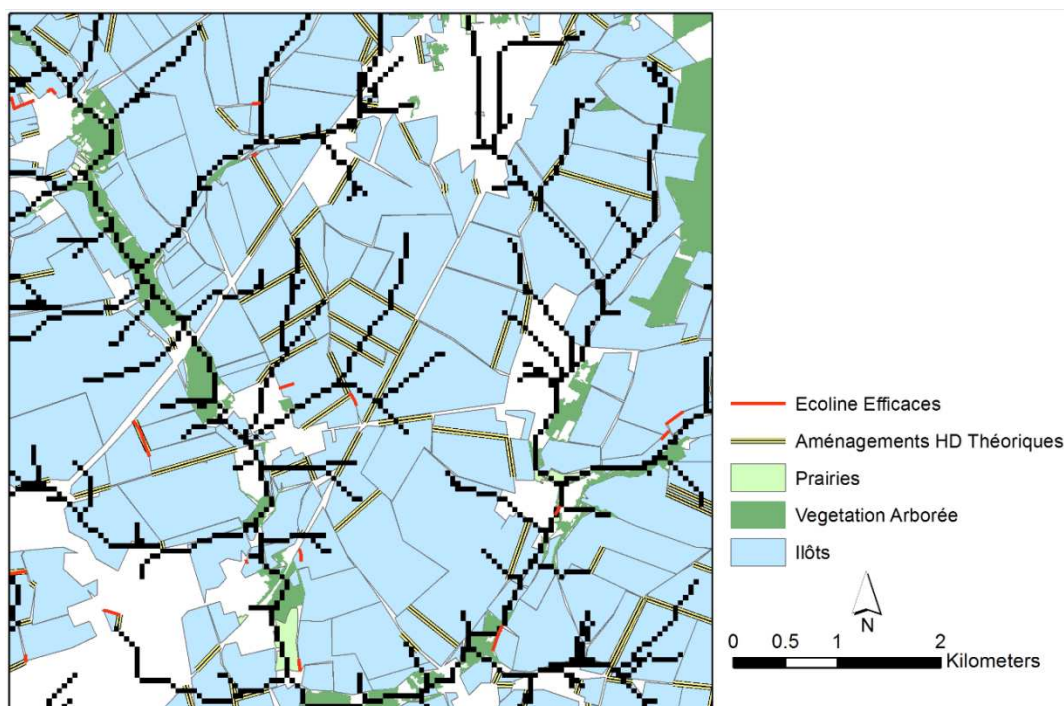


Figure 6 Exemple des résultats obtenus par traitement cartographique : les linéaires sélectionnés pour les aménagements potentiels d'hydraulique douce sur le département Seine-et-Marne (lignes jaunes avec trait noir). Les haies et bandes enherbées existantes (ECOLINE, source IAU Île-de-France) sont représentées en rouge et les écoulements calculés en noir.

A l'échelle du bassin versant de la Seine en amont de Paris, le linéaire global des côtés des îlots recevant l'écoulement maximum obtenu est de 69 000 km (ce qui correspond à l'aménagement de **2 500 m par 100 ha de SAU**). Les îlots jouxtant les prairies ou les forêts (thème « Végétation » de la BD Topo) dans leur partie aval bénéficient déjà de ces formations « infiltrantes » et sont éliminés des traitements suivants. Considérant que les bandes enherbées d'une largeur minimale de 5 m sont réglementaires le long des cours d'eau³⁹, et existantes partout, les îlots rivulaires ne sont plus

³⁷ Les estimations du linéaire à équiper par les aménagements en hydraulique douce sont réalisées avec le concours des experts AESN sur l'hydromorphologie des cours d'eau et modélisation SIG : Hériniana Andriamahefa, Sébastien Tellier et Nicolas Barry.

³⁸ Le Registre Parcellaire Graphique (RPG), administré par l'Agence de Services et de Paiement (ASP), est utilisé pour la gestion des aides européennes (conformément à la réglementation communautaire n° 1593/2000). C'est une donnée déclarée annuellement et un îlot correspond à un ensemble contigu de parcelles culturales exploitées par un même agriculteur. Ainsi, la majorité des îlots renferment plusieurs parcelles.

³⁹ L'obligation d'implanter des bandes enherbées (BCAE 2005 & 2010, L'arrêté du 12 septembre 2006 relatif à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, application de la directive Nitrates, 1992 en zone vulnérable) de 5 m minimum est étendue au-delà des 3% de Surface en Couvert Environnemental (SCE). Tous les cours d'eau éligibles doivent être protégés par une bande enherbée.

sélectionnés, tout comme les îlots à forte pente (> 8%) généralement peu propices à l'installation des aménagements d'hydraulique douce. Le linéaire restant avoisine 36 000 km, ce qui représente seulement 1,2 km par 100 ha de SAU (bien moins que les structures naturelles linéaires existantes en Bretagne). Ainsi, ce linéaire théorique est plutôt minimisé, car il n'est pas calculé à l'échelle de la parcelle mais des îlots, et que l'orientation des côtés des îlots jouxtant les prairies, forêts et bosquets n'est pas forcément « optimale » pour que ces derniers puissent retenir les écoulements majoritaires.

L'analyse comparative réalisée sur l'Île-de-France (Figure 6) montre que les haies et bandes enherbées existantes (ECOLINE, donnée de 2008) sont peu présentes par rapport aux linéaires théoriques restant à mettre en place (moins de 2 000 km de linéaire recensé des haies, bandes enherbées et végétation rivulaire confondues). Cette analyse comparative serait à refaire avec les données à jours sur l'existant.

A titre d'exemple, les rythmes actuels de mise en place des aménagements en hydraulique douce pour la Haute-Normandie co-financés par l'AESN sont d'environ 5 km de haies par an, autant pour les fascines, et entre 50 et 100 mares d'un volume total de 30 000 m³. **Ces rythmes sont insuffisants pour assurer une maîtrise de ruissellement en zone agricole à l'échelle du bassin d'autant plus qu'en même temps 2000 km de haies disparaissent chaque année en Normandie.**

Éléments de coûts

Les coûts unitaires de mise en place des aménagements d'hydraulique douce sont assez faibles mais des frais d'entretien sont à prévoir (Tableau 1). Ces coûts sont confirmés par d'autres sources, telles que la chambre d'agriculture de la région Centre qui chiffre la mise en place d'un linéaire de haies de 100 mètres à un coût maximal de 700€ et le manque à gagner par remplacement d'une surface cultivée entre 10 et 50€. Cependant ce calcul ne prend pas en compte les bénéfices à long terme pour les agriculteurs grâce à la réduction des coulées de boues et inondations de leurs parcelles, création des habitats favorables aux insectes pollinisateurs, auxiliaires, faune cynégétique, valorisation en bois de chauffage et protection des parcelles et habitations en aval.

Tableau 1 : Coût de mise en place et de fonctionnement des ouvrages d'hydraulique douce (source : AREAS ; ONCFS⁴⁰ ; ONEMA⁴¹)

Aménagement	Investissement	Fonctionnement
Zones enherbées	0,033- 0,047 €/m ² (sans indemnités de perte de culture ⁴²)	0,009-0,012 €/m ² /an
Haies à vocation d'infiltration	15 à 17 €/ml (~60€/ml haies denses)	3€/ml/an
Fascines	55 à 80€ /ml	3€/ml/an
Noues et fossés	17€/ml (terrassement et ensemencement en herbe)	

⁴⁰ <http://www.oncfs.gouv.fr/IMG/file/publications/depliants/Agrifaune%20bandes%20enherbees.pdf>

⁴¹ http://zonestampons.onema.fr/system/files/fiche_6_0.pdf

⁴² Par ex, le barème d'indemnités des exploitants agricoles concernés par les aménagements hydrauliques est publié par la Chambre d'agriculture Seine-Maritime et annexé au « Bassins Versants - Guide foncier ».

Sur la base du linéaire minimal à équiper par les aménagements d'hydraulique douce (calculé plus haut⁴³ et hors prairies permanentes), les estimations globales des coûts sont réalisées. Les fourchettes sont calculées en fonction de la densité de la haie ou la largeur de la bande enherbée (de 6 à 10m).

Tableau 2 : Fourchette de coûts pour implantation des haies ou bandes enherbées sur 1 -1,5% SAU à l'échelle du bassin versant de la Seine en amont de Paris (sous l'hypothèse que l'ensemble du linéaire théorique est équipé par le même type d'aménagements : soit les haies, soit les bandes enherbées)

	Coût d'investissement (M€)	Coût d'entretien (M€ / an)
Haies	608 -2 100	0,4 - 107
Bandes enherbées	10,1 - 17	2,6 - 4,3

Afin de donner une idée des coûts pour un projet concret : le coût des travaux pour un bassin versant de 280 ha à Saint-Aubin-sur-Mer (Figure 3) est estimé à 178 000 euros pour les aménagements d'hydrauliques douces linéaires (le coût global avec les ouvrages structurants étant 335 000 €).

Il est important d'analyser les principaux acteurs impliqués dans la mise en place et le maintien des aménagements en hydraulique douce (Figure 7) : deux tiers des aménagements appartiennent aux propriétaires privés (agriculteurs) en Haute Normandie, alors que la maîtrise d'ouvrage est assurée majoritairement par les Syndicats de bassin versant.

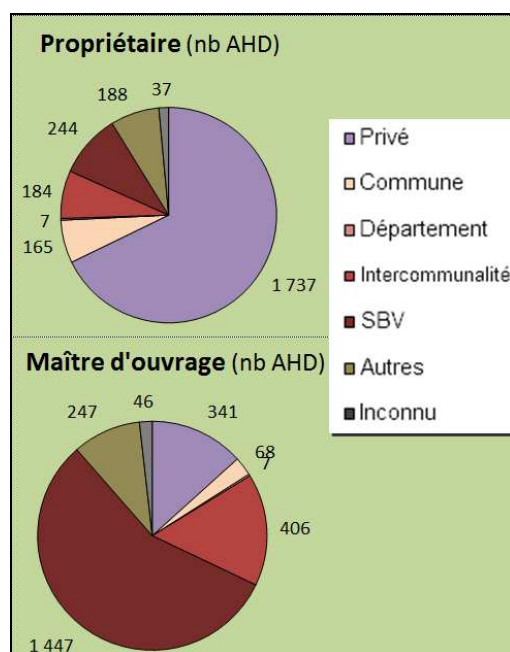


Figure 7 Type de propriétaire et de maître d'ouvrage des aménagements en hydraulique douce recensés en Haute Normandie dans la bdcastor, AREAS (bilan au 18 octobre 2016)

Pour les rythmes d'investissement actuels en Haute Normandie, les coûts globaux varient entre 1,5 et 3 M€ par an. A l'échelle du bassin Seine-Normandie⁴⁴, les coûts d'aménagement des territoires (comprenant aussi les études préalables des bassins versant et l'animation) s'élèvent à 6-8 M€/an.

⁴³ Il correspondrait à 1,5% de la SAU, alors que les travaux consultés montrent une nécessité de dépasser 3% de la SAU. Ainsi, ces chiffres représentent des valeurs basses.

⁴⁴ Il s'agit des coûts des projets co-financés par l'AESN sur 2013-2015.

Concernant les aides publiques, elles peuvent être octroyées par la PAC et par le ministère de l'agriculture afin de faciliter la mise en place de ces aménagements. La PAC demande dans le cadre du "paiement vert" à un exploitant de maintenir ou d'établir des surfaces d'intérêt environnemental (SIE) sur l'équivalent de 5% de sa surface en terres arables. L'aide est d'environ 84€/ha pour la mise en place.

Pour les surfaces au-delà de celles comptabilisées au titre des 5 % des terres arables en surface d'intérêt environnemental, il est possible d'ajouter une aide pour la mise en place de Mesures Agro-Environnementales et Climatiques⁴⁵.

Suivant l'exigence environnementale des mesures et selon les couverts visés (cf. tableau 3), les montants d'aide seront, à titre indicatif, compris entre 50 et 900 euros à l'hectare (<http://agriculture.gouv.fr/maec-les-nouvelles-mesures-agro-environnementales-et-climatiques-de-la-pac-2015>). L'enveloppe de FEADER consacrée aux MAEC entre 2015 et 2020 sera de 200 M€ par an à l'échelle nationale. L'État apportera un cofinancement de 25 %, ce qui représente entre 2015 et 2017 plus de 300 M€.

Tableau 3 MAE attribuée en fonction du type d'opération pour gérer des risques d'inondation (Guide du GT Activité agricole et espaces naturels, 2016)

Type d'opération	Pratiques/systèmes ciblés	Effet dans le cadre de la gestion des risques inondation
Systèmes herbagers et pastoraux	Gestion agro-écologique des prairies et pâturages permanents, maintien des couverts herbacés et des éléments topographiques	Prévention des inondations
Système polyculture/élevage	Maintien/renforcement des synergies entre atelier animal et végétal, réduction des intrants, autonomie fourragère, maintien développement des couverts herbacés etc.	Prévention des inondations/diminution des impacts économiques
Famille COUVER (COUVER 03, 04, 06, 11)	Maintien/implantation et entretien de couverts herbacés ou non productifs, réductions des intrants, couverture des sols laissés nus	Prévention des inondations/diminution des impacts économiques
Famille HERBE (HERBE 11, 12, 13)	Maintien et gestion agro-écologique des prairies et pâturages permanents	Prévention des inondations
Famille LINEA (LINEA 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07)	Entretien des éléments topographiques	Prévention des inondations
Famille MILLIEU (MILLIEU 02, 04)	Maintien, restauration, ouverture et gestion des milieux d'intérêt agro-écologique	Prévention des inondations/ remise en état des milieux

Pour la création d'un couvert herbacé pérenne, l'aide est calculée en prenant en compte le manque à gagner. Elle est de 173€/ha/an pour l'Île-de-France et 294€/ha/an pour la région Centre. A noter que le système d'aides publiques actuel (PDRR) permettrait de rémunérer les agriculteurs du bassin à hauteur de 7 à 12 millions d'euros par an⁴⁶. Cependant, il ne s'agit pas ici d'une analyse coûts-bénéfices menée dans les règles de l'art, mais d'une première estimation.

⁴⁵ Les Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC) sont prévues par le 2ème pilier de la Politique agricole commune (PAC) 2015- 2020, notamment avec la mise en place d'un nouvel ensemble de MAEC. Les Régions gérant le Fonds européen agricole pour le développement rural (FEADER) décident, après consultation de l'ensemble des acteurs concernés, du contenu des Programmes de développement rural (PDR) et des mesures à mettre en œuvre.

⁴⁶ En raison de 84€/ha pour les ZIE et 250 €/ha/an pour les MAEC.

L'un des enjeux ici est de pérenniser les ouvrages, donc de pérenniser les aides mises en place pour éviter la destruction de ces aménagements et ainsi, assurer leur efficacité dans le temps.

Co-bénéfices

Outre la lutte contre le ruissellement, les méthodes d'hydraulique douce sont préconisées pour la réduction de l'érosion et des pollutions d'origine agricole (Borin et al., 2010 ; Lovell and Sullivan, 2006). Ce dernier aspect est aussi largement étudié et le rôle des zones-tampon n'est plus à prouver dans l'abattement des surplus des intrants agricoles. **De plus, les nouveaux habitats créés (haies, bosquets, zones humides, prairies, etc.) sont favorables à la biodiversité et peuvent s'inscrire dans les Trames verte et bleue** (ex. AScA, SOLAGRO : Poux & Pointereau, 2014). Les haies peuvent aussi servir à la production de bois de chauffage, piquets ou plaquettes (CUMA Haies'Nergie et Territoire, Philippe Dilard). **Il y a aussi un effet esthétique** du paysage qu'il faut prendre en compte.

Les mesures d'hydraulique douce favorisant l'infiltration contribuent à la recharge des nappes et donc au soutien des rivières en période d'étiage.

Limites

Quelques études chiffrées sur le bassin de la Seine portent sur les exploitations, communes où bassins versants présentant un risque d'érosion important (Le Bissonnais et al., 2002), tels que territoires en Pays de Caux, dans la Somme ou encore dans le département de la Marne. Les différents opérationnels contactés (SAGE Marne Confluence, SAGE Armançon, SIAHVY, AREAS, etc.) ont aussi confirmé la **faible répartition des ouvrages d'hydraulique douce** sur leur territoire. L'analyse comparative cartographique de l'existants en Île-de-France par rapport au linéaire théorique nécessaire (bien que très minimisé), montre une très faible part des aménagements présents.

Plus encore, à l'échelle du bassin, il semble qu'il y ait une **tendance à la destruction des aménagements réalisés dans les années 2000**. En effet, les démarches pour déclarer les aménagements en hydraulique douce aux aides de la PAC sont compliquées et chronophages, la mise en place est vécue souvent comme une contrainte foncière, nécessitant un entretien (entretien avec T. Puech et C. Schott - INRA). De plus, selon J.-F. Ouvry (AREAS), les prix des terrains agricoles augmentant et l'élevage diminuant, l'acceptation de ces mesures est d'autant plus difficile. Cette diminution est effective et elle est aggravée lorsque les aides ne sont plus attribuées, alors que pour que ces aménagements soient efficaces, la végétation les haies doit être développée et donc implantée depuis de plusieurs années (Y. Nédélec, CEREMA).

Conditions de réussite

Au vu de cette première expertise, les rythmes de l'équipement des bassins en aménagement d'hydraulique douce doivent être accélérés et les pratiques répandues pour permettre une gestion « diffuse » des problèmes du ruissellement et de l'étiage d'aujourd'hui, ainsi que pour s'adapter aux changements hydrologiques futurs induits par le changement climatique.

Les clés du succès (ex. guide du GT Activité agricole et espaces naturels, 2016) sont principalement dépendantes de :

- La relation de confiance entre les parties prenantes et de la compréhension des enjeux à chaque échelle selon la formule « Penser global, agir local »⁴⁷ ;
- La formation, l'encadrement et l'appui des animateurs de terrain, qu'ils soient dans les collectivités et ou dans les organismes de conseils et d'accompagnement des agriculteurs (chambres consulaires, coopératives, négoce, contrôle laitier, centre d'économie agricole, fédération des chasseurs, etc.) ;
- Si possible, la simplification des procédures administratives de déclaration PAC et autres pour ces objets ;
- La définition d'un programme clair, lisible et stable sur 1 ou 2 décennies.

La réalisation des aménagements réduisant le risque de ruissellement et des inondations et contribuant au soutien d'étiage des cours d'eau doit s'appuyer largement sur le principe « gagnant-gagnant » alliant les enjeux de l'activité agricole et des problématiques environnementales et sociales.

A l'échelle locale (cf. les enquêtes réalisées par Syndicat Intercommunal du bassin versant de l'Yères et de la Côte / EPICES, 2008, par ex.) :

- **La planification des actions et aménagements** doit être réalisée à l'échelle spatiale cohérente des bassins versants et être portée largement à connaissance des acteurs du territoire. **En ce sens, les bassins versants qui font l'objet d'une ZSCE⁴⁸, ont les objectifs et les moyens définis et un programme clair pour la réalisation des aménagements d'hydraulique douce ;**
- **Les structures porteuses**, tels que les syndicats de bassin versant, peuvent engager les projets ambitieux (dans le cadre de la réponse aux appels à projet nationaux, ou de bassin Seine-Normandie, par ex.) afin de mobiliser le financement public conséquent et faire connaître plus largement ce projet de territoire ;
- **La mise en place de mesures agricoles incitatives et techniquement argumentées** nécessite une compréhension de leur bien fondé et leur acceptation par les exploitants agricoles : une animation dédiée est nécessaire pour atteindre cet objectif⁴⁹ ;
- **Le projet du territoire** pourrait comporter une délimitation des zones prioritaires d'action. En effet, les servitudes d'utilité publique au titre de la sécurité et de la santé inscrites dans le code de l'Urbanisme peuvent permettre l'établissement d'un zonage. Au sein de ces zones, les usages des terres peuvent être définis et compensés par une aide calculée sur les marges brutes des agriculteurs. Ces outils techniques privilégiant l'hydraulique douce semblent être plus opérationnels que les aides notifiées du PDRR. Dans certains cas, il convient d'envisager le recours à la maîtrise foncière (schéma de substitution de terres facilité avec SAFER, établissements fonciers) et à l'outil réglementaire⁵⁰ ;

⁴⁷ Formule employée au Sommet de la Terre à Stockholm en 1972 par René Dubos, agronome et écologue.

⁴⁸ Zones Soumises à Contraintes Environnementales : la loi sur l'eau et les milieux aquatiques prévoit (art. 21) la possibilité de délimiter des ZSCE, dans lesquelles est défini un programme d'action visant à limiter l'érosion, protéger les zones humides ou protéger les aires d'alimentation des captages.

⁴⁹ Selon cette étude, plus d'un agriculteur sur deux n'a encore jamais rencontré de technicien agricole.

⁵⁰ Certaines situations peuvent exiger une mobilisation des outils réglementaires, tels que les CIPAN et bandes enherbées (Directive Nitrates), l'interdiction de l'arrachage des haies et de retournement des prairies, l'utilisation de la Déclaration d'Intérêt Général pour l'entretien des aménagements...

- **Les MAE correspondent à un degré de technicité agronomique élevé** et renvoient en grande partie à la maîtrise de l'itinéraire technique : ainsi, l'association des experts en agronomie (des chambres d'agriculture, pas ex.) au projet du territoire semble indispensable ;
- **La quantification d'objectifs opérationnels**, l'évaluation des résultats et du chemin parcouru devraient être prévu dans le projet stratégique d'aménagement, suivi de la communication auprès des partenaires techniques (les agriculteurs représentant « le bras armé » du projet) et du public large.

A l'échelle plus globale, les actions suivantes pourraient être envisagées :

- La stratégie d'aménagement et de gestion des ressources en eau du bassin doit comprendre un volet sur la **généralisation des bonnes pratiques de gestion du ruissellement et de l'infiltration à la parcelle** ;
- L'évaluation de l'efficacité des dispositifs d'hydraulique douce et le suivi de l'avancement des travaux sont conditionnés par le **développement de connaissances et une mutualisation des efforts d'acquisition des données homogènes à grande échelle à résolution spatiale suffisante** pour répondre à plusieurs thématiques (gestion du ruissellement/ érosion, biodiversité et continuité écologique, contrôle par les services de l'État, etc.) ;
- **Une réflexion sur l'harmonisation (et simplification) de la réglementation dans le sens de mutualisation des différentes problématiques à traiter pourrait être menée avec l'objectif d'optimiser l'organisation du paysage** et de faciliter la déclaration et l'attribution des aides aux agriculteurs et autres acteurs concernés ;
- **Les mesures agro-environnementales potentiellement intéressantes pour lutter contre l'érosion et inondation présentent un certain nombre d'inconvénients dans la situation présente : le dispositif est instable dans le temps** (alors que les aménagements visés doivent être pérennes), **la procédure de déclaration est complexe pour une compensation relativement modérée et donc, dissuasive pour les souscrivants**. Un examen des possibilités d'évolution des procédures et de la conditionnalité des PDRR serait pertinent pour faciliter le recours à ces dispositifs ;
- **Le contrôle de la réalisation des mesures règlementaires** (ex. couverture des sols en inter-culture, installation des bandes enherbées, présentation des zones humides, etc.) **devrait être renforcé** ;
- Plusieurs bassins versants expérimentaux dans différents contextes hydro-géomorphologiques pourraient servir de terrains d'essais et d'une « vitrine » sur l'efficacité des bonnes pratiques, des aménagements d'hydraulique douce inscrits dans le paysage. Des appels d'offres avec des moyens financiers incitatifs seraient à monter.

Annexe 11b : Gestion à la source des eaux pluviales - réduction des écoulements en zone urbaine⁵¹

Nota : ce travail est réalisé avec concours de l'Université Pierre et Marie Curie, et particulièrement grâce à la contribution de Léonora Fleurant et de Florence Habets.

Les zones urbaines occupent 7 % de la superficie du bassin versant de la Seine à Paris. La plupart des villes sont historiquement situées dans les vallées, et donc vulnérables aux inondations. Cette vulnérabilité est aggravée par le développement de la ville. En effet, dans un contexte d'augmentation de la population de près de 40 % de 1961 à 2011 et de diminution de la taille moyenne des ménages (2,3 en 2007 contre 3,1 personnes en 1968), la surface habitable a été multipliée par environ 2,3 de 1968 à 2007 (CGDD, 2012).

Les objectifs prioritaires visés en termes de gestion des eaux pluviales des zones urbaines diffèrent en fonction du type de pluie considéré (Figure 8). Ainsi, il convient de distinguer les pluies faibles à moyennes des pluies fortes à exceptionnelles. Pour les pluies faibles à moyennes, l'objectif principal sera la maîtrise de la pollution et du bilan hydrologique local d'une part, la maîtrise du ruissellement et de l'érosion d'autre part. Pour des pluies fortes à exceptionnelles, la priorité sera la maîtrise ou la gestion des inondations (MEDD / Certu, 2003 ; LEESU / CU/ AESN, 2013 ; DGALN/ CEREMA / AE, 2014).

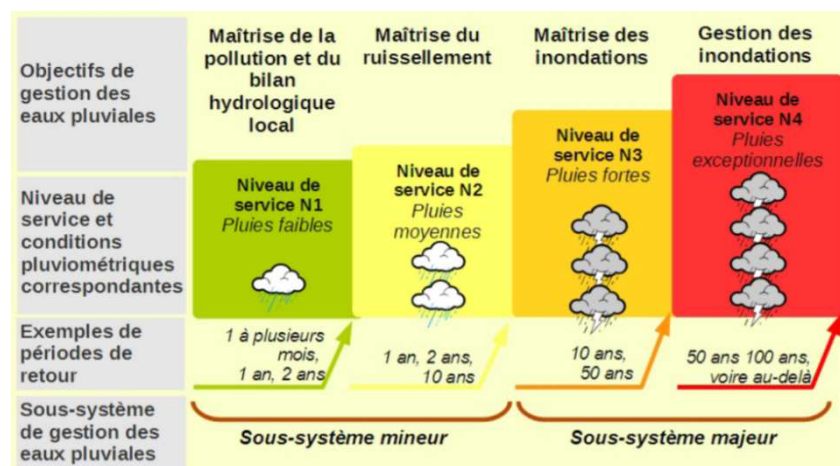


Figure 8 La priorisation des objectifs de gestion des eaux pluviales selon les conditions pluviométriques (DGALN/ CEREMA / AE, 2014, adapté de « La ville et son assainissement », MEDD / Certu, 2003).

Pour les pluies fortes et exceptionnelles⁵² (niveaux de3 et 4), les fonctions principales assurées par le système de gestion des eaux pluviales sont : la gestion des eaux de ruissellement par écoulement et/ou stockage mobilisant tout ou partie du système (hauteurs et vitesses d'écoulement et hauteurs de stockage compatibles avec l'usage des surfaces sollicitées). Pour des pluies de périodes de retour de 10 à 50 ans (niveau 3), des espaces publics et privés peu vulnérables peuvent être mobilisés (tout en respectant des seuils de sécurité d'usage (hauteur de submersion). Pour des pluies de périodes de retour supérieures à 50 ans (niveau 4), il s'agira de gérer des écoulements par des zones faiblement vulnérables à moindre dommage, publiques et/ou privées ; de limiter les risques d'embâcles. Une interface avec des outils de la gestion des inondations (information préventive, plan communal de

⁵¹ Cette annexe a bénéficié d'une relecture attentive et critique de Nadine Aires, expert en eaux pluviales de l'AESN.

⁵² http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents/Fiche_SPE_EP_principes_generaux_integral_decembre_2014.pdf

sauvegarde...) est nécessaire.

L'extension et la densification des zones urbaines déclinées sous forme d'une imperméabilisation croissante des sols ont pour conséquences une augmentation et une accélération des ruissellements, notamment lors de pluies faibles à fortes⁵³. Il en résulte un risque accru de déversements d'eaux polluées dans les eaux superficielles, de débordements des réseaux d'assainissement sur voiries et d'inondations en aval (Bradshaw et al., 2007, Tang et al., 2005, Mejia et al., 2010 ; Tellman et al., 2016 ; Ahiablame and Shakya, 2016). Les évolutions des systèmes urbains mènent aussi à une modification des chemins naturels de l'eau de pluie par les réseaux artificiels, parfois une diminution de la recharge des nappes, et un changement des apports sédimentaires aux cours d'eau (CEMAFREF/IRSTEA : Braud et al., 2011).

Les projections récentes (par exemple, le Grand Paris), indiquent une continuité de cette tendance. **Sur ces surfaces urbanisées très denses le ruissellement est évalué à 60-70% en moyenne**, et pour le tissu urbain discontinu, le coefficient de ruissellement moyen est de 40% (AScA / SOGREAH, 2001).

L'aménagement urbain moderne tend fortement vers le développement simultané des solutions de gestion à la source des eaux pluviales (contrairement à des pratiques antérieures de « tout au réseau »). Ainsi, plusieurs collectivités du bassin de la Seine ont adopté des schémas d'aménagement qui visent à réguler le ruissellement urbain, à l'instar du département de la Seine-Saint-Denis ou du département des Hauts-de-Seine. Le premier impose depuis 1993 de ne pas augmenter les débits vers les réseaux existants, et lorsque le site est initialement vierge d'urbanisation, une régulation du débit de rejet est demandée (<https://www.seine-saint-denis.fr/Ma-maison-et-l-assainissement.html>). Plusieurs bassins versants urbains comportant des aménagements conçus pour répondre à ces exigences de régulation des eaux pluviales ont diminués leurs volumes ruisselés annuels d'environ 50% en comparaison avec une conception « classique », où les eaux de ruissellement sont collectées et évacuées rapidement dans des réseaux d'assainissement (LEESU : Bressy et al. 2014).

Selon Bell et al. (2016), la limitation généralisée de l'imperméabilisation du sol sur les bassins versants serait nécessaire pour réduire les impacts hydrologiques de l'urbanisation, plus que l'atténuation partielle apportée par les ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source.

En matière d'inondations, la gestion à la source des eaux pluviales en zone urbaine a essentiellement pour but d'éviter les inondations de la ville sur elle-même.

Gestion à la source des eaux pluviales

La gestion à la source des eaux pluviales fait appel à une boîte à outils très diversifiés⁵⁴. Ces outils peuvent assurer l'une des fonctions suivantes, parfois les deux :

- régulation des débits ruisselés ;
- abattement des volumes d'eaux de ruissellement.

La seule régulation des débits ne permet pas de réduire les volumes d'eaux de ruissellement. Cette fonction est plus particulièrement mise en œuvre pour résoudre des problèmes d'inondation.

L'abattement des volumes d'eaux de ruissellement par infiltration diffuse essentiellement et/ou par permettant le stockage de l'eau de pluie en vue de sa réutilisation est tout particulièrement recherchée dans une optique de maîtrise des pollutions et du bilan hydrologique local, pour des pluies faibles.

⁵³ Lors d'événements pluvieux exceptionnels, les surfaces perméables ont tendance à se comporter comme des surfaces imperméabilisées.

⁵⁴ Espaces verts en creux, jardins de pluies, noues, cuves de récupération d'eaux de pluie, parking et toitures végétalisées, bassins, tranchées d'infiltration, revêtements poreux, ...

Les deux fonctions peuvent être couplées au sein d'un même ouvrage ou combinées sur des ouvrages distincts au sein d'un même aménagement.

Ce chapitre se focalise tout particulièrement sur les outils permettant de diminuer le ruissellement à la source par infiltration diffuse.

La gestion à la source vise à réduire la part des surfaces « actives »⁵⁵ (lors de pluies faibles, les surfaces actives peuvent être assimilées aux surfaces imperméabilisées), à diminuer les flux ruisselés pouvant mener au débordement des réseaux sur voiries ou au déversement d'eaux polluées par les déversoirs d'orages et à la pollution des milieux récepteurs⁵⁶. Le principe du contrôle à la source est d'éviter la concentration des flux d'eau et de polluants collectés sur tout un bassin versant.

La conception des aménagements urbains doit être pensée à une échelle spatiale cohérente (pour assurer notamment le caractère diffus de l'infiltration), répondre à une large gamme des pluies⁵⁷ et tenir compte de plusieurs critères détaillés dans le chapitre « Co-bénéfices et limites » (comme par exemple, la profondeur du toit de la nappe⁵⁸, la perméabilité du sol⁵⁹, le rapport surface d'infiltration / surface active, la pente⁶⁰).

Même si on ne cherche pas à infiltrer les pluies exceptionnelles à la source, il est indispensable se poser la question des écoulements et points d'accumulation éventuels sur le site et à l'aval du site (donc a minima identifier les exutoires).

Chaque outil peut répondre à un ou plusieurs des objectifs mentionnés en figure 8. L'atteinte de l'un ou l'autre de ces objectifs dépend de la conception de l'aménagement et des différents outils mobilisés. Pour exemple, certaines noues sont conçues comme des ouvrages de collecte ou favorisent exclusivement le stockage et l'infiltration de pluies fortes. Elles n'ont alors que peu ou pas d'incidence sur la réduction des volumes d'eaux de ruissellement à l'échelle annuelle. A contrario, les noues conçues pour infiltrer les pluies faibles de manière diffuse sont très efficaces pour réduire les volumes ruisselés à l'échelle annuelle. En effet, la majeure partie du volume de pluie annuel est généré par les pluies faibles. Ainsi, en Île-de-France, 70% du volume de pluie annuel est précipité avec une intensité inférieure à 5 mm/h (LEESU / CU/ AESN, 2013).

Pour répondre à plusieurs objectifs, la combinaison de plusieurs outils est très souvent nécessaire. Pour exemple, une toiture végétalisée extensive permettra de réduire le ruissellement pour les pluies faibles. Les surplus d'eau lors de pluies faibles, moyennes et fortes pourront être dirigés vers des espaces végétalisés en creux. Après saturation de ces espaces, les excédents d'eau pourront être évacués à l'extérieur du site, par des exutoires clairement identifiés. Il existe une base de données internationale (International Stormwater Best Management Practices (BMP) Database : <http://www.bmpdatabase.org/>) qui regroupe les études effectuées sur les outils de la gestion à la source des eaux pluviales ou meilleurs pratiques d'aménagement (BMP). Cette base de données regroupe plus de 600 références concernant la rétention de l'eau et des différents polluants pour de petits bassins versants de quelques dizaines de m² à quelques dizaines d'hectares, permettant de caractériser la réponse d'une technique. Quelques techniques largement utilisées actuellement sont détaillées ci-dessous.

⁵⁵ Les surfaces actives sont des surfaces qui contribuent au ruissellement. Une surface perméable ne contribue pas aux ruissellements lors de pluies faibles mais réagit comme une surface imperméabilisée lors de pluies exceptionnelles et en cas de saturation des sols.

⁵⁶ Par le mélange d'eaux usées, d'eaux de ruissellements et de remise en suspension des dépôts en réseaux d'assainissement.

⁵⁷ Généralement, ces aménagements ne sont pas conçus pour répondre aux évènements exceptionnels ou aux cumuls importants de plusieurs évènements de pluies.

⁵⁸ Nappe à > 1 m sous la surface.

⁵⁹ Le coefficient de perméabilité < 10⁻⁴ m/s pour éviter le transfert en profondeur d'éventuels polluants et favoriser la recharge en eau du sol.

⁶⁰ Par ex., la noue végétalisée doit avoir une pente < 2% pour permettre l'infiltration.

Les toitures végétalisées

Les toitures végétalisées ont pour objectif de ralentir voire abattre le ruissellement grâce à un stockage et une utilisation par les plantes de tout ou partie de l'eau stockée. La régulation de la vidange se fait au niveau du dispositif de vidange et peut être améliorée par des matériaux drainants.

La capacité de stockage dépend de l'épaisseur de la structure du dispositif, du substrat végétalisé et des espèces végétales (toiture extensive : 4 à 15 cm ; toiture semi-intensive : 12 à 30 cm ; toiture intensive : > 30 cm ; CSFE/UNEP/SNPPA/Adivet, 2007). Il en résulte des efficacités différentes en terme de réduction des volumes d'eaux de ruissellement. Par exemple, une toiture expérimentale à Trappes rend compte de l'efficacité de quatre couvertures différentes (pour une pluie estivale faible de 10 à 15 mm):

- avec une étanchéité nue pour laquelle 90% de ruissellement a été observé ;
- avec du gravier uniquement pour laquelle le ruissellement est de l'ordre de 60-70% ;
- avec du substrat végétalisé, le ruissellement égal à 50% ;
- avec du substrat végétalisé plus épais aboutissant à 30% de ruissellement.

Par rapport aux toitures classiques non végétalisées, les toits verts sont capable de retenir 5 à 10 mm de hauteur de pluie pour environ 90% d'évènements pluvieux étudiés (23 ans de chronique en Seine-Saint-Denis explorés, LEESU-CEREMA : Versini et al., 2015). D'autres travaux ont démontré l'efficacité de ces toitures : Dietz (2007) rapporte que les toits verts peuvent réduire de 60-70% le volume d'une pluie d'orage et Alfredo et al. (2010) montre que le pic de décharge peut être réduit de 30-78%.

Pour les évènements pluvieux dépassant la capacité de stockage du toit, les écoulements vont être au mieux légèrement freinés sans réduction du ruissellement après saturation (seul le volume initial stocké sera soustrait des flux ruisselés).

La réduction des volumes du ruissellement est significative pour les pluies faibles à moyennes. Les toits verts sont donc efficaces globalement pour réduire les volumes d'eaux de ruissellement à l'échelle annuelle mais cet abattement est variable d'un évènement pluvieux à l'autre. **Les toits verts sont par contre peu efficaces pour les pluies exceptionnelles, le cumul d'eau de l'évènement pluvieux dépassant souvent les capacités de stockage de la toiture** (CEREMA : Ramier, 2016).

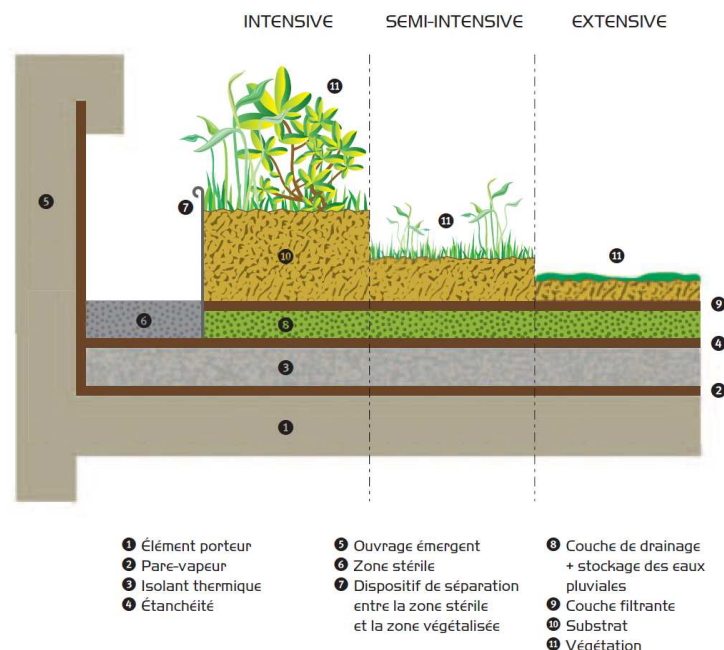


Figure 9 Schéma des différents aménagements des toitures stockantes (ADOPTA)

A l'échelle de la France, il y a une augmentation du nombre de toits végétalisés ces dernières années (ADIVET), avec 1 million de m² par an supplémentaires. Des règles professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées précisent notamment les conditions de mise en œuvre du complexe isolation-étanchéité, la constitution du complexe de végétalisation ainsi que l'entretien à réaliser (CSFE/UNEP/SNPPA/Adivet, 2007).

Les chaussées poreuses

La mise en place de chaussées poreuses entraîne une réduction efficace des débits de pointe (jusqu'à 42% par rapport à une chaussée traditionnelle) et un retard du pic de crue (étude conduite près d'Oxford, sur 20 événements pluviaux). Il y a aussi une réduction significative de l'évaporation (Abbott et Comino-Mateos, 2003). Un abattement de 20% des volumes ruisselés a été mesuré sur l'A10 lors d'un suivi de 4 mois, sur 31 ruissellements (Grange et al, 1999).

Les chaussées poreuses étudiées dans l'est de l'Ecosse permettent réduire les flux d'eau ruisselés de 50%, avec le temps de retard pour le pic de 45 à 145 min (Schlüter et al. 2002).

Bassins paysagés, noues et tranchées d'infiltration

Les noues (fossés larges et peu profonds), peuvent être utilisés de multiples façons pour gérer les eaux pluviales (fonction d'infiltration, de stockage, voire de transport). Les incidences sur la réduction des volumes ruisselés sont précisées plus haut.

Intégrées dans les espaces verts (comme élément paysager à végétation de zone humide, par ex.), les noues peuvent mettre en scène une très grande diversité d'espèces végétales. Leur conception paysagère offre de nombreuses possibilités (Communauté d'agglomération d'Hénin Carvin, 2009).

Depuis 20 ans, l'agglomération de Douai a équipé de dispositifs d'abattement volumique (principalement des noues et des chaussées d'infiltration) environ 20% de son territoire. Ces dispositifs dimensionnés pour des pluies de temps de retour de 5 à 20 ans ont protégé contre l'inondation le secteur concerné lors d'une pluie centennale (80 mm en 6 heures), alors que tous les autres secteurs de l'agglomération étaient inondés (<http://adopta.fr/>).

A Marne-la-Vallée, les bassins en eau le long de l'affluent de la Marne ont permis de réduire le débit à 4 m³/s au lieu de 15 m³/s pour l'évènement de mai-juin 2016 (LEESU-ENPC : B. Tassin).

Cas de l'Île-de-France

Le recours croissant aux solutions permettant de gérer à la source les eaux pluviales et particulièrement en Île-de-France (cf. exemples ci-dessous), répond à plusieurs problématiques urbaines alliant l'efficacité des aménagements à la réduction des coûts globaux (investissement, entretien et maintenance sur la durée de vie de l'ouvrage, cf. chapitre « Eléments de coûts »).

Il existe une large littérature technique sur l'efficacité pour la réduction des volumes d'eau de ruissellement d'un grand nombre d'outils de gestion à la source pour les pluies courantes. En revanche, relativement peu de mesures de terrain en France ou à l'étranger, pour les événements de forts à exceptionnels en raison de la rareté de telles pluies. Les modèles sont donc utilisés (principalement à l'échelle de la commune et rarement à l'échelle d'un bassin versant urbain ou périurbain), pour explorer ces événements (Braud et al., 2011 ; Bressy et al. 2014 ; Roux et al. 2013 ; Lee et al., 2012 ; Alves et al., 2014; Ahiablame et Shakya, 2016, etc.).

La Seine-Saint-Denis, étant depuis longtemps soumise à des aléas de débordement de réseaux, a débuté les aménagements pour la gestion des eaux pluviales dans les années 1970 (LEESU : G. Petrucci, 2012) par une politique de traitement du problème à l'aval (une trentaine de bassins enterrés). **Depuis, le département a développé les dispositifs de gestion à la source.** A partir d'une base de données recensant tous les ouvrages, le calcul de la capacité de stockage est estimée à 1,3 millions de m³ ce qui représente un stockage diffus d'une pluie de 14 à 20 mm. A partir de 2003, le rythme d'équipement est de 50 000 m³ supplémentaires par an pour les dispositifs de gestion à la

source. Le département étant particulièrement sensible aux inondations (ancienne zone de marais densément urbanisée), les solutions mise en œuvre privilégient la régulation des pluies fortes. Malgré les fortes contraintes de sols, des aménagements permettant une réduction des volumes d'eaux de ruissellement pour les pluies faibles ont été mis en place par des établissements publics territoriaux tels que Plaine Commune et Est Ensemble.

Sur le département des Hauts-de-Seine (Roux et al. 2013), plus de 4 % des surfaces urbanisées faisaient l'objet, en 2012, soit d'une déconnexion, soit d'une régulation à faible débit. Des simulations réalisées à l'aide du modèle hydraulique des réseaux d'assainissement montrent que les volumes débordés pour une pluie décennale seraient réduits de 8 % par rapport à la situation antérieure (avant déconnexion ou régulation). **Le recensement des projets d'urbanisme connus fait ressortir un potentiel de renouvellement urbain portant sur près de 15 à 20% de la surface urbanisée du département dans les années à venir.** Si les eaux pluviales de ces surfaces devaient à l'avenir être déconnectées du réseau unitaire ou régulées, cela permettraient de réduire d'environ 33% les volumes annuels d'eaux résiduaires rejetés en Seine – en temps de pluie - par les déversoirs d'orage. De 2004 à mi-2012, 457 ouvrages ont été répertoriés avec un volume de stockage de 50 000 m³ et 263 ha de surfaces déconnectées ou régulées (Roux et al. 2013).

La ville de Paris, à faible taux de renouvellement urbain (0,5%/an), met en place des politiques de végétalisation. En effet, depuis le début des années 2000 il y a une volonté de réduire les volumes rejetés à la Seine. En 2005 est mise en place une gestion à la parcelle des eaux de pluies avec l'objectif d'abattre suivant les secteurs de la ville, de 4 à 16 mm de pluie. Ce zonage pluvial prend en compte notamment la configuration topographique et la composition du sous-sol (risque de dissolution du gypse) (Nezeys, 2013). Pour la régulation des pluies moyennes à fortes (jusqu'à la pluie décennale), la municipalité va favoriser l'implantation des stockages à l'air libre, sous la forme de bassins paysagers à niveau d'eau variable peu profonds⁶¹ ou de zones inondables. Quant aux **solutions techniques permettant l'abattement volumique des pluies, elles ont été hiérarchisées en fonction de leur intérêt écologique, de leur efficacité, de leur adaptabilité aux tissus urbains et de leur coût** (Nezeys, 2013). Sont privilégiés, par ordre de préférence :

- Les solutions végétales (jardins de pluie, toitures végétalisées) ;
- Les étangs d'infiltration et les bassins d'infiltration à ciel ouvert ;
- L'infiltration par revêtement poreux sur pleine terre ;
- L'infiltration par ouvrage enterré (puits et tranchées d'infiltration).

Dans le Val-de-Marne, la politique fut par le passé de mettre en place principalement des bassins de stockage (Deroubaix et al., 2012). **Depuis peu, la Direction des services de l'environnement et de l'assainissement, a intégré le dérèglement climatique comme une composante du développement et du fonctionnement de son réseau départemental d'assainissement, pour une gestion intégrée des eaux pluviales en favorisant la mise en œuvre d'une gestion à la source** des eaux pluviales (favoriser l'infiltration, utiliser des noues, toits terrasse, bassins, bacs de récupération...). Le Conseil départemental a ainsi créé un « Zonage pluvial départemental » composé de prescriptions sur les possibilités d'infiltration. Les limitations de débit du zonage ont été basées sur les débits acceptables par les réseaux, ramenés à la surface des bassins versants.

Des villes telles que Les Mureaux et Mantes-la-Jolie ont mis en place de nombreuses zones d'infiltration des eaux pluviales. Dans le cas des Mureaux, la création d'une boîte à outils pour la gestion à la source des eaux pluviales a permis d'atteindre les objectifs de gestion de la pluie de 35 mm et 0 rejets à l'échelle de la commune.

Bien que dimensionnées généralement pour les pluies de périodes de retour inférieures à 10 ans, certains ouvrages peuvent réduire le pic du débit ruisselé des pluies ayant un temps de retour de 50 à 100 ans de 7 à 15% (Lee et al., 2012). Ahiablame et Shakya (2016) montrent que l'association de

⁶¹ Le niveau d'eau stocké ne dépassera pas la hauteur de 40 cm pour des raisons de sécurité.

différentes techniques peut être très efficace pour réduire des inondations importantes par ruissellement ou débordement de réseaux.

Application à l'échelle du bassin de la Seine à Paris

Au vu des surfaces urbanisées relativement modestes par rapport aux autres types d'occupation des sols dans le bassin (i.e. agricole, sous forêts), leur apport global dans le débit écoulé est faible. Toutefois, à l'échelle plus locale et pour des bassins versants urbanisés (comme celui de l'Yvette), un impact non négligeable est calculé dans la survenue de la crue de 2016.

En toute rigueur, les estimations de la contribution des zones urbaines dans le ruissellement global du bassin devraient être réalisées par bassin versant urbanisé, tenant compte de la dynamique de la pluie et de l'état de fonctionnement (saturation) des aménagements existants ou futurs. Cette évaluation étant impossible à ce jour, une première estimation avec des hypothèses très simplificatrices a été réalisée afin de tester le potentiel des mesures de gestion à la source des eaux pluviales en zone urbaine. **Il s'agit d'estimer les volumes théoriques qui auraient pu être soustraits de l'écoulement de la Seine à Paris lors de l'épisode de mai juin 2016.** On se base sur la répartition spatiale des précipitations SAFRAN fournie par Météo France sur 16 jours du 28 mai au 12 juin 2016. Pour cet évènement le volume de précipitation atteint 5,6 milliards de m³ sur le bassin versant en amont de Paris et le volume d'eau écoulé à Paris en 16 jours est de 1,5 milliards de m³ (en moyenne 1100 m³/s). Le cumul de pluie représente une pluie ayant une période de retour de 200 ans, avec un cumul journalier -50 mm/j, correspondant à la période de retour estimée à 10 ans. Dans ces conditions, les sols, les surfaces perméables et les ouvrages de gestion des eaux pluviales ont été très certainement saturés.

Les chiffres publiés par la direction de l'Eau du département des Hauts-de-Seine, montrent que la réduction de 4% de surfaces actives aurait une efficacité de 8% sur les volumes rejetés via les déversoirs d'orage, ce qui correspondrait à 0,6 % des volumes ruisselés à l'échelle pluriannuelle (Roux et al. 2013). Cependant, l'efficacité de 8% concerne la baisse des rejets aux déversoirs d'orage du réseau unitaire pour une année moyenne et non pour un épisode particulièrement long et abondant de pluies, comme celui observé au mois de mai 2016. Pour un tel épisode, on peut s'attendre à une efficacité bien plus faible en raison de la saturation du sol et des ouvrages. Elle ne doit pas dépasser quelques % pour l'épisode de mai 2016 (probablement moins de 3%). En effet, sur le réseau unitaire des Hauts-de-Seine, seuls 10% des volumes d'eaux pluviales annuellement collectées finissent aux déversoirs d'orages. Les 90% restants sont rejetés en Seine via les STEP vers lesquelles elles sont transportées. L'impact des solutions de gestion à la source sur ces 90% restants est lié à la part de surface active déconnectée, à concurrence de la capacité de stockage des ouvrages (quelques dizaines de mm). Pour 4% de surface active déconnectée, c'est au maximum 4% de ces quelques dizaines de mm qui sont soustraits au ruissellement, et beaucoup moins ensuite (car une fois saturé, seul le faible débit de fuite vers le sous-sol contribue à réduire le ruissellement). S'il s'agit de régulation des débits, l'impact est de 0% dès le premier mm car tout est restitué, certes à faible débit, mais sans perte de volume. Pour les réseaux séparatifs pluviaux, 4% de déconnexion de surface active valent 4% de réduction des apports, avant saturation des ouvrages, puis beaucoup moins ensuite (DE CD92 : C. Roux, 2016).

En partant de ces considérations (-4% de surface active et -0,2% de volume ruisselé en 16 jours de mai à juin 2016), le volume théorique réduit à l'échelle du bassin versant de la Seine à Paris serait de 0,3 millions de m³ pour l'évènement de 2016.

Pour un traitement de 17%⁶² des surfaces actives de l'ensemble des zones urbaines du bassin de la Seine à Paris par des solutions de gestion à la source, le volume théorique réduit est évalué à 1,5 millions de m³ ce qui représente 1% du volume total ruisselé (soit 151 millions m³) en zone urbaine

⁶² Selon les prévisions départementales (Roux et al. 2013), ces solutions de gestion à la source peuvent être étendues sur 17% de surface active dans les années à venir.

en 16 jours. Ce calcul est sensible aux variations du coefficient de ruissellement⁶³ et à la représentativité du département 92 à partir duquel l'extrapolation a été réalisée.

Les plans de renouvellement urbain étant sur 10 ans et le taux de renouvellement généralement de l'ordre de 0,5% dans la zone d'habitation dense, les surfaces traitées annuellement pour implanter des solutions de gestion à la source restent faibles (environ 25-35 ha d'espace public par an à Paris et Petite Couronne). Par comparaison, la ville de Munich a réduit de 6% ses surfaces actives en 15 ans (de 1996 à 2010). Les rythmes d'urbanisation sont toutefois plus importants dans les départements ayant de nouveaux espaces fonciers à investir.

En France 200 quartiers, concernant 2 millions d'habitants ont été déclarés « quartiers prioritaires pour le renouvellement urbain » par ANRU⁶⁴ (www.anru.fr). En Île-de-France, ces quartiers 89 représentent 74 km² ce qui correspond à 0,6% de la surface totale de la région.

Éléments de coûts

Tableau 4 Coûts et durée de vie des ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales (ADOPTA)

Dispositif	Investissement	Durée de vie
Toitures végétalisées extensives	40 à 70 € / m ²	30 ans
Toiture jardin	100 € / m ²	30 ans
Chaussée drainante	240 à 450€/ml	30 ans
Noues et fossés	17€/ml (terrassment et ensemencement en herbe)	30 ans
Massif drainant	60 à 100 € /ml	20 ans
Puits d'infiltration	900 à 1300€ l'unité	20 ans

Les solutions de gestion à la source des eaux pluviales sont systématiquement plus économiques que les solutions traditionnelles (réseaux pluviaux ou unitaires), aussi bien en investissement initial qu'en coût global comprenant l'entretien après 10, 20 et 60 années d'utilisation (ASTEE : Chocat, 2016). Ces coûts devraient aussi prendre en compte le coût du personnel dédié (pour contrôle et entretien) et de sa professionnalisation (formation).

De plus, dans certains cas comme pour Bordeaux Métropole (une autre métropole pionnière en France) a été amenée à reprendre la main par contrat sur l'entretien des techniques alternatives implémentées sur le domaine privé car ceux-ci étaient mal entretenus (CUB : Bourgogne, 2010).

Tableau 5 Coûts de la maintenance des ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales (Chocat, 2016)

	Maintenance légère	Maintenance lourde
Puits	Inspection visuelle 2 fois	Décolmatage tous les 10 ans : 3 000 €

⁶³ Le coefficient de ruissellement sur les surfaces urbanisées de 0,4 est une valeur moyenne citée dans la littérature. Cependant, dans la zone urbaine très dense, ce coefficient peut être plus important (0,6 - 0,7). Le volume précipité est de l'ordre de 377 millions m³ sur les zones urbanisées pour l'épisode de mai-juin. Ainsi, le volume total ruisselé en zone urbaine sur l'ensemble du bassin de la Seine en amont de Paris est obtenu comme suit : 377 x 0,4 = 151 millions m³.

⁶⁴ Agence Nationale pour le Renouvellement Urbain.

	par an : 250 €* pour tous les puits	
Tranchée drainante	Inspection visuelle 1 fois tous les 2 ans : 250 €	Réfection partielle (10 % tous les 10 ans), c'est-à-dire en cas d'accident ou d'intervention du concessionnaire Curage partiel (25 % tous les 10 ans) c'est-à-dire pas systématiquement : 3 000 €
Pavés enherbés	/	/
Enrobé poreux	Test de perméabilité au drainomètre tous les 2 ans : 500 €	Réfection partielle (25 %) tous les 10 ans Décolmatage partiel (25 % tous les 10 ans) : 5 €/m ²
Noue plantée	2 fauches par an : 400 € Inspection visuelle 1 fois tous les 2 ans : 250 €	Réfection partielle (10 % tous les 10 ans), c'est-à-dire en cas d'accident ou d'intervention du concessionnaire Aération partielle (25 % tous les 20 ans) c'est-à-dire pas systématiquement : 1 000 €
Bassin d'infiltration enherbé	2 fauches par an : 400 € Inspection visuelle 2 fois par an : 250 €	Décolmatage partiel (25 % tous les 10 ans) c'est-à-dire pas systématiquement : 3000 €
Arbre	Nettoyage des grilles 1 fois tous les 5 ans : 500 € Elagage tous les 5 ans : 200 € pour les grands arbres, 150 € pour les arbres moyens	10 % repris sur 60 ans (pour les fosses arbres, compter 1000 € → la fosse n'est pas à refaire)
Jardin de pluie	Paysager/jardinage 2 fois par an : 45 €/h	/

Des coûts comparés (investissement et entretien) sont également proposés par La Communauté d'agglomération d'Hénin Carvin pour 11 variantes de noues paysagères (Communauté d'agglomération d'Hénin Carvin, 2009). La mise en œuvre et l'entretien ont été chiffrés pour des noues légèrement profilées d'une emprise totale de 3 mètres de large sur une longueur de 500 mètres. Ces coûts sont établis au m².

Tableau 6 : Coûts d'investissement et d'entretien de 2 types de noues paysagères (Communauté d'agglomération d'Hénin Carvin, 2009)

	Investissement (en €)	Entretien (en €) – Total sur 10 ans
Noues engazonnées tondues	7 635	45 435
Noues avec plantes vivaces amphibies couvre-sol	10 605	42 405 Dont cout des années 1 et 2 = 9 900 /an Cout année courant = 1500 /an

Co-bénéfices et inconvénients

Au-delà de la lutte contre les débordements de réseaux sur voirie ou d'inondations par ruissellement lors de pluies moyennes à fortes, une partie de ces aménagements en zone urbaine permet ou a pour objectif principal, de **réduire les volumes d'eaux de ruissellement collectés dans les réseaux d'assainissement afin de diminuer les rejets de polluants par temps de pluie aux exutoires des réseaux d'assainissement (rejets constitués d'un mélange d'eaux usées, d'eaux pluviales et de remises en suspension de dépôts en réseaux) lors de pluies faibles. La multiplication des surfaces végétalisées permet de lutter contre les îlots de chaleur et contribue également à la séquestration du carbone** (Barraud et al., 2015; De Munck, 2013). Ce type d'aménagements peut aussi permettre d'améliorer l'esthétique du paysage urbain et la vie des riverains. Par exemple, sur Potsdamer Platz à Berlin, les eaux pluviales de voirie et de toitures sont recueillies à la fois dans des cuves souterraines et dans des bassins à surface libre. Les bassins jouent le rôle d'évaporateurs géants et abaissent la température du quartier de plusieurs degrés selon les concepteurs. Les cuves servent de réserve pour l'arrosage des espaces verts, les chasses d'eau de certains immeubles et la réalimentation des bassins paysagers (ASTEE, 2013). On a également mis en évidence que la végétation en milieu urbain contribuait à diminuer le niveau de pollution atmosphérique. La gestion à la source des eaux pluviales urbaines doit être plus largement prise en compte dans les projets d'urbanisme et peut être un élément dynamisant dans les politiques de renouvellement urbain.

Une gestion à la source des eaux pluviales favorisant une infiltration dans le sol diffuse et lente⁶⁵ et tenant compte du contexte hydrogéologique, ne devrait pas conduire à rehausser le niveau des nappes par rapport à la situation avant urbanisation. L'augmentation du niveau des nappes observée dans certaines villes est une conséquence de la déprise industrielle, de modification des écoulements souterrains par effets de barrage des infrastructures souterraines, ou à cause des fuites de réseau et au fait qu'une grande quantité d'eau est importée de l'extérieur du bassin versant dans lequel se trouve la ville.

La recharge en eau des sols par une gestion à la source des eaux pluviales sera à mettre en avant plutôt que la recharge des nappes, tout comme une importante réduction des flux polluants rejetés aux milieux naturels. Pour cela, il est nécessaire de réduire les volumes ruisselés lors de pluies faibles (en Île-de-France, 70% du volume de pluie annuel est précipité avec une intensité inférieure à 5 mm/h) et d'utiliser les opportunités fournies par les espaces verts (LEESU/CU/AESN, 2013). Comme mentionné dans le chapitre « Gestion à la source des eaux pluviales », il est important d'adapter la conception à l'objectif visé (Figure 8). Certains ouvrages de gestion à la source sont conçus comme des ouvrages de collecte ou favorisent exclusivement le stockage et l'infiltration de pluies fortes. Ils n'ont alors que peu ou pas d'incidence sur la réduction des volumes d'eaux de ruissellement à l'échelle pluriannuelle. La combinaison d'aménagements et d'ouvrages aux fonctions complémentaires est une solution efficace qui favorise la résilience des systèmes urbains.

Conditions de réussite

- **Harmonisation du discours des différents services d'État, des collectivités locales, des agences de l'eau et des laboratoires de recherche ;**
- **Clarification des conditions de financement** (il ne peut pas être amputé du budget actuel de l'assainissement) : une fiscalité incitative est retenue comme une solution en Allemagne, par ex.
- **Règlementation dédiée à mettre en place** prévoyant notamment le contrôle des réalisations en prévoyant le personnel nécessaire à la réalisation de cette tâche dans l'assiette fiscale ;

⁶⁵ Les vitesses d'infiltration modérées, inférieures à 10⁻⁴m/s et un ratio « surface d'infiltration / surface active » aussi important que possible.

- **Réalisation et intégration des zonages pluviaux dans les documents graphiques des PLU (règlement, annexes).** Reprise des argumentaires des choix de zonage dans le rapport de présentation des PLU (orientation 2 du SDAGE);
- **Professionnalisation de la gestion patrimoniale :** nécessité de recensement des installations /ouvrages existants (enquêtes) à l’instar des installations en ANC. Rédaction du guide technique⁶⁶ des bonnes pratiques pour l’entretien des installations de gestion à la source. En effet, ces dispositifs nécessitent la mise en œuvre d’une gestion différenciée, adaptée en fonction du type d’ouvrage ou d’aménagement dont la nature et la fonction doivent être bien comprises. Nouveaux métiers à développer dans les collectivités territoriales et leurs services. Formations dédiées à assurer ;
- **Adaptation des prestations/services des entreprises au besoin** de développement de la gestion à la source des eaux pluviales.

⁶⁶ Plusieurs collectivités ont déjà élaborés des guides d’entretien.

Annexe 12 : Zones d'expansion des crues et zones humides

Nota : ce travail est réalisé avec concours de l'Université Pierre et Marie Curie, et particulièrement grâce à la contribution de Léonora Fleurant.

Le lit majeur du cours d'eau (plaine alluviale) fait partie du système fluvial et représente l'espace naturel de fonctionnement du cours d'eau : c'est dans cette zone que sont réalisés la morphogénèse longitudinale et latérale du lit mineur, les échanges principaux entre nappes et rivière, le transport des sédiments et la dissipation de l'énergie (zones d'expansion des crues, ZEC). **Les lits majeurs des cours d'eau du bassin sont largement investis et transformés par la présence anthropique (extraction des granulats, urbanisation, activité agricole, zones portuaires, infrastructures de transport, etc.).** Ainsi, 4,8 millions de personnes habitent en zone inondable (28% de la population du bassin, Commission mixte inondation, 2012).

Les aménagements des berges, la rectification par effacement du méandrage naturel et la chenalisation des cours d'eau, tout comme les suppressions des zones d'expansion des crues (ZEC) et des zones humides alluviales ont exacerbés les écoulements dans le lit mineur et ont fortement réduit les capacités de ralentissement dynamique des crues et de sur-stockage au sein du lit majeur. Les estimations montrent une forte réduction des milieux humides de l'ordre de 40 à 80% selon les territoires du bassin pendant 2 siècles (notamment dans les années 1960 à 1990⁶⁷, dans le cadre d'une politique agricole productiviste issue du contexte d'après-guerre).

De ce fait, le risque d'inondation est accru, même si les quantifications précises sont rares sur le bassin (nécessitant des études poussées, l'acquisition de données fines type LIDAR pour les relevés altimétriques du terrain et mobilisation des outils de modélisation).

Ainsi, zones d'expansion des crues devraient être recensées et délimitées afin de distinguer les ZEC non ou peu investies par les activités humaines « sensibles » (à préserver de toute urbanisation, et à restaurer), des zones inondables fortement concernées par les activités humaines (à examiner les opportunités de restaurer leur fonctionnement plus proche du naturel en préservant les enjeux « incompressibles »). Certaines ZEC, notamment en amont des zones à enjeux, peuvent faire l'objet des projets de « *transfert d'exposition aux inondations* » qui se traduit par une "augmentation [...] de l'exposition d'une partie du territoire du bassin versant ([...] territoire [...] "surexposé") pour mieux en protéger une autre partie (qui sera dite "sous - exposée)"."⁶⁸

Les moyens actuels pour la gestion de ces ZEC sont : l'acquisition des zones d'expansion des crues, l'institution de servitudes légales (PPR), l'institution de servitudes de sur-inondation (pour les ZEC artificialisées et régulées, cf. annexe 10), la gestion des espaces à des fins environnementales et/ou agricoles, l'indemnisation des ayants droits dans un cadre garanti au préalable. Le principe de la solidarité amont-aval doit jouer son rôle pleinement dans le cas des ZEC, qui « protègent » des inondations les activités humaines situées à l'aval.

⁶⁷ La loi du 4 juillet 1980 sur la maîtrise d'eau en agriculture visait en particulier l'assèchement et la mise en culture des zones humides, par exemple.

⁶⁸ Selon la terminologie de l'IRSTEA adoptée dans le guide « Prise ne compte de l'activité agricole et des espaces naturels dans le cadre de la gestion des risques d'inondation » : http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/20160422_guidegtactiviteagricoleespacesnaturelsvoletactiviteagricole.pdf

Méthodes de délimitation des zones d'expansion des crues et des zones humides

EAIP : Enveloppes Approchées des Inondations Potentielles

Les EAIP « cours d'eau » représentent l'emprise potentielle des débordements de cours d'eau, y compris pour les cours d'eau intermittents et les thalwegs secs. S'agissant de la délimitation topographique (altimétrie « naturelle », tenant compte des PHEC⁶⁹ et de l'extension des alluvions récentes⁷⁰), l'emprise obtenue inclue les enveloppes des inondations suite à des ruptures de digues de protection.

Ces enveloppes théoriques représentent une indication des zones à investiguer en tenant compte des données plus précises recueillies sur le terrain (topographie, par exemple) et de l'analyse de contraintes anthropiques actuelles. En effet, conformément à l'article L.211-12 du code de l'environnement, la mise en œuvre de servitudes d'utilité publique peut être instituée pour créer ou restaurer les espaces de mobilité⁷¹ des cours d'eau en amont des zones urbanisées (notamment pour les cours d'eau à morphogénèse actif).

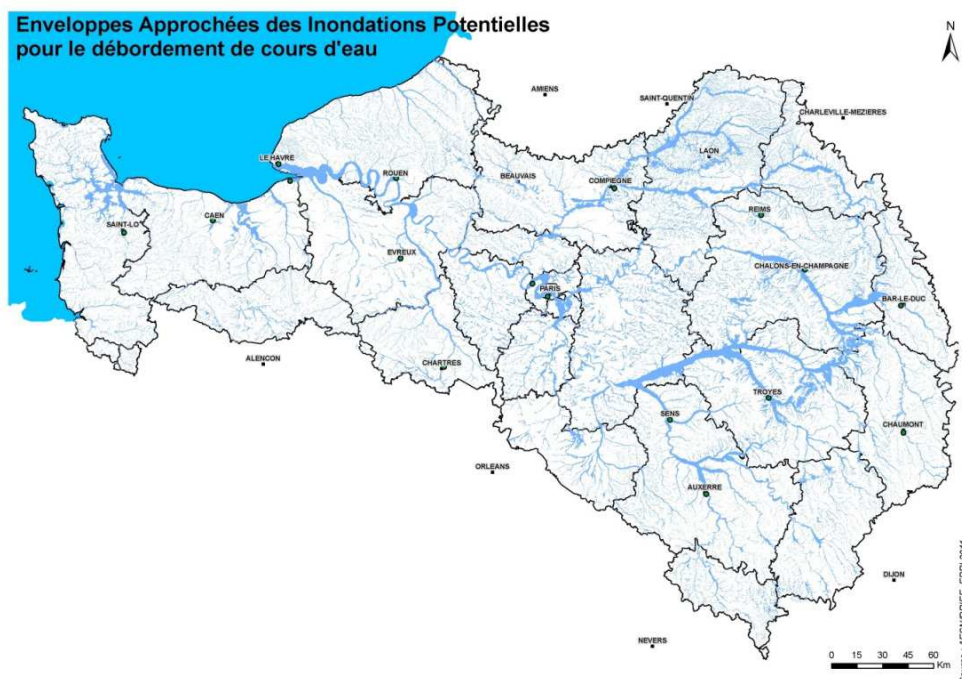


Figure 10 Carte des EAIP, enveloppes approchées des inondations potentielles (EPRI 2011)

Identification des ZEC sur le territoire du PAPI de la Seine et de la Marne franciliennes

Ces principes de délimitations physiques des EAIP ont été complétés par le recueil de données de terrain (entretiens, observations, etc.) pour aboutir *in fine* à une cartographie des ZEC plus précise et statuer sur leur état de fonctionnement (conformément aux objectifs du PGRI).

L'étude du EPTB Seine Grands Lacs est en cours (fin prévue pour 2019) avec pour objectif de cibler les espaces prioritaires, fixer les objectifs à atteindre et d'établir un programme d'actions.

⁶⁹ PHEC - plus hautes eaux connues.

⁷⁰ La méthode consiste à cartographier à partir des cartes géologiques 1 :50 000 et 1 :80 000 la limite externe des alluvions modernes Fz (alluvions holocènes correspondant sensiblement au lit majeur).

⁷¹ Le concept d'espace de mobilité s'adresse particulièrement à des rivières à dynamique fluviale active ou potentiellement active.

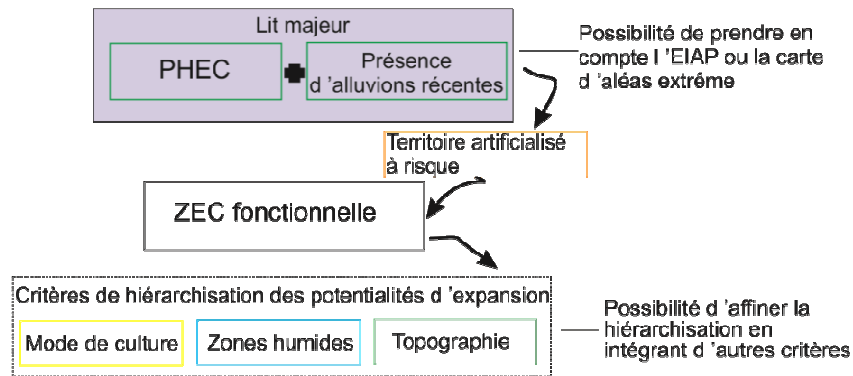


Figure 11 Schéma de délimitation et de hiérarchisation des ZEC (Seine-Grands-Lacs, Master 2 Espaces et Milieux 2015-2016)

La méthodologie utilisée dans ces études prend en considération une combinaison de critères (scorés) « favorables » à la présence de zones d'expansion des crues. Ces critères correspondent à :

- la présence d'alluvions récentes, c'est-à-dire déposés par les crues durant l'Holocène (BD Charm) ;
- l'instauration d'une zone altimétrique limitante vis-à-vis du cours d'eau. Une altitude de dix mètres par rapport au réseau hydrographique a été définie (BD alti 25) ;
- la pente des versants afin de repérer les espaces à faible pente du lit majeur, c'est-à-dire les élargissements du fond de vallée (BD alti 25) ;
- la prise en compte des zones humides.

A cette démarche a été associée une analyse de la vulnérabilité des espaces identifiés afin d'écartier des zones à enjeux forts au titre de la directive inondation (santé humaine, patrimoine, économie) (Ouaniche, 2016).

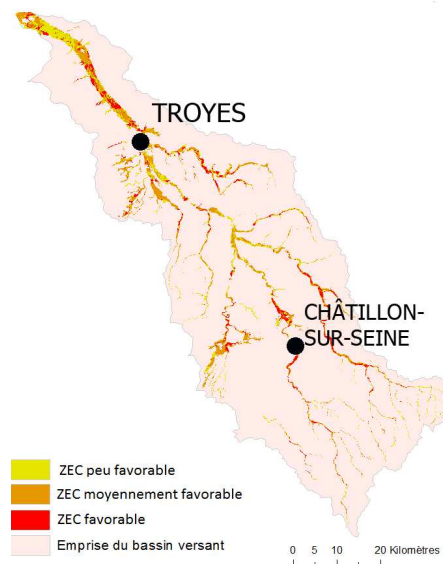


Figure 12 Localisation des catégories de ZEC sur le bassin Seine amont à la confluence avec l'Aube (Seine-Grands-Lacs, Master 2 Espaces et Milieux 2015-2016)

Délimitation des zones inondables tenant compte de changements climatiques : exemple de l'estuaire de la Seine

La prise en compte des facteurs liés à l'aléa inondations est plus compliquée dans la partie aval de la Seine et notamment dans son estuaire influencé par les marées dynamiques. Plusieurs études basées

sur les relevés altimétriques à forte résolution verticale et longitudinale, la connaissance de l'hydrologie fluviale et marine sont menées à l'aide de la modélisation hydraulique pour appréhender les risques liés aux effets de changements climatiques (GIP Seine aval, 2010 -2016).

Grâce aux données du projet « LIDAR estuaire de la Seine », les acteurs du territoire disposent d'une information précise sur la topographie, permettant de mener les études destinées à prendre en compte ces risques dans leurs stratégies d'aménagement.

L'étude de définition des niveaux d'eau et donc, de l'aléa inondation, prend en compte :

- la description des inondations historiques et la définition d'une typologie des événements selon les paramètres déclencheurs ;
- la mobilisation des observations hydro-météorologiques pour le calcul des périodes de retours pour les niveaux d'eau et les principaux forçages responsables des inondations (débits fluviaux, niveaux marins, surcotes océaniques, surcotes estuariennes) ;
- la définition de niveaux d'eau associés à des événements historiques ou à la simulation de scénarios théoriques ;
- la synthèse des connaissances sur les effets prévisibles liés aux changements climatiques, avec un focus sur l'impact lié à l'élévation du niveau marin.

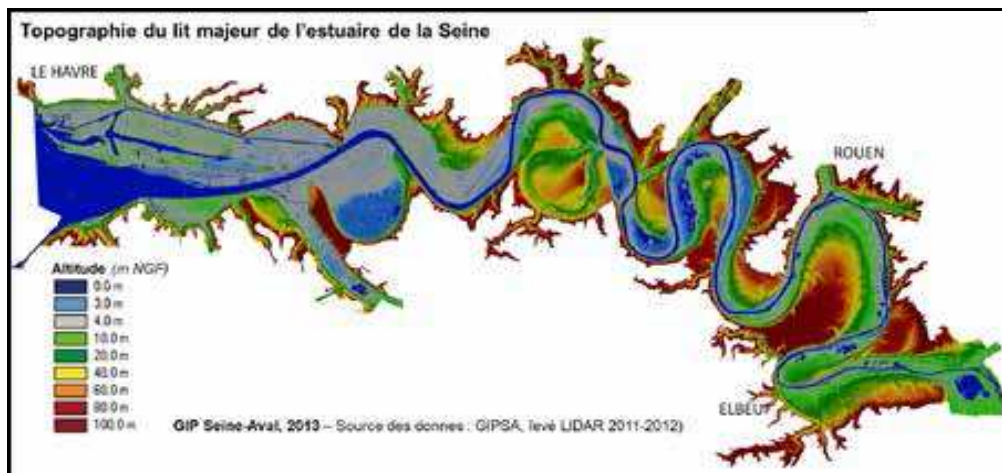


Figure 13 Topographie du lit majeur de l'estuaire de la Seine obtenue à partir des levés LIDAR 2011-2012 (GIP Seine aval).

Des zones de débordements préférentiels ont été identifiées et associées à la typologie des inondations. La sensibilité de l'amont aux événements fluviaux est forte (débit de la Seine), alors que les débordements à l'aval sont conditionnés par les conditions marines et météorologiques essentiellement. En ce qui concerne les hauteurs d'eau, l'évolution de l'influence de chacun des forçages au sein de l'estuaire ne permet pas l'association d'une période de retour à un événement donné pour l'ensemble de l'estuaire, mais seulement à l'échelle d'une boucle.

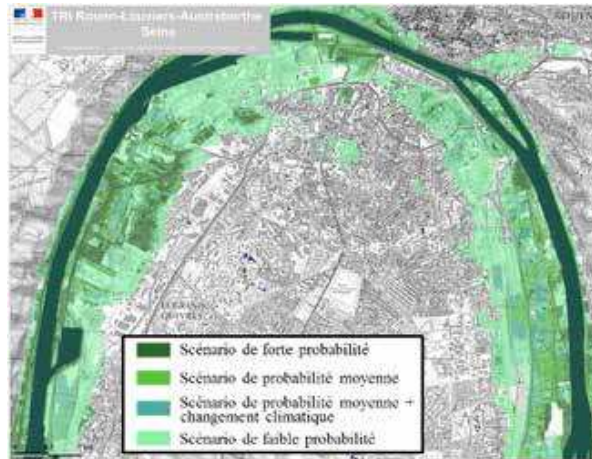


Figure 14 Niveaux de référence considérés pour l'aléa inondation du TRI Rouen-Louviers-Austreberthe (GIP Seine aval, 2016).

Les résultats des modélisations basées sur des scénarios tendanciels des changements climatiques (baisse des débits et du niveau des nappes à l'horizon 2070/2100 et augmentation du niveau marin accentuée), montrent le rôle accru de l'influence marine. Pour les débits faibles et moyens, l'élévation du niveau marin serait intégralement retranscrite tout au long de l'estuaire, avec propagation du front de salinité vers l'amont et augmentation des niveaux d'eau (en phase de pleine mer).

Au vu d'une très importante urbanisation et industrialisation du lit majeur, mais aussi de l'aménagement du lit mineur de l'estuaire de la Seine (pour les besoins de navigation), la délimitation des ZEC estuariennes devrait être basée non seulement sur les données historiques, mais aussi sur une analyse fine de la morphologie actuelle et sur une modélisation hydraulique tenant compte de nombreux facteurs de contrôle (naturels et anthropiques) des niveaux d'eau.

Éléments de coûts pour les ZEC

La gestion des ZEC naturelles fonctionnelles non-régulées ne doit pas en principe entraîner de coûts supplémentaires par rapport aux frais d'entretien de la végétation et gestion de l'accumulation de matériaux apportés lors des crues dans le lit majeur.

La préservation des zones naturelles d'expansion des crues n'apparaît pas clairement dans les dispositions législatives et les textes réglementaires actuels. En effet, l'indemnité concerne les propriétaires de zones grevées par des **servitudes d'utilité publique** : sur la Plateforme ouverte des données publiques françaises⁷², ces zones de rétention d'eau liées aux servitudes de la catégorie PM4 (Zone de rétention des eaux) sont définies comme « les terrains riverains d'un cours d'eau ou de la dérivation d'un cours d'eau, ou situés dans leur bassin versant, ou dans une zone estuarienne ». Ces zones « peuvent être grevées d'une servitude d'utilité publique ayant un ou plusieurs des objets suivants :

- création de zones de rétention temporaire des eaux de crues ou de ruissellement, par des aménagements permettant d'accroître artificiellement leur capacité de stockage de ces eaux, afin de réduire les crues ou les ruissellements dans des secteurs situés en aval ;
- création ou restauration des zones de mobilité du lit mineur d'un cours d'eau en amont des zones urbanisées dans des zones dites " zones de mobilité d'un cours d'eau ", afin de préserver ou de restaurer ses caractères hydrologiques et géomorphologiques essentiels ;

⁷² <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/zones-de-retention-deau-liees-aux-servitudes-de-la-categorie-pm4-zone-de-retention-des-eaux/>

- *préservation ou restauration des zones humides dites "zones stratégiques pour la gestion de l'eau" délimitées par le plan d'aménagement et de gestion durable de la ressource en eau et des milieux aquatiques d'un schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) ».*

Sous l'angle des co-financements octroyés, en particulier européens (FEDER), la préservation des champs d'expansion de crues consiste à empêcher toute urbanisation des secteurs susceptibles d'être inondés par débordement de cours d'eau ou situés au débouché des déversoirs aménagés (guide « Prise ne compte de l'activité agricole et des espaces naturels dans le cadre de la gestion des risques d'inondation », 2016).

Concernant les ZEC artificialisées et régulées, « les dommages matériels touchant les récoltes, les cultures, le cheptel mort ou vif, les véhicules terrestres à moteur et les bâtiments causés par une sur-inondation liée à une rétention temporaire des eaux [. . .] ouvrent droit à indemnités pour les occupants. [. . .] Ces indemnités sont à la charge de la collectivité qui a demandé l'institution de la servitude grevant la zone. Les dommages [. . .] aux exploitations agricoles sont évalués dans le cadre de protocoles d'accords locaux »⁷³.

Il existe donc deux types d'indemnisation a posteriori :

- Indemnisation encadrée en définissant un forfait d'indemnités par ha et par type d'activité agricole pratiqué, voire même par type de crue ;
- Indemnisation des pertes réelles des exploitants concernés.

Zones humides

Les zones humides riveraines, par leur positionnement à l'interface entre les cours d'eau, nappes et le milieu terrestre, ont la capacité de réguler le régime hydrologique. Certaines d'entre elles sont capables de réduire les pics de crue en aval en stockant l'eau en période de crue et, en étiage, de soutenir le débit aval en restituant progressivement l'eau stockée en période de hautes eaux (Mitsch et Gosselink, 1993b). **Cette fonction de stockage peut permettre d'atténuer jusqu'à 60 à 65 % des pics de crue pour une surface de zones humides de 5 à 10 % du bassin versant** (Curie, 2006).

Ces propriétés dépendent des facteurs suivants :

- la granulométrie des particules et leur conductivité hydraulique ;
- la teneur en matière organique du sol des zones humides non tourbeuses et la dynamique des matières en suspension qui peuvent avoir un effet de colmatage ;
- la présence d'horizons histiques⁷⁴ et l'état de dégradation du matériau organique des zones humides tourbeuses ;
- la connexion de la zone humide avec le cours d'eau où le niveau de la nappe varie notamment selon la saison, les précipitations, les fluctuations de la côte de la rivière.

La fonction de stockage d'eau dans la zone humide alluviale de la Seine moyenne (la Bassée) durant les périodes de hautes eaux a pu être mise en évidence même durant 2 années sèches (Weng, 2000). Lorsque les débits amont augmentent, une infiltration des rivières vers la zone humide a lieu faisant intervenir des volumes non négligeables compris entre 11 et 21 % du volume d'eau transitant dans la rivière. L'étude des débits amont et aval des rivières a démontré une fonction de stockage dans les zones humides en période de hautes eaux, mais également à chaque fois que les débits amont

⁷³ Article L.211-12. -IX, livre II du code de l'environnement.

⁷⁴ Les horizons histiques sont des horizons entièrement constitués de matières organiques et formés en milieu saturé par la présence d'eau durant des périodes prolongées (plus de six mois dans l'année). Ces horizons sont composés principalement de débris de végétaux hygrophiles ou sub-aquatiques (<http://www.zones-humides.eaufrance.fr/>).

augmentaient sans pour autant générer de crues importantes. Les barrages réservoirs situés en amont de la zone humide et maintenant les débits des rivières favorisent une infiltration de la rivière vers la zone humide en période estivale, les circulations étant alors inverses aux schémas habituels durant cette période (Bendjoudi et al., 2002). Enfin, deux sites ont été équipés afin de déterminer lors des crues la contribution relative à la remontée de la nappe phréatique ou celle liée au débordement des rivières. Les résultats de cette analyse ont montré que la remontée phréatique était le principal mécanisme de mise en eau de la zone humide alluviale. Cette étude donne les bases du fonctionnement hydrologique d'une large plaine alluviale dans le bassin de la Seine fortement influencé par l'anthropisation de la zone d'étude (présence de barrages réservoirs).

Quand la rivière déborde dans la plaine d'inondation (le niveau à pleins bords dépassé), les zones humides peuvent alors recevoir les eaux en surface par inondation et ralentir voire réduire ces écoulements du fait de la rugosité du couvert végétal en place et de phénomènes d'humectation des sols. La profondeur d'eau, les patrons d'écoulement, la durée et la fréquence des inondations résultent des apports et exports en eau (Mitsch et Gosselink 2000). En général, plus le lit mineur est incisé et rectiligne, plus la distance entre la zone humide et le cours d'eau est grande : alors moins le cours d'eau est connecté aux zones humides alluviales et moins les conditions sont favorables au ralentissement des écoulements.

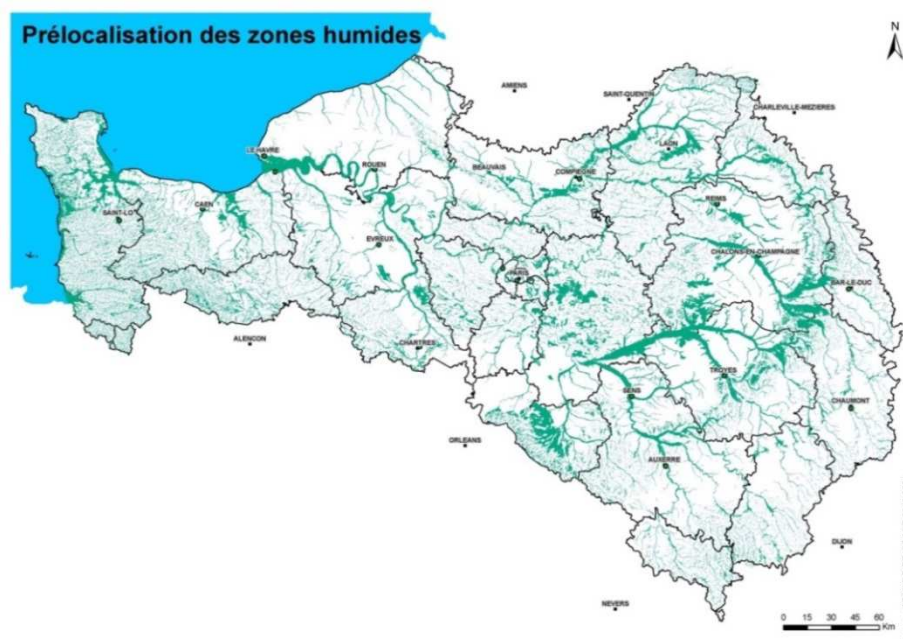


Figure 15 Enveloppes des zones humides potentielles obtenues par photo-interprétation de l'orthophotoplan et à partir des données du MEEM (SDAGE 2016-2021)

Pour résumer, les zones humides⁷⁵ situées en lit majeur ont des fonctions hydrologiques contribuant à réduire les aléas de crue et de sécheresse en agissant sur :

- le ralentissement des ruissellements,
- la recharge des nappes,
- la rétention des sédiments.

⁷⁵ Certaines ZEC peuvent contenir une composante « humide » importante et persistante (et pas seulement pendant les crues à fréquence basse).

A l'intérieur de la zone humide les facteurs physiques et biologiques suivants peuvent influencer la vitesse des ruissellements (MNHN, 2016) :

- l'occupation du sol en amont et dans la zone humide : la réduction de la vitesse des écoulements superficiels dépendant notamment de la rugosité du couvert végétal ;
- la microtopographie et présence des bras morts, dépressions, levées, bourrelets de berges à l'aval ;
- les « caractéristiques de l'exutoire », et la connexion de la zone humide avec le cours d'eau.

Sur le bassin Seine-Normandie, les délimitations plus précises des zones humides sont en cours en application de la méthodologie nationale⁷⁶ basée sur des critères de sols ou de végétation. Les SAGE et collectivités chargés de cette mission s'appuient sur une prélocalisation initiale et large des zones à forte probabilité de contenir une zone humide (Figure 15) à partir d'un faisceau d'indices concordants. Il est à la charge du pétitionnaire d'invalider le caractère humide de cette zone.

Délimitation des zones humides sur le territoire du SAGE Marne Confluence / Syndicat Marne Vive

Il s'agit d'un exemple d'étude de délimitation des zones humides réalisée à l'échelle d'un SAGE (www.sage-marne-confluence.fr). Au total, 144 zones humides sont recensées, soit une superficie de 204 hectares (0,76% du territoire contre 3% à l'échelle nationale). L'étude conclue à la disparition de 80% des zones humides du XIX^e siècle.

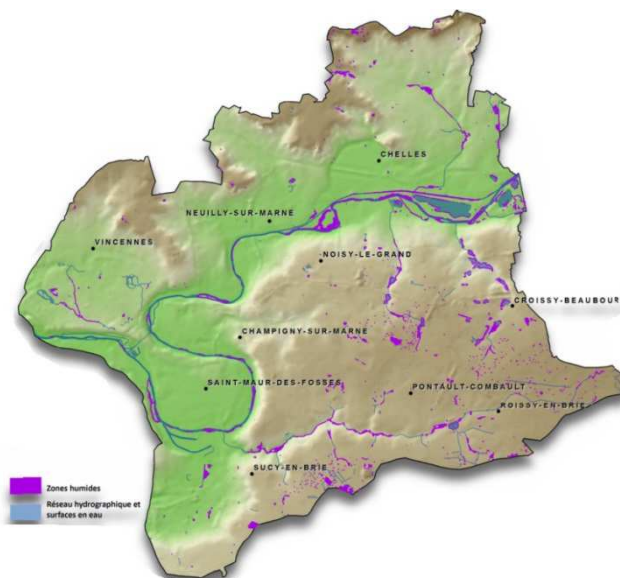


Figure 16 Zones humides délimitées sur le territoire du SAGE Marne Confluence / Syndicat Marne Vive (BioTopo, 2014)

Les capacités des zones humides non-artificielles à accumuler des flux ruisselés ou drainés sur le bassin versant et leur rôle dans la régulation des crues ont été évaluées. Les enjeux majeurs sont ciblés sur les bords de Marne, le Morbras et ses affluents (notamment dans la partie aval), le ru de Chantereine et l'ancien ru de Maubuée. Ces zones humides à enjeu très élevé vis-à-vis de la fonctionnalité « régulation des écoulements » représentent 46% de la superficie de toutes les zones humides du territoire du SAGE.

⁷⁶ Cf. à l'arrêté du 24 juin 2008 du MEEDDAT, et du 1er octobre 2009, établissant les critères de définition et de délimitation des zones humides au sens de la loi sur l'eau.

Estimation de la fonctionnalité « hydrologie » des couloirs fluviaux

A l'échelle du bassin de la Seine, plusieurs méthodologies sont testées pour délimiter et caractériser les zones humides alluviales, notamment vis-à-vis de leurs fonctions relatives à l'hydrologie (stockage d'eau, dissipation de l'énergie, échanges avec les nappes et les cours d'eau). La méthode de base pour caractériser les « corridors fluviaux » est fondée sur la description de la structure des lits alluviaux résultant des processus géomorphologiques qui se réalisent à différentes échelles de temps et de l'espace (PIREN-Seine et PNRZH : Gaillard *et al.* 2002) par intégration des trois variables géomorphologiques :

- évolution du profil en long des cours d'eau : incision, exhaussement, stabilité, etc.,
- dépôts sédimentaires holocènes : absence, à dominante minérale et/ou organique,
- mosaïques hydrogéomorphologiques (au pas de temps actuel) : morphologie subhorizontale, à levées et à dépressions, à chenaux et à montilles, densité de chenaux secondaires.

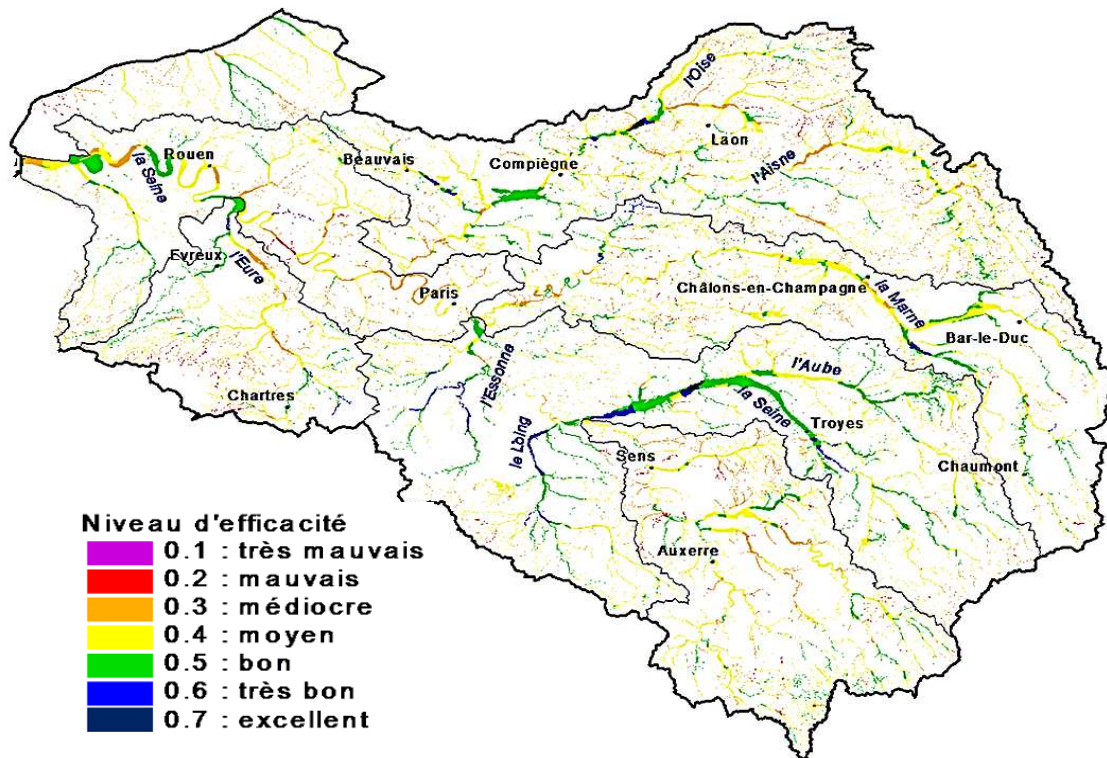


Figure 17 Degré de fonctionnalité des zones humides alluviales en terme de régulation des crues dans le bassin versant de la Seine et des côtières haut-normandes (AESN/UPMC : Joyeux, 2005)

Au sein de ces corridors, grâce à l'analyse des paramètres influençant l'hydrologie (pente maximale, densité des chenaux secondaires, sinuosité des cours d'eau, morphologie des plaines alluviales, etc.), une qualification de degré de fonctionnalité des zones humides alluviales a été établie (AESN/UPMC : Bendjoudi *et al.* 2000 ; Joyeux, 2005). **Les zones humides fluviales en état « très bon » à « excellent » par leur niveau de fonctionnalité théorique ne représentent que 2,6% de la surface totale des corridors fluviaux à l'échelle du bassin Seine-Normandie, soit une superficie de 214 km²** (Figure 17). Ces chiffres mettent l'accent sur les dysfonctionnements du système hydrologique de la Seine.

Une estimation du pouvoir de stockage⁷⁷ effectuée sur le bassin versant de la Seine en amont de sa confluence avec l'Oise et sur le bassin de l'Oise montre des valeurs relativement faibles de volumes

⁷⁷ Il est toutefois à noter que si les zones humides sont formées par l'aquifère en charge, elles ne peuvent pas être considérées comme efficaces en terme de rétention de l'eau en crue, mais restent siège des processus de dénitrification importants.

entrant⁷⁸ stockés au kilomètre carré, de l'ordre de 2 % ou moins. La capacité de stockage est par ailleurs dépendante de l'état de saturation des sols et des nappes et de l'intensité des précipitations et est très variable selon le secteur et dans le temps (ex. les périodes de restitution de l'eau, notamment en étiage). Si les paramètres ayant trait au milieu naturel (pente, type de nappe, etc.) ne peuvent pas être modifiés, dans les secteurs où les cours d'eau sont rectifiés, il est possible de restaurer la dynamique fluviale (par suppression des digues, reméandrage, par ex.) et la végétation rivulaire (dont, les zones enherbées).

Les secteurs concernés par ces zones humides « efficaces » vis-à-vis de critère hydraulique ont subi peu de artificialisation en générale, et doivent être protégés par leur inscription dans les documents d'urbanisme.

Applications

Si l'on considère que les zones humides alluviales en bon état représentent 214 km² sur le bassin de la Seine (cf. chapitre ci-dessus) et qu'en période de crue la capacité de stockage de ces zones humides est limitée à 30 cm à cause de la hauteur de la nappe, le volume d'eau stocké peut être estimé à 64 millions de m³. Ce volume représente un stockage théorique, la capacité de retenir l'eau étant dépendante de la géomorphologie des terrains alluviaux contenant la zone humide et d'autres facteurs (pas pris en compte dans ce calcul approximatif).

Plusieurs données éparses soit sur les ZEC soit sur les zones humides existent et ont besoin d'être rassemblées pour avoir une vision plus réaliste à l'échelle du bassin. A ceci s'ajoute le manque de données sur la topographie fine du lit majeur, le recensement et la description des aménagements réalisés, qui empêche toute quantification précise d'impact des ZEC et des zones humides sur l'hydrologie du bassin.

Toutefois, afin d'obtenir les ordres de grandeur des volumes théoriques pouvant être stockés par les ZEC potentielles, un traitement cartographique a été effectué⁷⁹. Pour les vallées alluviales de largeur supérieure à 1 km (espace conséquent pour l'épandage des crues), et pour les hauteurs d'eau d'1 m au-dessus du niveau moyen des cours d'eau, les résultats suivants sont obtenus par grand type d'occupation du sol⁸⁰.

⁷⁸ Pour une année hydrologique moyenne sur la période de 1991-1999.

⁷⁹ Les estimations du linéaire à équiper par les aménagements en hydraulique douce sont réalisées avec le concours des experts AESN sur l'hydromorphologie des cours d'eau et modélisation SIG : Hériniana Andriamahefa, Sébastien Tellier et Nicolas Barry.

⁸⁰ Les vallées alluviales sont représentées par les alluvions quaternaires (Fz, Fx et Fy de la carte géologique), un Modèle Numérique du Terrain, MNT, de 50 m (à précision métrique) est utilisé pour l'altimétrie et le CLC - pour l'occupation du sol.

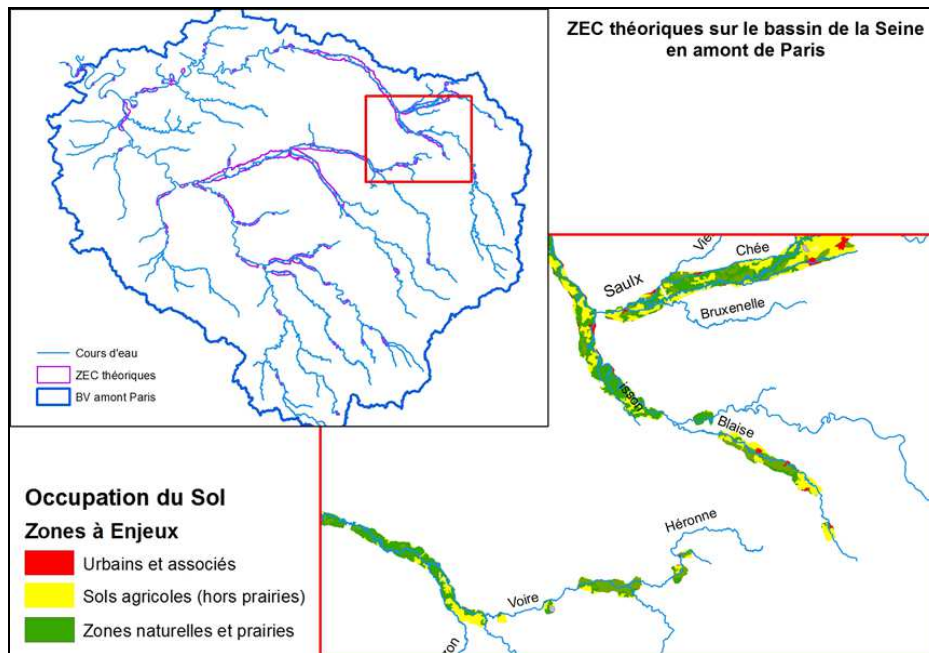


Figure 18 Zones d'expansion des crues théoriques dans les vallées alluviales de largeur > 1km (calculées par traitement cartographique en considérant + 1 m au-dessus du niveau moyen des cours d'eau)

Tableau 7 Répartition des volumes théoriques globaux de 1,445 milliards de m3 par type d'occupation des sols estimés pour les vallées alluviales larges (> 1 km) et hauteur d'eau + 1m par rapport au niveau moyen de la rivière

Type d'occupation du sol	Volume théorique stocké, Mm ³	% des terres inondables
Terrains naturels (forêts, marais, terres inondables, zones humides, etc.), plans d'eau et cours d'eau	416	29
Equipements sportifs et espaces verts	21	2
Prairies	237	16
Terres arables (hors prairies)	564	39
Tissus urbain et industriel	163,6	11
Extraction des granulats	28	2
Autres (réseau routier, ferroviaire, etc.)	15	1

Il est à noter que ces ZEC théoriques estimées ne rendent pas compte de la réalité du terrain qui peut comporter les ouvrages de protection ou autres modifications anthropiques, ni de l'incision de certains cours d'eau. Ainsi, une partie de ces ZEC est certainement fonctionnelle, les autres sont des ZEC potentielles à étudier au cas par cas pour une éventuelle restauration. Partant de ces hypothèses relativement grossières, on peut constater qu'environ **50% des terrains inondables sont investis par les activités humaines dites « sensibles »** (représentant aussi plus de 50% des volumes potentiels stockés pour une augmentation d'un mètre de niveau des cours d'eau).

A l'échelle du bassin versant de l'Essonne, pour l'épisode de mai-juin, il semble que les zones humides et zones de marais aux abords de l'Essonne ont eu un impact non négligeable sur la réduction du débit. En effet si l'on tient compte du volume des pluies tombées sur le bassin versant de l'Essonne, il

est équivalent à 151 m³/s. Considérant que le bassin versant de l'Essonne est principalement agricole, le coefficient moyen de ruissellement est pris égal à 30% : ainsi, les volumes alimentant la rivière seraient de 43 m³/s, alors que le débit moyen au mois de juin est de 18 m³/s à Ballancourt-sur-Essonne (station hydrométrique aval). La différence avec les volumes écoulés à l'exutoire de l'Essonne indique que plus de 50% des volumes ruisselés sont stockés. **D'après M. Grillo du SIARCE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement de Réseaux et de Cours d'Eau), les marais aménagés ont permis de stocker 600 000 m³ et la contribution des zones humides⁸¹ situées en amont a été probablement importante** (l'estimation de leur rôle dans l'écêtement de la crue de mai-juin 2016 est en cours au SIARCE).

Coût

Pour une bonne fonctionnalité des zones humides et des cours d'eau, il est nécessaire d'effectuer un entretien régulier de la végétation. Le coût d'entretien des zones humides est évalué entre 254 et 521 €/ha/an (CGDD, 2010). Si l'on considère les 214 km² de zones humides alluviales fonctionnelles du bassin, le **coût d'entretien revient en moyenne à 8 millions d'euros**. Ce chiffre ne prend pas en compte tous les bénéfices (cf. partie Co-bénéfices et limites) liés aux zones humides.

Des subventions de MAE peuvent être attribuées aux agriculteurs (<http://www.forum-zones-humides.org/maec-mesures.aspx>), par exemple pour :

- la gestion des prairies humides par pâturage extensive ou fauche tardive sans fertilisation, pour 203,98 €/ha/an ;
- La gestion des prairies mésophiles de bord de cours d'eau ou riveraines de zones humides par pâturage ou par fauche avec limitation de fertilisation, pour 147,28 €/ha/an (www.zones-humides29.fr).

Co-bénéfices et limites

La fonctionnalité hydrologique des zones humides alluviales (dont les ZEC), se traduit par l'atténuation des crues et le soutien d'étiage par déstockage de l'eau accumulée et l'alimentation par les nappes alluviales (rechargées à partir des ZEC).

Ces milieux assurent, la reconnexion du lit mineur avec le lit majeur, représentant à ce titre un haut lieu de la **biodiversité**, des zones de reproduction, de nourrissage et de refuge des animaux aquatiques et des oiseaux. Les habitats préservés ou restaurés s'inscrivent ainsi dans le concept de Trames verte et bleue.

Ce sont des zones importantes de **dénitrification** (élimination de l'azote du milieu), de l'assimilation d'autres éléments nutritifs (dont le carbone), de la dégradation de divers polluants (par exemple, les pesticides), etc. L'importance capitale des zones ripariennes dans le processus d'autoépuration du système fluvial est largement démontrée.

Il y a aussi de nombreux bénéfices économiques (Tableau 8) qui pour 214 km² des zones humides alluviales fonctionnelles **représentent 34 millions d'euros soit 22 fois le coût de l'entretien des zones humides**.

⁸¹ La superficie des zones humides, dont deux classées NATURA 2000, Vallée de l'Essonne et vallons voisins (FR2400523) et Haute vallée de l'Essonne (FR1100799), et une protégée par l'Arrêté de biotope (FR3800417 - Marais de Fontenay-le-Vicomte), avoisine 5 000 ha.

Tableau 8 Synthèse des différentes valeurs des zones humides (CGDD, 2010)

	Min-Max de la valeur économique (€/ha/an), 15 études françaises	Nombre d'études concernées	Valeur économique moyenne (€/ha/an, méta-analyse de Brander et al. (2003), 89 sites)
Epuration de l'eau	15-11300	4	272
Soutien des étiages	45-150	3	42
Lutte contre les inondations	37-617	6	438
Activité récréatives :			
-pêche	80-120	2	353
-chasse	230-330	2	116
-navigation	15	1	Pas évalué
-canoë	28	1	Pas évalué
Valeur sociale	200-1600	7	392
Total des services rendus (en € 2008/ha/an)	907-3132		1613

D'autres services environnementaux sont à citer, tels que le support d'activités économiques et la valeur paysagère (pêche, chasse, tourisme vert et activités récréatives).

Conditions de réussite et recommandations

Pour la gestion des zones humides ou des zones d'expansion des crues il est important :

- **De disposer d'une cartographie des champs d'expansion des crues fonctionnels** et sans contraintes importantes pour assurer leur préservation dans les documents d'urbanisme ;
- **D'avoir la maîtrise du foncier ou des ouvrages.** Il manque un outil réglementaire permettant d'instituer des servitudes d'utilité publique dans les zones d'expansion des crues indépendamment de la réalisation d'ouvrages ou de travaux. Les dispositifs contractuels pour la conservation des zones d'expansion des crues ont l'inconvénient d'être, suivant les cas, d'une durée limitée ou soumis au volontariat ou incomplets ;
- **De travailler à l'échelle du bassin versant** ou du sous bassin versant et de mettre en avant la solidarité amont/aval ;
- **Pour les ZEC anthropisées :**
 - **Ne pas réaliser de protections de berges en dehors des zones à enjeux majeurs** tels que les ponts, les infrastructures routières, certains barrages, etc., afin de garantir la pérennité des processus géodynamiques (ex. SIRTAVA/HYDRATEC : Malavoï 2007),
 - **Eviter la construction de toute infrastructure pouvant nécessiter des protections de berges** à court ou moyen terme ;

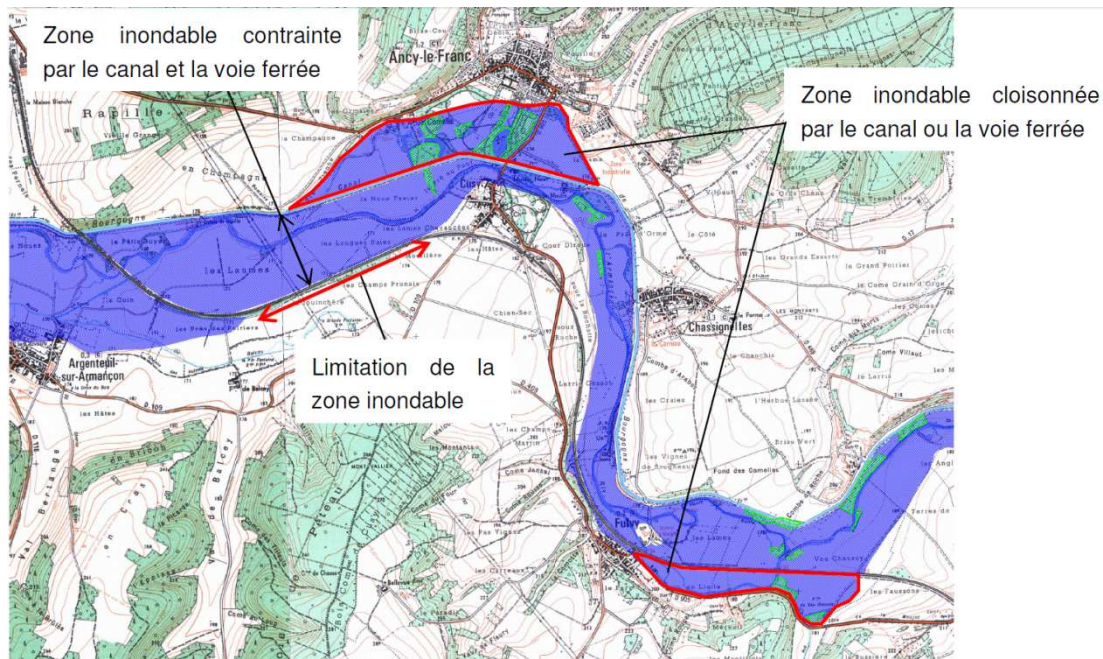


Figure 19 Exemple d'un secteur sur Armançon moyen (Yonne) où une zone d'expansion des crues est contrainte par les aménagements du lit majeur. Zone d'expansion des crues cartographiée correspond à l'emprise de la crue de janvier 1910 (DIREN Bourgogne, DDE89 dans Malavoi, 2007).

- **De trouver une bonne gouvernance**, de savoir quels sont les acteurs et les décideurs à mettre autour de la table ;
- **Mettre la capacité de résilience du territoire** au cœur de la réflexion.

Il est aussi utile de consulter le guide du groupe de travail « Activité agricole et espaces naturels » sur la prise en compte de l'activité agricole dans le cadre de la gestion des risques inondation (2016) pour consulter les outils existants et les retours d'expérience (http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/20160422_guidegtaactiviteagricoleespacesnaturelsvoletactiviteagricole.pdf).

Annexe 13 : Avis établi par un comité d'experts en hydrologie et en ouvrages sur les projets d'aménagements du Bassin de la Seine piloté par le CEREMA à la demande de la DRIEE et de l'AESN

1. Contexte d'élaboration de l'avis

Suite aux inondations de juin 2016, le Premier ministre a demandé au préfet de bassin Seine-Normandie de conduire pour la fin du mois d'octobre une étude sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la Seine (jusque l'Île-de-France, incluant donc le bassin de l'Oise). La Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE) d'Île-de-France et l'Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN) établissent actuellement un premier bilan sur la base des connaissances hydrologiques disponibles et d'entretiens avec des acteurs du bassin et des spécialistes de la communauté scientifique et technique travaillant sur le bassin. Ce bilan examine les effets de l'occupation du sol, de la modification des capacités d'infiltrations et de l'expansion des crues du bassin et les projets d'aménagements envisagés ou envisageables pour la gestion des crues et des étiages. Sur ce dernier aspect, un inventaire des ouvrages ou projets envisagés ou engagés sur le bassin a été réalisé en concertation avec les Établissements Publics Territoriaux de Bassin (EPTB) Seine Grands Lacs et Entente Oise-Aisne.

Dans ce contexte, la DRIEE et l'AESN ont souhaité mobiliser un groupe d'experts extérieurs afin de produire un avis portant particulièrement sur l'évaluation de deux aspects :

la pertinence à l'échelle du bassin et des sous-bassins des types d'aménagements envisagés pour traiter le double objectif de la gestion des étiages et des crues et l'identification éventuelle de secteurs sur lesquels des efforts de connaissances ou d'aménagement doivent être conduits ;

les questions qui subsistent dans l'évaluation et le choix de tels aménagements au regard de leur opportunité, de leur efficacité ou performance en conditions réelles, de leurs conditions d'étude et de leur mise en œuvre.

Compte tenu des délais contraints de cette intervention, il était hors de propos de mener à bien une analyse détaillée des conditions techniques et de l'état d'avancement des différents projets. La production de cet avis s'est appuyé sur les documents de synthèse communiqués par la DRIEE et l'AESN et après audition de l'EPTB Seine Grands lacs et un entretien avec l'Entente Oise-Aisne.

Cette réflexion a été conduite en tenant compte d'autres démarches en cours sur le bassin de la Seine, en particulier la mise en place d'un plan d'adaptation au changement climatique sous le pilotage de l'Agence de l'eau Seine Normandie.

2. Principales caractéristiques du bassin de la Seine

Le bassin de la Seine présente des spécificités qu'il est utile de rappeler pour mieux mettre en lumière les enjeux et les problématiques d'aménagement liés à l'eau :

Le bassin est organisé autour de grands corridors fluviaux (Oise, Marne, Seine) dont la dynamique est lente et qui concentrent l'essentiel des enjeux liés aux crues fluviales, notamment neuf Territoires à Risques Importants d'inondation (TRI). De petits affluents amont sont, eux, sujets à des crues aux dynamiques plus rapides.

Les importantes inondations des cours moyen de la Seine (en Île-de-France) et du cours aval de l'Oise sont liées à la concomitance des pics de crues provenant de leurs principaux affluents dans certaines configurations pluviométriques défavorables. Les exemples les plus marquants sont la concomitance des pointes de crues de la Seine et de l'Yonne en 1910, ou celle de l'Aisne et de l'Oise en 1995.

La quantité d'eau de surface par habitant est faible sur le bassin de la Seine. Les approvisionnements en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines. Ces dernières représentent un réservoir naturel important exploité notamment pour l'alimentation en eau potable (AEP) et

l'agriculture. Les principaux réservoirs souterrains sont ceux de la craie (AEP), de la Beauce et de la Brie (irrigation), et des sables du Soissonnais sur le bassin de l'Oise.

Le bassin a connu depuis la fin du XIXe siècle des modifications importantes, que ce soit en termes d'occupation du sol (urbanisation, agriculture), d'augmentation et de diversification des usages de l'eau et d'aménagement des cours d'eau.

L'Île-de-France concentre une population de 12 millions d'habitants et de multiples enjeux. L'estimation des coûts des dégâts d'une grande crue de type 1910 varie entre quelques milliards et quelques dizaines de milliards d'euros. Les grandes sécheresses n'ont pas fait l'objet d'estimations détaillées.

Quatre grands ouvrages de stockage, mis en service entre 1949 et 1990, régulent les débits des parties amont de la Marne, la Seine, l'Aube et l'Yonne. Ces dispositifs permettent de soutenir les étiages en été pour répondre aux usages sur le bassin et de contribuer à l'écrêtement des crues hivernales.

Le bassin versant est soumis à des pressions polluantes chimiques et thermiques d'origines diverses (pollutions diffuses liées à l'agriculture, pollutions ponctuelles liées aux rejets des agglomérations et des industries), conduisant à des états écologiques (au sens de la Directive Cadre européenne sur l'Eau) très variés.

Le fonctionnement hydrologique et biogéochimique du bassin versant de la Seine est complexe. Les nombreuses activités sur le bassin jouent un rôle majeur dans le cycle de l'eau et des principaux éléments. Le bassin est suivi par un programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement (PIREN-Seine) depuis la fin des années 1980, qui permet d'améliorer progressivement les connaissances sur son fonctionnement.

Le fonctionnement complexe de l'ensemble des compartiments en interaction du cycle hydrologique que sont le sol, le sous-sol perméable non-saturé, le sous-sol saturé (aquifères) et les cours d'eau en période d'étiage, mais aussi en période de crue est encore partiellement connu. Cette connaissance partielle limite les capacités de prévision et de prédiction.

Les projections de changement climatique indiquent une probable augmentation des températures sur le bassin, qui associée à une possible baisse des précipitations estivales, pourrait conduire à une baisse significative de la ressource moyenne et à des étiages plus marqués et plus tardifs, ainsi qu'à une augmentation de la température de l'eau. Une fréquence accrue des phénomènes de pluie extrêmes est également probable. Ces évolutions pourraient s'accompagner d'une nette augmentation des besoins de prélèvement en eau, notamment pour l'irrigation.

La crue de juin 2016 constitue un événement atypique, les crues importantes se produisant plutôt en hiver sur le bassin. Un tel événement est de nature à interroger sur la démarche consistant à prendre de grandes crues hivernales comme principales références dans la mise au point de stratégies de réduction des aléas de crue. Les changements climatiques pourraient en effet conduire à une augmentation de la fréquence des grandes crues de printemps pour lesquelles le dispositif actuel de régulation des crues n'est pas conçu.

3. Principaux constats et recommandations

À l'issue de la revue des projets existants ou en cours, de premiers constats ou conclusions s'imposent sur les questions qui restent à approfondir et les perspectives envisageables en termes d'études et de travaux. Des recommandations peuvent ainsi être formulées.

3.1. Concernant la pertinence des aménagements ayant déjà fait l'objet d'études

Des grands ouvrages envisageables de stockage d'eau permettant une régulation des principaux cours d'eau (pour l'écrêtement de crue et le soutien d'étiage) existent. Le site le plus propice, pour des raisons géologiques et topographiques, et le mieux étudié aujourd'hui pour la construction d'un

réservoir complémentaire de soutien d'étiages, est celui du projet de barrage réservoir des Côtes de Champagne sur la Marne. La pression actuelle sur la ressource en condition d'étiages n'est pas suffisante pour justifier un tel aménagement.

Les principaux sites possibles pour la création d'espaces endigués pour l'écrêtement des crues ont été reconnus sur la Seine et ses affluents amont majeurs. Les analyses de faisabilité et d'opportunité menées ces dernières années ont conduit au choix du site de la Bassée, dont le casier expérimental doit être prochainement mis en eau. L'acceptabilité sociale de ce projet a pu être améliorée, puisqu'il s'est doublé d'un objectif environnemental de reconquête de zones humides, permettant d'adapter les pratiques et les usages dans le secteur endigué susceptible d'être utilisé comme réservoir en période de crue. Cet ouvrage, en stockant de façon temporaire une partie des débits de la Seine, a pour but d'augmenter le niveau de protection de l'Île-de-France face aux crues, en limitant une concomitance éventuelle entre les pointes de crues de la Seine et de l'Yonne .

Des aménagements mono-objectifs d'écrêtement de crue de la vallée de l'Yonne sont possibles, mais ils n'auront un effet significatif que sur les inondations dans le sous-bassin, avec le risque de retarder l'écoulement d'une partie des volumes de crue de l'Yonne et de renforcer le risque de concomitances de pics de crues à la confluence aval avec la Seine.

Certains aménagements envisagés (hydraulique douce) sont pertinents pour la gestion des pollutions agricoles ou la limitation de l'érosion des sols. Ils n'ont qu'un impact limité sur les crues majeures mais ils peuvent jouer un rôle sur la distribution de l'eau dans les différents compartiments du bassin, et ce d'autant plus qu'ils seraient appliqués à large échelle (en milieu rural ou urbain). Leurs contributions à l'amélioration de la disponibilité en eau souterraine et donc au soutien des étiages via les contributions de nappes lors des périodes de basses eaux mériteraient une meilleure évaluation quantitative.

La recharge artificielle des nappes est coûteuse en énergie et présente de faibles rendements (au mieux 25 %). Les incertitudes ne permettent pas de statuer sur l'efficacité réelle des solutions opérationnelles de grande ampleur et il apparaît déraisonnable de fonder trop d'espoir sur ce type de solutions.

3.2. Concernant l'évaluation et l'aide à la décision des aménagements

Tout ne peut pas être réglé par de grands aménagements.

Un contrôle complet de l'hydrologie du bassin est illusoire. Cependant, la gestion quantitative de l'eau sur le bassin de la Seine peut être améliorée. La réflexion sur des infrastructures complémentaires pour réduire les aléas (d'excès ou de manque d'eau) devrait être menée en connexion avec des démarches volontaristes de réduction de la vulnérabilité aux inondations, de protections locales et de réduction de la dépendance vis-à-vis de la ressource. En effet, pour éviter une demande croissante de protection, et compte tenu des investissements en jeu, les choix d'aménagements ne peuvent pas être dissociés de réflexions parallèles sur les politiques liées aux usages de l'eau (agriculture, industrie, alimentation, transport fluvial) et à l'exposition aux risques (occupation des sols, urbanisme, gestion de crise...). L'ensemble doit pouvoir contribuer à une politique de l'eau cohérente dans une perspective de partage des coûts et des bénéfices.

Enfin, l'efficacité des aménagements se réduit fortement pour les événements extrêmes et notamment ceux pour lesquels les ouvrages n'ont pas été conçus et dimensionnés. La préparation à la gestion de crise doit donc rester une préoccupation essentielle.

=> *Recommandation 1 : définir, développer des politiques de réduction de la vulnérabilité (vis-à-vis des crues) et de régulation des usages (prélèvements et consommation notamment en étiage).*

=> *Recommandation 2 : développer les connaissances sur la recharge naturelle des nappes et les relations nappes-rivières, et évaluer quantitativement les bénéfices et méthodes de recharge naturelle des nappes par amélioration des capacités d'infiltration en milieu urbain ou rural.*

=> *Recommandation 3 : étudier une politique d'aménagement concertée, reposant sur la définition d'un scénario optimisé et adaptable, combinant différents types d'aménagements structurels et d'autres modes d'actions ou politiques connexes (réduction de la vulnérabilité, occupation des sols, usages de l'eau...), combinant les objectifs de gestion des crues et de leurs effets, de gestion des étiages, et de prise en compte du contexte de changement climatique.*

=> *Recommandation 4 : développer la culture du risque (inondation ou pénurie d'eau) et la préparation à la gestion d'événements rares*

Des aménagements dont la localisation et le dimensionnement sont contraints

La géographie du bassin et son hydrologie sont les premiers déterminants de l'efficacité des aménagements. L'écoulement annuel moyen et sa variabilité inter-annuelle fixent ainsi les volumes mobilisables et les risques de défaillance des réserves qui peuvent être constituées pour le soutien d'étiage. De même, tous les secteurs du bassin n'auront pas le même comportement en crue (réponse rapide des plateaux de Brie et de l'Yonne et plus progressive et atténuée de la nappe de la Craie). Cette cinétique de réponse a un impact sur l'efficacité des ouvrages.

Il faut néanmoins garder à l'esprit qu'un aménagement n'est efficace vis-à-vis de la gestion des crues que s'il permet de soustraire un volume significatif de la crue au bon endroit, au bon moment (idéalement au moment de la pointe de crue) et sur une durée suffisante pour n'être restitué qu'après le passage de l'onde de crue. Qu'il soit concentré sur un seul ouvrage ou dispersé, c'est bien le même volume de stockage qu'il est nécessaire de disposer pour obtenir l'effet souhaité. La dispersion rend l'optimisation de la gestion de ce stockage plus complexe.

Ce qui est techniquement possible n'est pas nécessairement économiquement raisonnable et socialement ou environnementalement acceptable

Tout projet d'aménagement repose sur une balance des coûts (de construction et d'entretien) et des avantages (dommages évités, ressources obtenues et services rendus) qui est explicite ou implicite. Les aménagements proposés sont souvent techniquement réalisables et utiles en dépit de leur efficacité parfois surévaluée et de leurs possibles effets néfastes (risque de rupture, renforcement de concomitance, accélération et moindre amortissement des crues pour l'aval).

La décision d'aménager repose donc sur une évaluation et une justification de leur acceptabilité économique, sociale et environnementale. Les démarches d'évaluation multi-critères sont ainsi un élément essentiel de ce processus. Leur qualité ne peut s'évaluer qu'au regard de l'appréciation et de la quantification fine, à long terme et à l'échelle géographique pertinente, de l'ensemble des coûts (investissement et fonctionnement) et des contraintes associées aux différentes options (utilisation irrégulière, entretien, surveillance, indemnités...). Les aménagements peuvent également impliquer des transferts de charges qu'il faut aussi justifier : ceux qui assument les charges associées aux aménagements (coûts directs, effets induits), ne sont pas nécessairement ceux à qui l'aménagement bénéficie.

=> *Recommandation 5 : Expliciter les éléments et critères de choix d'aménagement. Systématiser les démarches d'évaluation multi-critères et mieux évaluer les co-bénéfices attendus à long terme dans les projets (avantages attendus, enjeux, coûts et impacts des aménagements).*

Des aménagements conçus jusqu'ici au bénéfice de l'Île-de-France...

Actuellement la connaissance et les stratégies d'aménagement des bassins versants des petits affluents, lorsqu'elles existent, restent largement embryonnaires. Ces stratégies d'aménagement concertées sur les bassins versants des petits affluents sont importantes pour la protection des enjeux locaux et le développement d'une solidarité amont-aval sur le bassin. Si les enjeux de Paris et de la région francilienne apparaissent prépondérants en termes de valeur économique, l'acceptation de mécanismes de solidarité amont-aval ne pourra se développer que si des gains sont partagés avec

les enjeux de moindre ampleur en amont ou en aval. Les impacts significatifs que pourraient avoir les changements climatiques sur l'hydrologie du bassin imposent de placer les réponses d'aménagement dans cette perspective. Les multiples facettes des conséquences de ces changements (quantité, qualité, occupation du territoire) nécessitent de placer la réflexion dans une dynamique multi-sectorielle, en évaluant les bénéfices partagés pour des objectifs multiples. Les approches classiques de génie civil ne pourront être la seule réponse aux difficultés à venir. Les capacités naturelles du bassin, par exemple en termes d'expansion des crues ou de stockage d'eau souterraine, doivent être exploitées.

=> Recommandation 6 : Développer la connaissance et la réflexion partagée sur les bassins versants des petits affluents pour construire des stratégies d'aménagement concertées prenant en compte la protection des enjeux locaux pour appuyer le développement d'une solidarité amont-aval sur le bassin. De nouveaux programmes d'aménagements sur l'amont du bassin de la Seine ne seront possibles et acceptés que si les populations locales y trouvent leurs intérêts

Tester l'efficacité des aménagements sur un large panel de scénarios de crues pour éviter de surévaluer leur efficacité

Les études conduisent généralement à surévaluer l'efficacité réelle des aménagements. Ceux-ci sont en effet souvent dimensionnés sur la base d'épisodes de crues passés et en supposant que le déroulement de la crue est parfaitement connu. Or le déroulement des prochaines crues sera différent (distribution spatiale des pluies, des débits et volumes de crue, chronologie variable, saison...) et les situations opérationnelles à venir ne sont pas connues ou alors avec de nombreuses incertitudes. Un remplissage trop précoce des ouvrages, par méconnaissance du moment de la pointe de crue, peut les rendre, par exemple, moins efficaces.

La réflexion sur les aménagements doit également, en dépit et du fait des incertitudes, s'inscrire dans une perspective d'adaptation à long terme prenant en compte les évolutions pressenties liées aux changements climatiques et à leurs impacts sur l'hydrologie du bassin versant (risque de grandes crues au printemps alors que les barrages réservoirs sont pleins), et sur les évolutions démographiques et socio-économiques. Ainsi, au-delà de l'efficacité en contexte actuel des ouvrages pour certaines gammes d'événements de référence, leur pertinence doit être également évaluée en contexte futur, où le fonctionnement hydrologique du bassin pourrait être modifié (saisonnalité des crues et des étiages, augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes...). Il ne convient donc pas seulement de prévoir des volumes (de stockage ou d'eau), mais aussi de s'assurer qu'ils seront mobilisables en temps opportun pour les besoins tels qu'ils sont prévisibles.

L'utilisation de méthodologies d'études fondées sur la simulation de multiples scénarios générés aléatoirement sur le bassin, permettrait d'analyser et de prendre en compte d'autres typologies de crues, d'estimer leurs probabilités, de dimensionner des aménagements pour une gamme de scénarios d'événements au-delà des seuls scénarios historiques connus et d'évaluer leur comportement pour d'autres gammes possibles. Bien que complexes et pour partie encore du domaine de la recherche, ces méthodes innovantes mériteraient d'être plus largement diffusées auprès des praticiens.

=> Recommandation 7 : Développer les études reposant sur des scénarios multiples de configuration de crues, cohérents avec les conditions futures attendues sur le bassin.

La gestion des étiages pourrait devenir rapidement une question majeure du fait du changement climatique

Les projections de l'impact du changement climatique sur le bassin de la Seine indiquent que les débits des étiages moyens et extrêmes de la Seine et de ses affluents pourraient significativement diminuer dans les décennies à venir. Par ailleurs, la pression sur la ressource en été pourrait nettement croître du fait de l'augmentation des températures. Or, les connaissances actuelles sur les étiages dans le bassin de la Seine sont encore lacunaires qu'il s'agisse de l'hydrologie des étiages

(fonctionnement et relations entre compartiments) ou des besoins en eau actuels et futurs (nature de ces besoins, contraintes associées, coûts d'une raréfaction de la ressource et de situations de pénuries, capacités d'adaptation). Ce manque de connaissances ne permet pas actuellement de définir des solutions et des programmes d'actions adaptés. Il est impératif de se préparer dès maintenant à ces changements importants annoncés en engageant un large programme d'étude.

=> Recommandation 8 : Mettre en place d'un programme d'études sur les étiages dans le bassin de la Seine afin de mieux apprécier la ressource en eau en période d'étiage, de mieux comprendre la dynamique des étiages à l'échelle annuelle et sur le long terme dans un contexte de changement climatique, d'évaluer leurs effets sur la qualité des milieux naturels aquatiques, les besoins en eau actuels et futur, d'envisager des mesures d'adaptation et d'arbitrage entre différents usages, et de définir le cas échéant des solutions palliatives adaptées.

Favoriser la gestion concertée des ouvrages et des aménagements

Les aménagements doivent se concevoir comme complémentaires les uns des autres. Aucun ouvrage ne permettra de régler à lui seul toutes les problématiques pour toutes les occurrences. La présence d'ouvrages multiples demande donc que des réflexions soient menées (et si possible des outils mis au point) pour assurer une gestion concertée de ces ouvrages, avec des objectifs souvent multiples, des enjeux nombreux répartis sur le territoire, et des horizons temporels variés (heure, jour, semaine, mois ou saison). La tâche est délicate mais les enjeux sont importants pour maximiser l'efficacité des infrastructures (et surtout éviter les effets contraires de ceux recherchés).

=> Recommandation 9 : réaliser une étude de parangonnage des politiques d'aménagements hydrauliques menées sur certains grands fleuves et leurs affluents, notamment en Europe, pour apporter un éclairage utile sur les méthodes et moyens de définir et d'assurer une cohérence d'ensemble aux aménagements.

Mieux prévoir pour mieux agir

L'efficacité des ouvrages est généralement améliorée si l'on dispose d'outils d'anticipation performants, avec des échéances allant de quelques heures à quelques jours ou quelques mois suivant les phénomènes, bassins et objectifs ciblés. Le développement de tels outils contribueront à la gestion temps réel des excès et manques d'eau.

=> Recommandation 10. Développer les outils de gestion tactique et temps réel des différents dispositifs sur le bassin pour en assurer un meilleur fonctionnement concerté et une meilleure efficacité globale pour différents objectifs, et pour cela améliorer notamment les outils d'anticipation à courte, moyenne et longue échéance.

Établi le 21 octobre 2016,

Yann DENIAUD, Eric GAUME, Charles PERRIN, Édouard DURAND, Bertrand de BRUYN

Annexe 14 : Liste des projets étudiés sur le bassin Seine-Normandie

La vocation de ce tableau est d'avoir une vision synoptique des projets connus d'influence locale ou du bassin. Il synthétise les projets étudiés depuis 1985 notamment par l'EPTB Seine Grands Lacs et par l'Entente Oise Aisne, et les effets attendus des actions de restauration des capacités d'infiltration urbaine et rurale, des zones d'expansion de crues, des zones humides et des aménagements d'hydraulique douce et des effets de modification de l'occupation du sol . Il n'intègre pas les études de connaissance, les outils et les modèles, ni les démarches engagées participant à la réduction du risque inondation en cours (notamment dans le cadre du PAPI de la Seine et de la Marne Francilienne).

Projet	Gain attendu en inondation et/ou étiage	Impact sur l'écosystème local	Montants indicatifs (€ 2015) - Délai de réalisation estimé	Degré d'investigation	Suites envisagées
GESTION DES INONDATIONS PAR OUVRAGES DE GENIE CIVIL					
Espaces endigués de la Bassée	<u>INONDATION</u> : Volume de 55 M. de m ³ Débit de pompage de 230 m ³ /s De 20 à 40 cm de réduction des niveaux à Paris Fonctionnement pour des crues de période de retour de 10 à 100 ans et au-delà.	Zone Natura 2000 Projet de valorisation écologique	600 M€ Délai : 5 à 10 ans pour le site pilote + 10 ans pour le programme complet	Débat public Etudes AVP pour site pilote en 2017 Projet de site pilote inscrit dans le PAPI en cours.	A poursuivre en priorité
Ralentissement dynamique (65 sites possibles Yonne)	<u>INONDATION</u> : + ou – si le ralentissement de l'onde de crue de l'Yonne devient concomitante avec celle de la Seine pour les crues supérieures à 20 ans, coordination difficile	Nécessite la construction de digues de faibles hauteur et pertuis dans le lit mineur (obstacle à la continuité écologique et à l'hydromorphologie	185 M€ Délai : 5 à 10 ans pour 1 site + 10 ans pour 65 sites	1 étude préliminaire uniquement	Poursuivre les études en caractérisant plus finement l'impact sur les enjeux en aval et en veillant aux risques de synchronisation avec les crues de la Seine

Projet	Gain attendu en inondation et/ou étiage	Impact sur l'écosystème local	Montants indicatifs (€ 2015) - Délai de réalisation estimé	Degré d'investigation	Suites envisagées
Dérivation de la boucle de Gennevilliers	<u>INONDATION</u> : Dérivation de 0 à 600 m ³ /s gravitairement et par pompage dans un tunnel de 15 m de large Jusqu'à - 35 cm à Paris Incidence potentielle en aval	Ouvrage souterrain Incidence potentielle au droit de la prise et de la restitution en lit mineur	1.2 Milliard € Délai : 5 à 10 ans	Dispositif comparable à la boucle de St-Maur. Plusieurs études avec de nombreuses variantes envisagées	Renoncer pour l'instant (pourrait être étudié dans une démarche de reconstruction future (build back better))
Casiers de ralentissement dynamique de Longueil 2 (Oise)	<u>INONDATION</u> : Grande plage de fréquence de crues écrêtées . 3 Mm ³ (en plus des 15 Mm ³ de Longueil 1)	Casiers paysagers ; création d'une réserve écologique (zone pédagogique ; parcours avec observatoires ; zone d'accueil d'oiseaux migrateurs)	~10 M €	Etude de faisabilité et d'orientation lancée ; ouvrage de Longueil 1 opérationnel depuis 2009	A poursuivre
Ouvrage de Montigny-sous-Marle (Serre)	<u>INONDATION</u> : Ouvrage sur la Serre en amont du TRI de Chauny-Tergnier-La Fère, complémentaire de l'ouvrage de Proisy (sur l'Oise)	Surstockage	8 M€ Négociation pour l'octroi des subventions FPRNM citées au Plan Seine, faute de PAPI	Etudes et DUP réalisées ; maîtrise foncière en cours ; fouilles archéologiques en 2017 ; travaux en 2018 et 2019	A poursuivre
Casiers de ralentissement dynamique de Vic/Aisne	<u>INONDATION</u> : 4-5 Mm ³ – Agit sur 3 TRI	Reconversion d'anciens bassins de sucrerie ; pas d'impact environnemental du fait de la reconversion d'un site anthropique.		Utilisation d'anciens bassins de sucrerie (déjà acquis). Etude de faisabilité et d'orientation en stand by faute de PAPI	A étudier car ne faisant pas partie du programme stratégique identifié dans le PAPI
Mise à niveau des protections localisées, digues et murettes dans Paris et la petite couronne	<u>INONDATION</u> : Hypothèse étudiée : protection contre la crue 1910 dans Paris Protection au niveau de la crue de 1924 dans les départements de petite couronne Incidence négative en aval potentielle	Insertion dans le territoire – impact paysager	2.1 Milliard € Délai : 5 à 10 ans	1 étude en 1998 Priorité à la réhabilitation Actualisation de l'étude programmée dans le PAPI	A conduire en priorité en lien avec l'évolution réglementaire (compétence Gemapi) et institutionnelle des acteurs potentiels

Projet	Gain attendu en inondation et/ou étiage	Impact sur l'écosystème local	Montants indicatifs (€ 2015) - Délai de réalisation estimé	Degré d'investigation	Suites envisagées
GESTION DES ETIAGES					
Canalisation des lacs-réservoirs vers la région parisienne	<u>ETIAGE</u> Pas d'effet Objectif lié à la qualité des eaux	Non évalué	5 à 8 Milliard € 2015 Délai : + de 10 ans	Actualisation environnementale nécessaire Coût réhibitoire Intérêt limité	A abandonner
Soutien des débits des rivières par la réalimentation des nappes – réserves importante sur le rapport efficacité / cout énergétique	<u>ETIAGE</u> Soutien relativement faible et effet localisé : au maximum, 5 à 10 m³/s dans la Seine et 1 à 4 m³/s dans la Marne	Non évalué	30 à 40 M d'€ Délai : 5 à 10 ans	Incertitude sur la faisabilité liée à la complexité de modéliser les phénomènes de colmatage Etudes complémentaires réalisées par la DRIEE dans les nappes du Champigny et de la Beauce	A expérimenter puis expertiser

GESTION COMBINEE DES INONDATIONS ET DES ETIAGES

<p>Barrages sur l'Yonne (25 sites identifiés – 8 sites étudiés au niveau faisabilité)</p>	<p><u>INONDATION</u> : Hauteur de 13 à 52 m Alimentation gravitaire ou par pompage Nécessité de recourir à la prévision Combinaison de 3 ouvrages permettant de réduire les niveaux jusqu'à 60 cm à Paris Fonctionnement pour des crues de période de retour de 10 à 100 ans <u>ETIAGE</u> : Identification de 25 sites pour le double objectif mais rapport topographique mauvais et faible volume disponible, conduisant à l'abandon de ces solutions</p>	<p>Incidence liée au marnage sur l'érosion des sols Incidence paysagère Incidence sur la continuité écologique et sur l'hydromorphologie</p>	<p>45 à 65 M€ (sites amont) 330 à 1 000 M € (sites aval) Délai : + 10 ans</p>	<p>Etudes niveau faisabilité Actualisation environnementale nécessaire</p>	<p>A étudier en seconde priorité en étant vigilant au risque de synchronisation des crues de la Seine</p>
<p>Lac des cotes de Champagne</p>	<p><u>INONDATION</u> : Volume de 110 M. de m³ Débit de dérivation de 110 m³/s Cours d'eau : Ornain, Chée, Vière Diminution de l'ordre de 30 cm sur la Marne et 15 cm à Paris <u>ETIAGE</u> : Utilisation selon des débits cibles, et en soutien d'étiage tardif</p>	<p>ZNIEFF type 1 et 2 Destruction d'habitats liés au plan d'eau permanent</p>	<p>450 M € Délai : Plus de 10 ans</p>	<p>Etudes niveaux AVP mais datant de 1990 et donc actualisation sur les incidences environnementales à prévoir. Abandon suite au choix de financer prioritairement des projets relatifs à l'amélioration de la qualité des eaux Opposition locale</p>	<p>Entamer en priorité une mise à jour des études de principe et conduire une analyse des coûts et impacts au regard des bénéfices attendus</p>

<p>Projet de réserve naturelle nationale sur la Bassée auboise</p>	<p><u>INONDATION & ETIAGE</u> Maintien de la fonctionnalité du fleuve Seine en amont de Nogent-sur-Seine et des zones humides associées (prévention des inondations, soutien à l'étiage, amélioration de la qualité de l'eau)</p>	<p>Préservation, voire restauration des milieux naturels du secteur</p>	<p>Non estimé (en dizaines ou centaines de milliers €)</p>	<p>Périmètre du projet de réserve identifié grâce à diverses études (2600ha environ). Secteur qui devrait être interdit à l'ouverture de carrières dans le cadre de la révision du SDC de l'Aube. Etude avant-projet de réserve doit bientôt être lancée</p>	<p>Poursuivre l'action engagée</p>
<p>Restauration des Zones d'expansion de crues naturelles (lit majeur) et des zones humides</p>	<p><u>INONDATION</u> Ecrêtement et ralentissement des crues pour toutes les gammes de fréquence. Pour 214 km² des zones humides alluviales fonctionnelles (surface à préciser par les études ultérieures), le volume hypothétique stocké serait de l'ordre de 64 Mm³(en raison de +30cm d'eau). Si toutes les zones naturelles et les prairies dans les vallées alluviales larges (BV Seine en amont de Paris et Marne) étaient les zones d'expansion des crues fonctionnelles, le volume serait plusieurs fois supérieur. <u>ETIAGE</u> Alimentation des nappes alluviales et soutien d'étiage associé</p>	<p>Amélioration de la qualité des eaux : filtration, dénitrification Amélioration de la biodiversité Reconnexion des milieux</p>	<p>Coût de restauration, en fonction de l'état de la ZEC :</p> <p>1000 -5000€/ha pour les ZEC sans travaux de terrassement lourds</p> <p>Jusqu'à 100 000 €/ha pour les travaux de destruction des digues, et de terrassement, ouvrages de régulation (vannes, canaux).</p> <p>Entretien : ~ 8 M€ (pour 214 km² des ZEC fonctionnelles, coûts de 254 à 521€/ha/an)</p>	<p>Nombreuses études site par site, pas de recensement des ZEC actuelles ou potentielles à l'échelle du bassin. Les volumes de stockage ne sont pas évalués</p> <p>Estimations à mettre à jour avec les données plus précises (ex. étude du SGL sur la Seine et Marne francilienne en cours : résultats en 2018).</p> <p>Inventaire et protection urgente des zones humides sous peine de voir les zones potentielles disparaître (SDAGE)</p>	<p>Poursuivre et étendre l'action engagée à tout le bassin.</p>

<p>Favorisation de l'infiltration en zones urbaines (toitures végétalisées, chaussées filtrantes, noues,...)</p>	<p><u>INONDATION</u> : Ralentissement et diminution des volumes ruisselés (pluie < 10 ans de période de retour) de quelques % en zone urbaine dense et plus dans les nouveaux quartiers équipés des ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source. Pas d'effet sensible pour les crues de la Seine à Paris (la réduction du débordement des réseaux d'assainissement et des surverses par les DO étant le principal objectif). <u>ETIAGE</u> Pas d'impact</p>	<p>Amélioration de la qualité des eaux des milieux-récepteurs (moins de rejets par temps de pluie) Espaces végétalisés en ville, gestion des îlots de chaleur Réutilisation des eaux pluviales (arrosage, nettoyage des surfaces urbaines...)</p>	<p>Le montant pour un grand projet de rénovation urbaine (Laval) : 500 000€ (à comparer avec le coût de l'aménagement « classique » de 1,2M€)</p>	<p>Testé sur certaines agglomérations et départements : Val-de-Marne, Seine-St-Denis, Hauts-de-Seine, MRN... Dimensionnement limité essentiellement aux événements fréquents (< 10 ans de période de retour) et efficacité proportionnelle à l'échelle de mise en œuvre</p>	<p>Mettre en place un politique plus ambitieuse avec les leviers financiers adhoc</p>
<p>Aménagements d'hydraulique douce en zones rurales (bandes enherbées, haies, fascines, noues et fossés)</p>	<p><u>INONDATION</u> Ralentissement des écoulements. Diminution importante de 50 % du ruissellement à l'échelle de la parcelle et de ~20% à l'échelle du bassin (pluie < 4-5 ans de période de retour). Effet sensible pour les crues fréquentes (jusqu'à 10 ans de période de retour). <u>ETIAGE</u> Limitation de la sécheresse des sols, Infiltration vers les nappes et soutien des cours d'eau</p>	<p>Préservation de la biodiversité Epuration des eaux Limitation de l'érosion des sols</p>	<p>Coûts d'investissement (sans tenir compte des aides financières PAC, etc.) : entre 15 et 2000 M€ (en fonction du type de l'aménagement : bandes enherbées ou haies) Coût d'entretien : entre 0,4 à 100 M€</p>	<p>Etude globale, nécessité de précision par territoire. Efficacité limitée aux événements fréquents et proportionnelle à l'échelle de mise en œuvre. Les rythmes de mise en place des aménagements HD sont lents : nécessité d'assurer une dynamique plus forte</p>	<p>Accélérer l'action, avec les leviers financiers adhoc</p>

Evolution substantielle de l'occupation des sols (désimperméabilisation, sols agricoles filtrants, forêts...)	<u>INONDATION</u> Diminution du ruissellement par infiltration vers les nappes <u>ETIAGE</u> Soutien d'étiage par les nappes	Préservation de la biodiversité Epuración des eaux Limitation de l'érosion des sols		Modélisation existantes (Piren Seine) Demande des changements importants pour avoir un effet sensible. Pleine cohérence avec la stratégie d'adaptation	Etudier les blocages
OPTIMISATION DES LACS-RESERVOIRS EXISTANTS					
Interconnexion des barrages Seine-Aube et Marne	<u>INONDATION</u> Peu d'incidence sur les crues – légère amélioration sur Seine-Aube <u>ETIAGE</u> Amélioration du soutien d'étiage en cas de vidange décennale Marne (mais vidange qui n'est plus systématique)	Impact lié à la mise en place de l'infrastructure à évaluer et à évier/réduire/compenser	750 M € Délai : 5 à 10 ans	Coût élevé pour un faible bénéfice	Renoncer pour l'instant
Révision des règlements d'eau des barrages existants Consignes de crue	<u>INONDATION</u> Amélioration de la gestion des crues de printemps -15 cm pour la crue de 1983 à Gournay pour le RE Marne A étudier sur SEINE et AUBE Possibilité d'optimiser la gestion des crues sur le réservoir de la Marne dans le cadre des consignes de crue (utilisation de l'ouvrage au-delà de la tranche exceptionnelle) <u>ETIAGE</u> : Amélioration sensible du soutien d'étiage tardif	Prise en compte des débits minimum biologique	0 Délai : court terme	Etudes micro-habitats et études hydraulique détaillée sur 20 crues Intérêt local et à l'échelle des axes régulés	Poursuivre les travaux engagés

Annexe 15: Fiches par ouvrage

Annexe 15A-Espaces endigués de la Bassée

Objectif de gestion :

Ecrêtement des crues : l'ouvrage ne serait mis en service que lors de la survenance d'une crue formée en aval de la confluence Seine-Yonne, en retenant temporairement une partie du débit de la Seine afin d'écarter la pointe de crue formée en aval de la confluence. Il est intégré à la stratégie locale du territoire de la métropole francilienne.

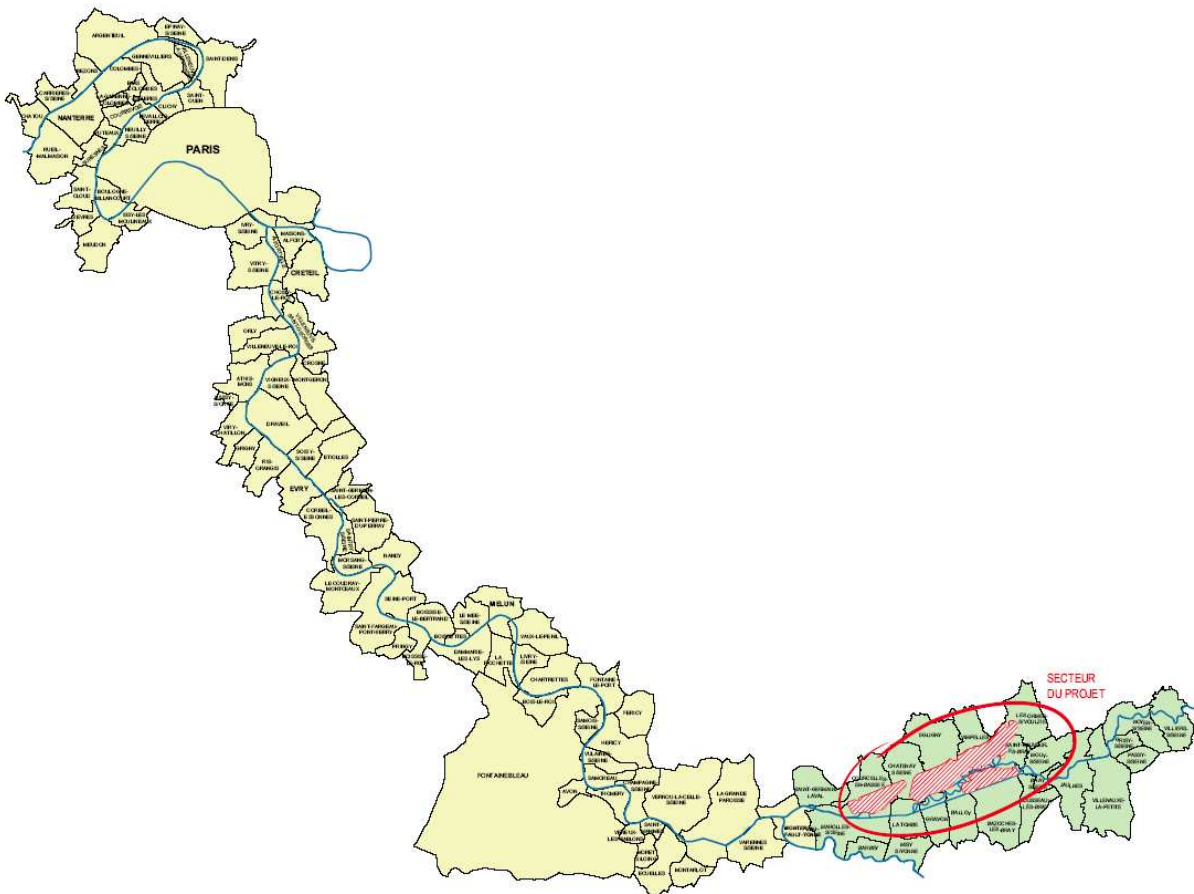
Ce projet intègre également un volet de valorisation écologique de la Bassée aval.

Maître d'ouvrage :

EPTB Seine Grands Lacs

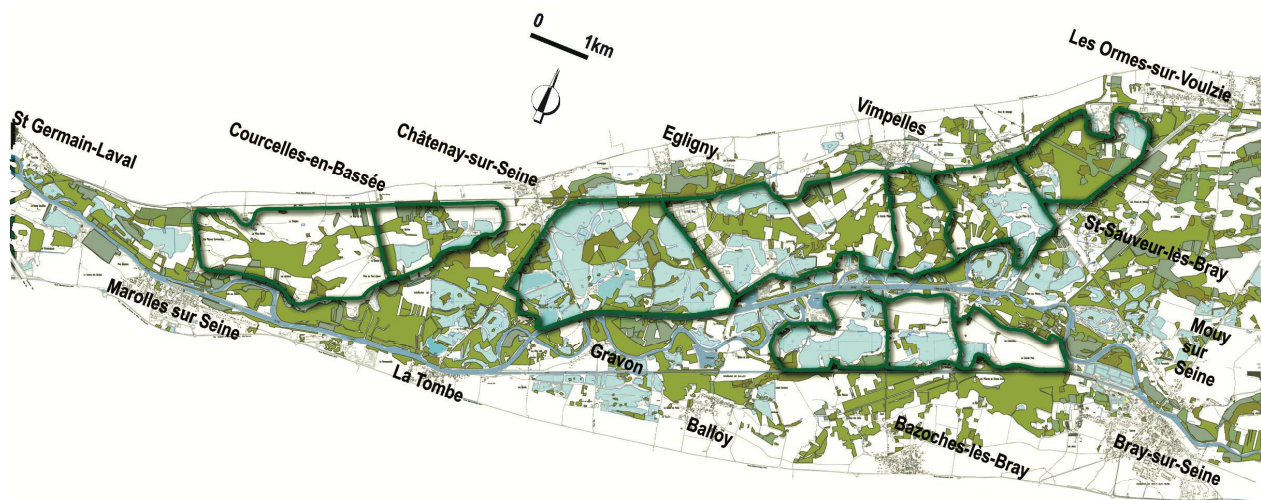
Implantation :

Implantation sur la Seine en amont de la confluence avec l'Yonne, à moins de 100 km de Paris.



Descriptif technique succinct :

Stockage des crues de la Seine en amont immédiat de la confluence avec l'Yonne via 10 espaces endigués. Volume total stockage de 55 M de m³. Hauteur moyenne d'eau de 2,50 m. Remplissage par pompage, vidange gravitaire.



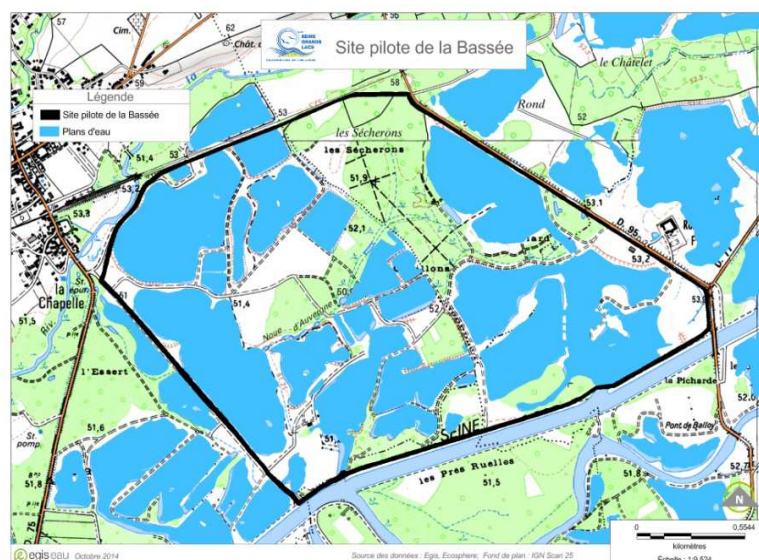
Historique et contexte :

Ce site fait l'objet d'études depuis la fin des années 90. Il s'agit d'une ancienne zone d'expansion naturelle des crues mais qui n'est plus débordante naturellement pour les crues moyennes à fortes du fait du recalibrage de la Seine dans le cadre de la mise à grand gabarit. Zone non urbanisée située en amont immédiat de la confluence Seine-Yonne et permettant une action sur les crues de la Seine en Île-de-France.

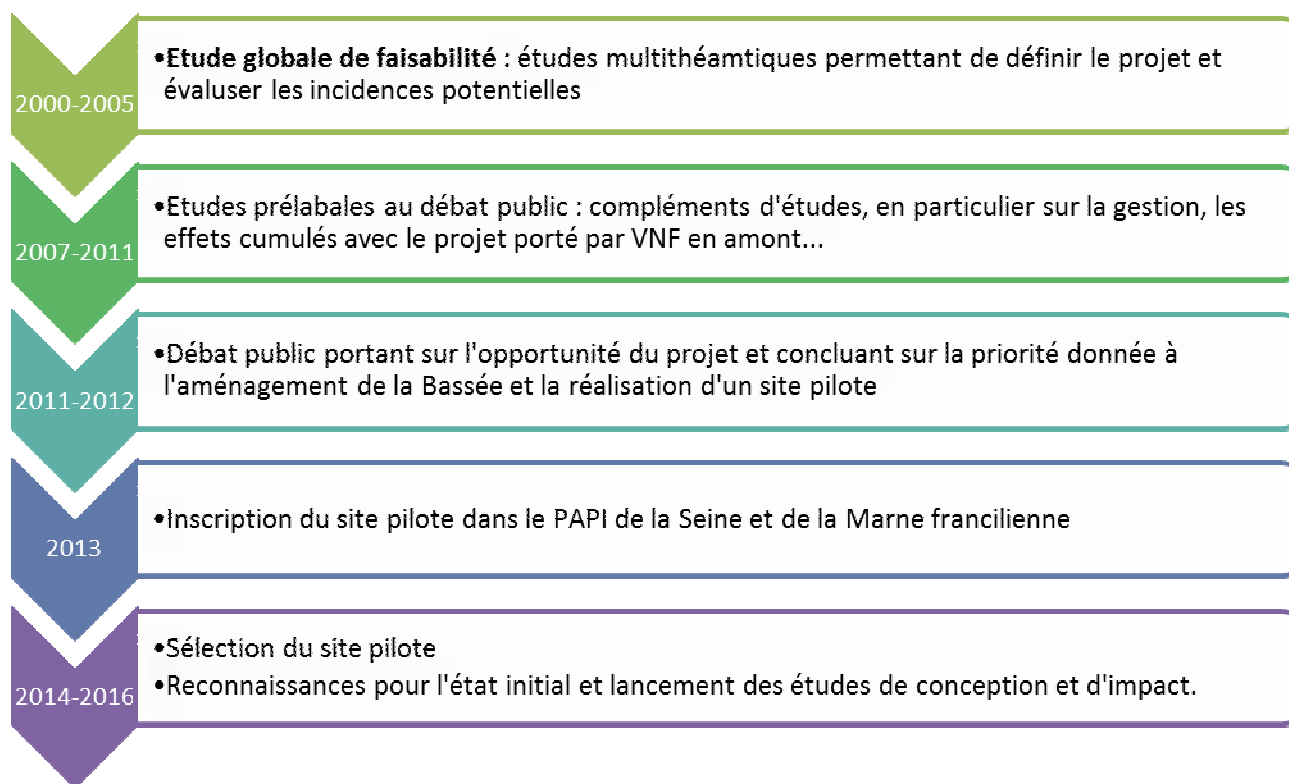
État actuel du projet :

Débat public organisé en 2011-12 sous l'égide de la Commission nationale du débat public, sur la base des études préliminaires : a conclu à la décision de réaliser un premier site pilote représentatif afin de démontrer l'efficacité du projet et de lever les incertitudes quant à l'impact sur les usages. Après concertation, le choix de l'emplacement du site pilote a été fixé en 2015. Ce site pilote d'un volume de 9 M. de m³ représente environ 20 % du volume total.

Les études préalables à l'enquête publique sont inscrites dans le cadre du PAPI de la Seine et de la Marne francilienne.



Etudes réalisées, prise en compte du changement climatique :



Les études préliminaires sont réalisées, démontrant la faisabilité et l'opportunité de l'aménagement, ainsi que la sélection du site pilote jugé le plus favorable sur la base de critères techniques, d'usages et environnementaux.

Dans le cadre des études préliminaires au débat public, une synthèse de l'incidence prévisible du changement climatique sur la gestion de l'aménagement a été réalisée. Aujourd'hui l'état d'avancement des connaissances ne montrent pas de tendances claires sur les valeurs des crues et ne remettent pas en cause l'intérêt de l'aménagement.

La gestion de l'aménagement a été testée sur un panel de 20 crues historiques qui a permis de démontrer sa robustesse dans un cadre d'évènements très variés. La crue de juin 2016 sera intégrée à ce panel dans le cadre des études de conception à venir.

L'ouvrage, vide hors période de crue, pourrait être mobilisé de façon efficace en toute saison.

Etudes complémentaires à mener :

Les études d'avant-projet sur le site pilote sont prévues en 2017, l'objectif étant de lancer l'enquête publique sur cette 1ère tranche en 2019, avec la réalisation des travaux d'aménagement sur la période 2021-2023

Consultations et avis formulés :

Avis favorable pour le site pilote suite au débat public 2011-2012. Aménagement préconisé par l'OCDE en 2014.

Une large concertation avec les acteurs locaux a été initiée dès le démarrage des études et se poursuit sous l'égide d'une garante de la concertation. La poursuite du casier pilote est incluse dans le PAPI Seine et

Marne Francilienne en cours d'instruction et qui doit faire l'objet d'un avis de Bassin (29 novembre 2016) et d'un avis lors de la Commission nationale Mixte Inondation de labélisation des PAPI et de suivi de la politique nationale de préventions des inondations.

Gains attendus, zone d'influence :

Le gain attendu porte sur la limitation des débordements en aval, pour des crues de période de retour dans une gamme très large de 10 à 100 ans et au-delà, permettant d'espérer une réduction des niveaux d'eau à Paris de 20 à 40 cm (pour l'aménagement de la totalité du site). L'ouvrage serait mis en fonctionnement pour les crues dommageables pour l'aval (temps de retour 7 à 10 ans).

Le montant des dommages directs évités chaque année en moyenne (DEMA) serait de 70 M €, et même de 105 M € en prenant en compte les dommages aux réseaux. La réduction des dommages serait de l'ordre de 25 % pour une crue de type 1982, et 30 % pour des crues telles que 1955 et 1910.

Influence depuis la confluence de la Seine et de l'Yonne, au moins jusqu'à la confluence avec l'Oise.

Pour la première tranche (site pilote) en cours d'étude, le gain sur la ligne d'eau est en moyenne de 5 cm. L'analyse cout-bénéfice de l'ouvrage reste positive avec un ratio de 2.3 € de dommages évités pour 1 € investi et une VAN positive s'élevant à 170 M€.

Coûts estimés :

Coût d'investissement total évalué à 600 M € (dont 100 M € TTC pour l'aménagement du site pilote). Coût de fonctionnement évalué à 6 M € par an.

Impact hydrologique et environnemental :

Le secteur de la Bassée aval est une ancienne zone humide dégradée, servant autrefois de zone naturelle d'expansion de crues, mais qui n'est plus inondable depuis la mise à grand gabarit de la Seine. L'aménagement lui permettra de retrouver cette fonction initiale d'expansion des crues.

Le secteur est classé Natura 2000 et présente une forte richesse biologique qui sera encore renforcée par l'aménagement via des actions de valorisation écologiques intégrées au projet.

Annexe 15B-Zone de Ralentissement dynamique sur le Bassin de l'Yonne

1. Objectif :

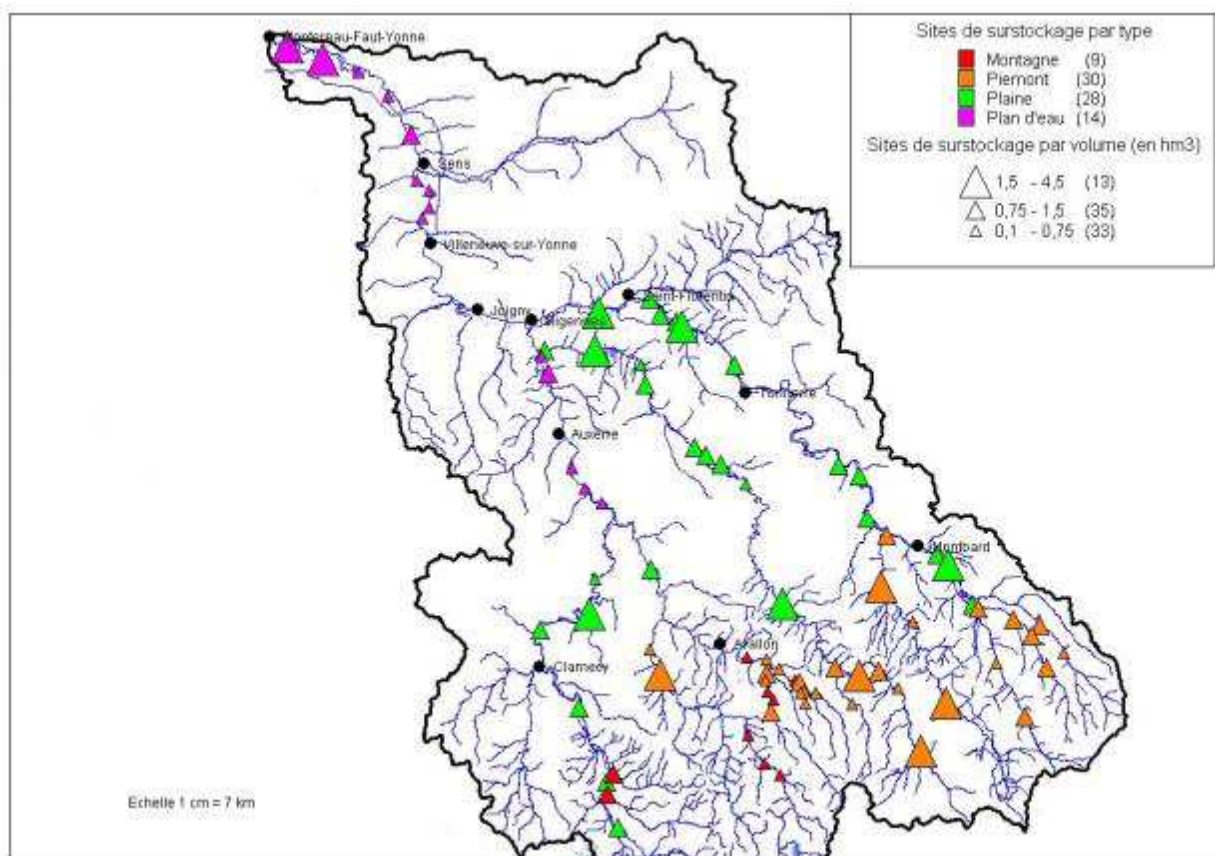
Crue : Schéma d'aménagement composé de plusieurs dizaines de petits ouvrages installés directement sur l'Yonne et ses affluents s'appuyant sur la définition d'une crue de projet de période de retour comprise entre 10 et 20 ans.

Maître d'ouvrage :

EPTB Seine Grands Lacs

Implantation :

Bassin-versant de l'Yonne



Descriptif technique succinct :

Les ouvrages seraient constitués de barrages de terre de quelques mètres de hauteur (remblais transversaux déjà existants, routes ou voies de chemin de fer en général) qui agiraient par combinaison d'effet de ralentissement, de l'amont vers l'aval, sur de nombreux affluents de l'Yonne. Les inondations se feraient sur des zones situées dans le lit majeur et considérées comme déjà inondables.

Le principe serait de surélever les remblais et de réduire la débitance par un orifice de section inférieure en amont du pont, contrôlé par un seuil mobile en rivière, l'ensemble restant transparent pour les crues les plus fréquentes. La sécurité est obtenue en rendant une portion de remblai déversante au-delà de la crue cinquantennale. 65 sites potentiels totalisant un volume de stockage de 67 M. de m³ ont été identifiés

Historique et contexte :

Etudes réalisées en 2002, pour identifier les potentialités sur l'Yonne et l'effet en région parisienne.

État actuel du projet :

En aval de la confluence Yonne-Seine, risque de concomitance aggravée pour certaines crues dont la crue type janvier 1955. – effet limité en région Île-de-France.

Etudes réalisées, prise en compte du changement climatique :

Etude d'identification des sites.

Les impacts attendus du changement climatique n'ont pas été étudiés.

Etudes complémentaires à mener :

Etudes techniques à approfondir : uniquement identification des sites réalisés

Consultations et avis formulés :

Gains attendus, zone d'influence :

Ces aménagements auraient un effet limité en région francilienne, pour les crues moyennes. Pour des crues exceptionnelles de type 1955 ou 1910, l'effet des ZRDC pourrait être nul, voire même négatif à cause d'une possible aggravation de la concomitance du pic de crue de la Seine et de l'Yonne. De plus, le nombre élevé d'ouvrages rendrait particulièrement complexe la gestion globale du dispositif en phase d'exploitation.

De tels aménagements pourraient avoir un effet localisé intéressant pour la protection d'enjeux situés sur le bassin de l'Yonne.

Coûts estimés :

Coût d'investissement évalué à 185 Millions d' € pour l'ensemble des 65 sites

Impact hydrologique et environnemental :

Incidence localisée et limitée liée au surstockage en lit majeur.



Annexe 15C-Tunnel de dérivation de la boucle de Gennevilliers

1. Objectif de gestion :

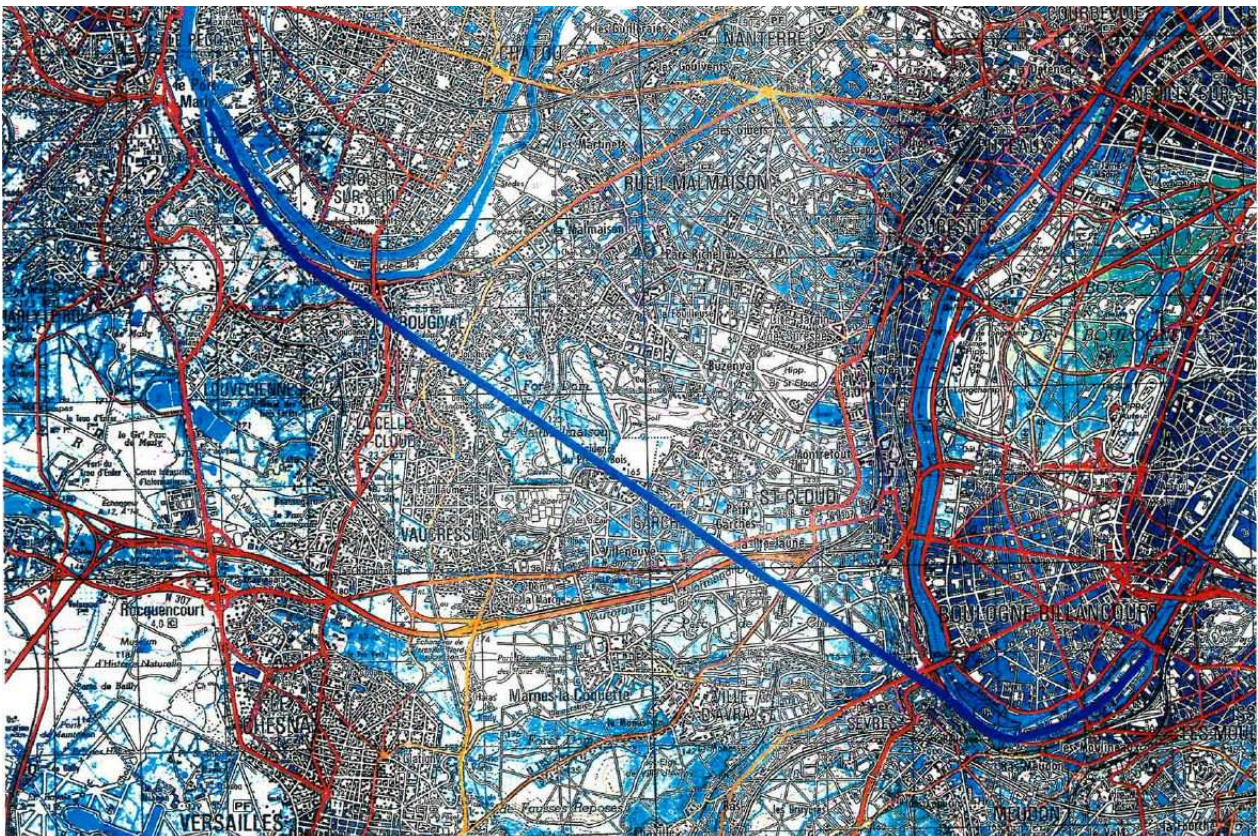
Limitation des niveaux en crue : Diminuer la hauteur des inondations dans la partie centrale de la région parisienne en faisant passer une partie de la crue dans un tunnel entre Issy-les-Moulineaux (92) et Port Marly (78) (impact uniquement sur les crues). Ce projet pourrait intéresser également le SIAAP qui y stockerait les eaux en période d'orage, causes de mortalité piscicoles et de dégradation de la qualité des milieux, avant de les renvoyer vers les stations d'épuration.

Maître d'ouvrage :

EPTB Seine Grands Lacs

Implantation :

Implantation entre la tête de l'île Saint-Germain à Issy-les-Moulineaux (92) et l'extrémité aval de Port Marly (78).



Descriptif technique succinct :

Long d'environ 13 kilomètres. Diamètre intérieur de 10 m à 15 m. Dérivation jusqu'à 600 m³/s dont 300 m³/s par gravité. Au delà, dérivation par pompage. La station étant prévue en amont du tunnel à 60 m de profondeur.

Historique et contexte :

Projet mis à jour par l'EPTB et étudié par la Direction Régionale de l'Équipement d'Île-de-France en 1986. Ouvrage inscrit au Schéma Directeur d'Île-de-France et évoqué dans la Charte d'Aménagement et de Développement des Hauts-de-Seine de 1992. Une variante a été étudiée avec le SIAPP pour optimiser l'utilisation de l'aménagement.

État actuel du projet :

Projet abandonné pour cause de coût prohibitif.

Études réalisées, prise en compte du changement climatique :

Études niveaux faisabilité avec multiples variantes étudiées en 1991 et 1995.

Les impacts attendus du changement climatique ne montrent pas de tendances claires sur les valeurs des crues et ne remettent pas en cause l'intérêt de l'aménagement.

Études complémentaires à mener :

Les diverses études déjà menées montrent que des difficultés techniques sont à résoudre : insertion de l'entrée du tunnel dans l'environnement, mesure exacte de l'impact du flux sortant sur les inondations à l'aval, vitesse de la Seine pour les bateaux, coupure brutale d'électricité.

Consultations et avis formulés : sans objet

Gains attendus, zone d'influence :

Dans la gamme de débits de 900 à 2500 m³/s (crue de 1910), il est attendu une diminution des hauteurs dans la boucle de Gennevilliers de l'ordre de 1.20 m. À l'amont, des diminutions de la ligne d'eau de 1.10 m au pont de Garigliano, 60 cm au pont d'Austerlitz et de l'ordre de 15 cm à Villeneuve Saint Georges sont estimées. Les durées de submersion seraient également réduites.

Coûts estimés :

Coût d'investissement évalué à 1.2 Milliard d'€.

Impact hydrologique et environnemental :

L'impact à l'aval devrait être une légère augmentation des niveaux d'eau compris entre 0 et 6 cm.

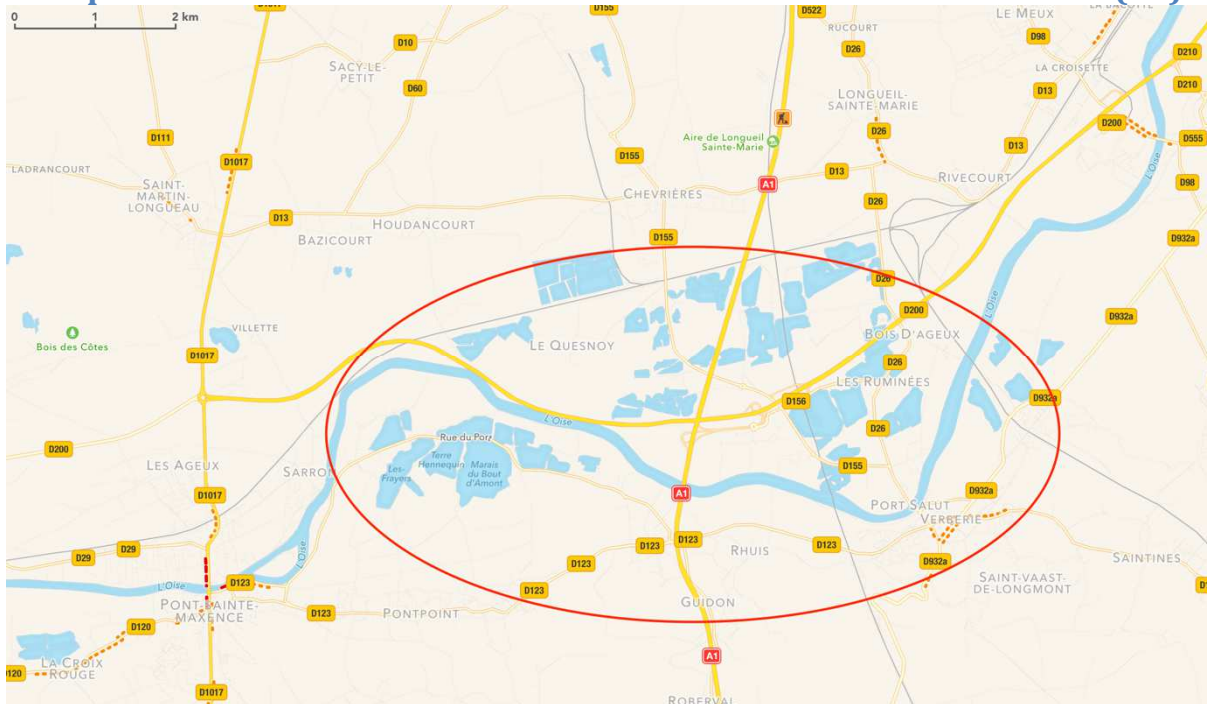
Incidence environnementale limitée sur les sites d'entonnement et de restitution.

Annexe 15D-Ouvrage de Longueil II

1. Objectif de gestion (crues/étiages/mixte) : crues

2. Maître d'ouvrage : EPTB Entente Oise Aisne

3. Implantation : 8 communes entre Verberie et Pont-Sainte-Maxence (60)



4. Principe/ descriptif technique succinct :

Ouvrage de ralentissement dynamique des crues, consistant en des casiers latéraux dans le lit majeur de l'Oise. Le site de Longueil-Sainte-Marie, inauguré en 2009, permet de gérer la dynamique de la crue par alimentation successive des casiers au fur et à mesure de la montée de la crue. Cet ouvrage est gravitaire (remplissage par déversoirs et vannes). Le principe de la seconde tranche dite Longueil II consiste à s'affranchir des déversoirs et se doter d'une capacité de pompage pour gérer la vidange et de remplissage des casiers en fonction de la crue qui se présente. En utilisant le volume utile des casiers de façon optimisée pour chaque crue majeure, l'efficacité est largement augmentée.

5. Historique (contexte,..):

Etude d'orientation lancée en 2016 en partenariat avec VNF et en complément de l'ouvrage de compensation de MAGEO situé à Verneuil-en-Halatte.

6. État actuel du projet (et indications sur les causes de blocage) :

Etude d'orientation en cours. Etudes de maîtrise d'œuvre à suivre.

7. Etudes réalisées (et prise en compte du CC ?):

non

8. Etudes complémentaires à mener (dont prise en compte du CC) :

non

8. Consultation et avis (politiques, techniques, scientifiques, etc.) formulés :

non

10. Gains attendus pour les crues (gamme de crues/abaissement du pic/abaissement max/zone d'effet) :

Gamme de crue ciblée entre Q10 et Q100.

Gains pouvant aller jusqu'à 30 centimètres (à préciser). Les gains sont attendus le long de la vallée de l'Oise aval, concernant les trois TRI de Compiègne, Creil et Métropole Francilienne (axe Oise).

11. Gains attendus pour les étiages (gamme d'évènement/débit/zone d'effet)

non

12. Coûts estimés (investissement/fonctionnement) :

environ 10 M€ HT d'investissement pour les travaux, à ce stade.

13. Niveau d'utilisation des fonctionnalités hydrologique naturelles (nulle/faible/forte):

nulle

14. Impact sur l'écosystème (en construction/ en crues/en étiages):

non

6. État actuel du projet (et indications sur les causes de blocage) :

En attente du dernier accord de financement (FPRNM), semble difficile malgré l'engagement de l'État au Plan Seine.

7. Etudes réalisées (et prise en compte du CC ?):

Dossier d'études complet soumis à enquête publique. Pas de prise en compte du CC.

8. Etudes complémentaires à mener (dont prise en compte du CC) :

non

9. Consultation et avis (politiques, techniques, scientifiques, etc.) formulés :

Tous avis reçus dans le cadre de l'instruction administrative de la DUP / Loi sur l'eau.

10. Gains attendus pour les crues (gamme de crues/abaissement du pic/abaissement max/zone d'effet) :

Gamme de crue ciblée entre Q10 et Q50 ; effet sensible jusqu'à Q100.

Gains pouvant aller jusqu'à 40 centimètres. Les gains sont attendus principalement le long de la vallée de la Serre, mais aussi en aval de la confluence Oise Serre, selon la concomitance.

11. Gains attendus pour les étiages (gamme d'évènement/débit/zone d'effet)

Non

12. Coûts estimés (investissement/fonctionnement) :

8,2 M€ HT d'investissement pour les travaux, environ 50 000 € TTC d'entretien annuel.

13. Niveau d'utilisation des fonctionnalités hydrologique naturelles (nulle/faible/forte):

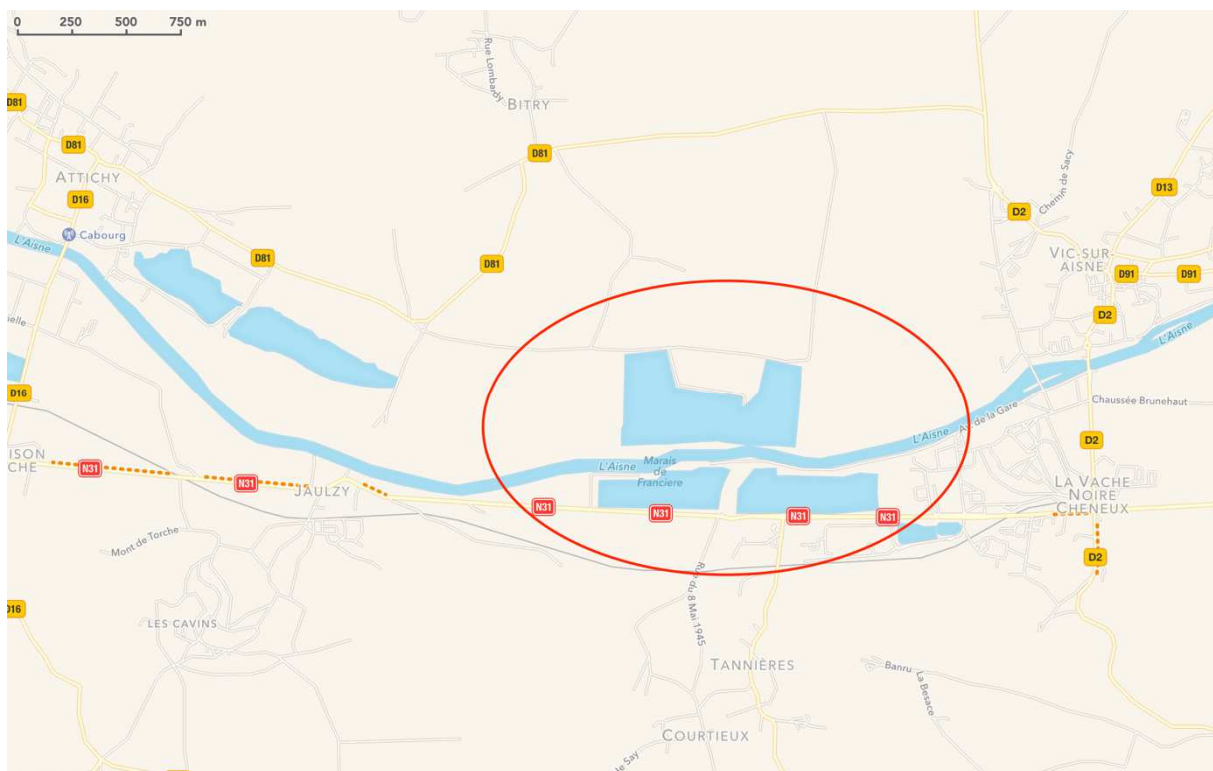
nulle

14. Impact sur l'écosystème (en construction/ en crues/en étiages):

négligeable. Impact sur l'activité agricole traité par servitudes au titre du L211-12 du CE.

Annexe 15F-Ouvrage de Vic-sur-Aisne (Montigny-Lengrain)

- 1. Objectif de gestion (crues/étiages/mixte) : crues**
- 2. Maître d’ouvrage : EPTB Entente Oise Aisne**
- 3. Implantation : communes de Bitry, Courtieux (60), Montigny-Lengrain, Vic-sur-Aisne (02)**



4. Principe/ descriptif technique succinct :

Ouvrage de ralentissement dynamique des crues, consistant en des pompages dans d’anciens bassins de sucrerie. Ces bassins hors sol, d’une douzaine de mètres de haut, seront à reconstruire selon des préconisations de stabilité géotechnique, et à équiper de pompes puissantes pour pouvoir soustraire un débit conséquent à la crue de l’Aisne.

L’Entente Oise Aisne est déjà propriétaire d’une grande partie des bassins.

5. Historique (contexte,..):

Etude d'orientation à lancer.

6. État actuel du projet (et indications sur les causes de blocage) :

Interrogations sur l'éligibilité à une subvention du FPRNM hors PAPI.

7. Etudes réalisées (et prise en compte du CC ?):

non

8. Etudes complémentaires à mener (dont prise en compte du CC) :

Non

9. Consultation et avis (politiques, techniques, scientifiques, etc.) formulés :

non

10. Gains attendus pour les crues (gamme de crues/abaissement du pic/abaissement max/zone d'effet) :

Gamme de crue ciblée entre Q10 et Q100.

Gains pouvant aller jusqu'à 30 centimètres (à préciser). Les gains sont attendus le long de la vallée de l'Oise aval, concernant les trois TRI de Compiègne, Creil et Métropole Francilienne (axe Oise).

11. Gains attendus pour les étiages (gamme d'évènement/débit/zone d'effet)

non

12. Coûts estimés (investissement/fonctionnement) :

environ 20 M€ HT d'investissement pour les travaux, à ce stade.

13. Niveau d'utilisation des fonctionnalités hydrologique naturelles (nulle/faible/forte):

nulle

14. Impact sur l'écosystème (en construction/ en crues/en étiages):

Non



Annexe 15G-Mise à niveau des protections locales

1. Objectif :

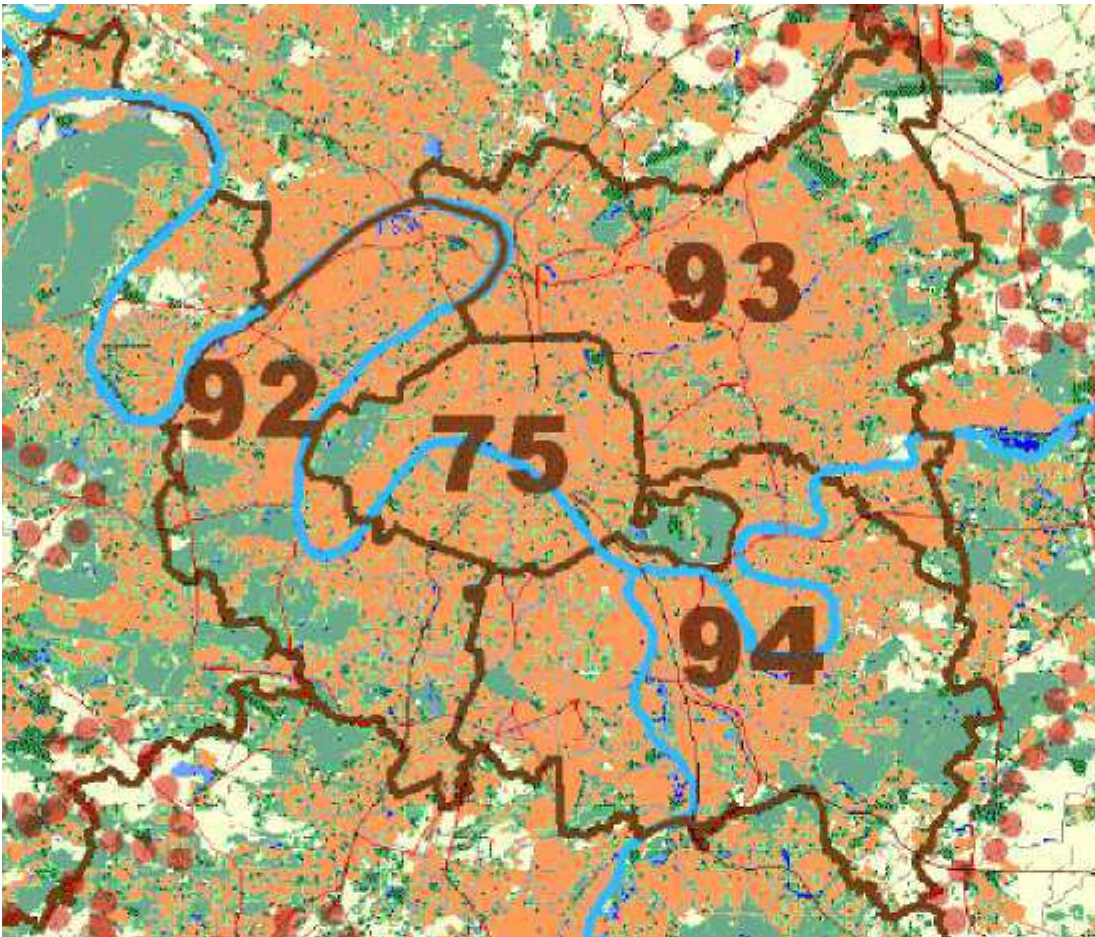
Limitation des débordements en période de crue : Mise à niveau des protections locales contre les inondations sur les quatre départements constitutifs de l'EPTB, et rénover les protections existantes. Protection ciblée au niveau de la crue de 1910 dans Paris, au niveau de la crue de 1924 dans les départements de la petite couronne. Cette action contribue à la stratégie locale de gestion du risque d'inondation du territoire de la métropole francilienne.

2. Maître d'ouvrage :

Etude : EPTB Seine Grands Lacs – Travaux : Collectivités locales

3. Implantation :

Paris et départements de la petite couronne (92, 93, 94).



4. Descriptif technique succinct :

Par ouvrages locaux de protection, on entend des digues et murets, les fermetures de passages sous remblai par des batardeaux.... Cette étude a pris pour hypothèse une mise à niveau des protections contre la crue de 1910 à Paris et le niveau de la crue de 1924 dans le département de petite couronne.

5. Historique et contexte :

Inventaire réalisé en 1983 pour le compte de la région Île-de-France actualisé lors de l'étude sur les enjeux socio-économiques des crues de 1998.

6. État actuel du projet :

Priorité à la réhabilitation des digues et murets existants. Etudes de dangers réalisés ou en cours de réalisation par les départements concernés.

7. Etudes réalisées, prise en compte du changement climatique :

Etude des impacts hydrologiques et socio-économiques dans l'étude sur les enjeux socio-économiques des crues de 1998.

Les impacts attendus du changement climatique ne montrent pas de tendances claires sur les valeurs des crues et ne remettent pas en cause l'intérêt de l'aménagement.

8. Etudes complémentaires à mener :

Etude programmée dans le PAPI sur l'homogénéisation des niveaux en petite couronne.

9. Consultations et avis formulés : sans objet

10. Gains attendus, zone d'influence :

Gains sur les dommages dus aux crues sur la zone protégée, Paris et petite couronne.

11. Coûts estimés :

Coût d'investissement évalué à 2.1 Milliard d'€.

12. Impact hydrologique et environnemental :

Influence négative potentielle à l'aval.

Les digues et murets de protection peuvent poser un problème d'insertion dans le territoire et de sécurité des personnes en cas de rupture.

Annexe 15H-Canalisation entre les lacs-réservoirs et la région parisienne

1. Objectif :

Qualité des eaux : Mise à disposition des producteurs d'eau potable de la région parisienne l'eau des lacs-réservoirs par canalisation pour une utilisation plus rationnelle de l'eau stockée dans les lacs, une réduction du risque de défaillance de la ressource, une fourniture d'une eau peu polluée, de qualité homogène en éliminant les risques de pollution accidentelle. Garantir un débit minimum et une qualité optimale en période d'étiage, ou toute l'année dans l'hypothèse d'une canalisation alimentant l'axe Marne uniquement.

2. Maître d'ouvrage :

EPTB Seine Grands Lacs

3. Implantation :

Entre les lacs-réservoirs de Champagne et l'est de la petite couronne.



4. Descriptif technique succinct :

3 hypothèses envisagées : une canalisation unique se scindant pour alimenter la Seine et la Marne directement en tête des prises d'eau des usines sous un débit total de $38.5 \text{ m}^3/\text{s}$; deux canalisations pour alimenter les usines de la Seine sous un débit de $22 \text{ m}^3/\text{s}$ et celles de la Marne sous un débit de $16 \text{ m}^3/\text{s}$; une canalisation pour alimenter les usines de la Marne uniquement sous un débit de $38.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour chacune de ces hypothèses, il est prévu d'interconnecter les trois lacs-réservoirs par une canalisation complémentaire.

5. Historique et contexte :

Etude menée pour répondre aux interrogations soulevée par les pointes de pollution chroniques et les risque de pollution accidentelle.

6. État actuel du projet :

Projet abandonné pour cause de cout prohibitif.

7. Etudes réalisées, prise en compte du changement climatique :

Etude de faisabilité en 1996.

Les impacts attendus du changement climatique n'étaient pas connus, donc pas pris en compte, à l'époque.

8. Etudes complémentaires à mener :

Actualisation de l'étude environnementale.

9. Consultations et avis formulés :

10. Gains attendus, zone d'influence :

Sécurisation de l'approvisionnement en eau potable de la région parisienne, particulièrement en période d'étiage.

11. Coûts estimés :

Coût d'investissement évalué de 5 à 8 Milliard d'€. Coût de fonctionnement évalué à environ 19 M d'€.

12. Impact hydrologique et environnemental :

Diminution du soutien d'étiage entre les lacs et la région parisienne.

Impact sur la qualité des eaux de la Marne par diminution de l'oxygène dissous et augmentation de la teneur en ammonium. Pas d'impacts notables sur la Seine.

Annexe 15I-Soutien des débits par la réalimentation des nappes

1. Objectif :

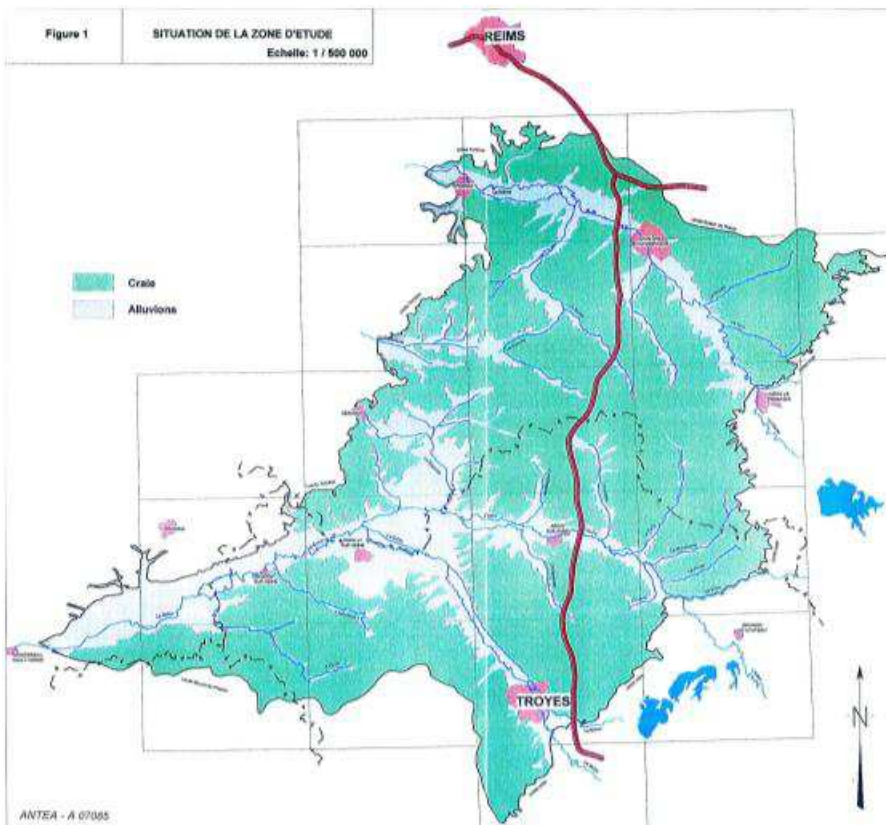
Soutien des étiages : Recharger en hiver et au printemps certaines nappes alluviales riveraines de la Seine, de l'Aube ou de la Marne, de façon que soit la réserve d'eau constituée s'écoule dans la rivière sous forme "naturelle" en été et en automne, soit qu'elle soit surexploitée en étiage sévère ou en cas de pollution.

2. Maître d'ouvrage :

EPTB Seine Grands Lacs

3. Implantation :

Aquifère crayeux de Champagne et lacs de gravières des plaines alluviales du bassin de la Seine en amont de Paris.



4. Descriptif technique succinct :

Pompage de l'eau en rivières en hautes eaux et réalimentation de la nappe par infiltration et des lacs de gravières. En basses eaux, l'apport de la nappe et des lacs de gravière se fait naturellement. En cas d'étiage sévère, un pompage en nappe réalimente la rivière.

5. Historique et contexte :

Première étude prospective pour évaluer les potentialités d'utilisation des nappes, en complément de l'action des lacs-réservoirs.

6. État actuel du projet :

Suspendu pour cause du faible apport de débit attendu sur les axes régulés

7. Etudes réalisées, prise en compte du changement climatique :

Etude de faisabilité de 1996.

Etudes complémentaires réalisés par la DRIEE dans les nappes du Champigny et de la Beauce.

Les impacts attendus du changement climatique n'étaient pas connus, donc pas pris en compte, à l'époque.

8. Etudes complémentaires à mener :

Lever les incertitudes sur les phénomènes de colmatage des gravières – affiner les modélisations pour mieux anticiper les phénomènes

9. Consultations et avis formulés : sans objet

10. Gains attendus, zone d'influence :

Soutien des étiages du Bassin de la Seine amont de 5 à 10 m³/s entre la fin du printemps et les étiages tardifs de novembre – décembre.

Soutien des étiages du Bassin de la Marne de 1 à 4 m³/s pour les mêmes périodes.

L'incidence sur les crues n'a pas été estimée, mais resterait faible, compte tenu des faibles débits prélevés par rapport aux débits de crue.

11. Coûts estimés :

30 à 40 M d'€.

12. Impact hydrologique et environnemental :

Très léger soutien des débits d'étiage.

Impacts environnementaux non évalués et qui pourrait concerner la pollution, en particulier des zones non saturées

Annexe 15J-Barrage sur le bassin de l'Yonne

13. Objectif de gestion :

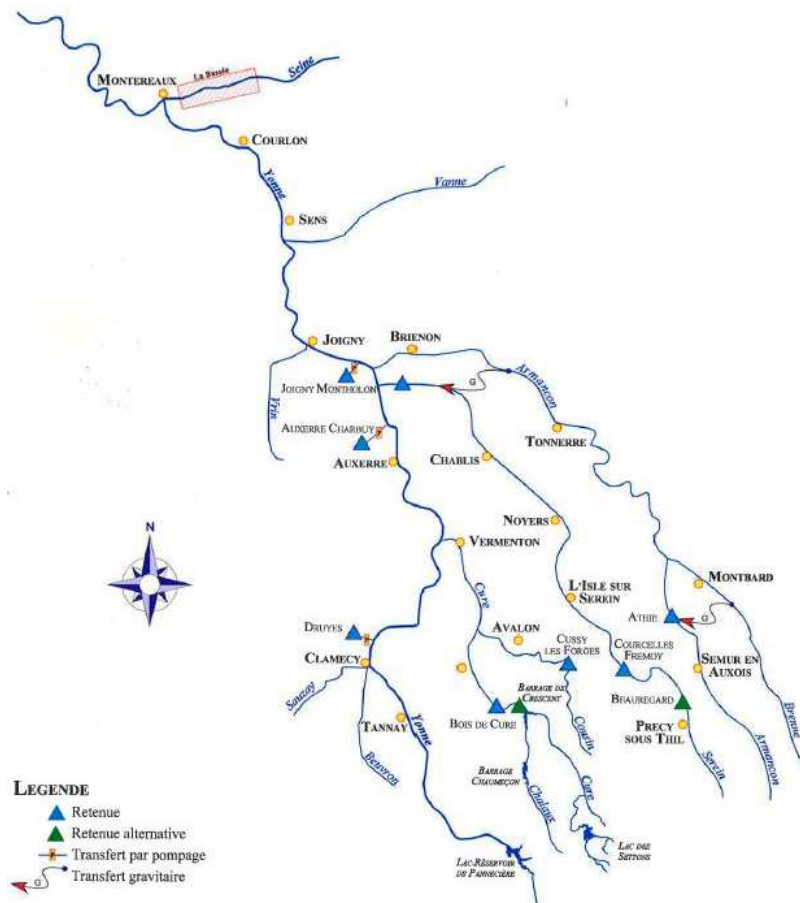
Ecrêtement des crues / soutien des étiages : Des sites répondant au double objectifs soutien des débits et écrêtement des crues ont été identifiés, mais non retenus en raison de leur faible efficacité ou coût important. La priorité a été donnée à des projets permettant l'écrêtement des crues de l'Yonne. En effet le débit de l'Yonne participe généralement à plus de 40 % à la pointe de crue à Paris. L'Yonne est la dernière grande vallée du bassin de la Seine amont peu contrôlée (le barrage de Pannecière ne contrôle que 2 % du bassin-versant)

14. Maître d'ouvrage :

EPTB Seine Grands Lacs

15. Implantation :

Implantation sur l'Yonne et ses affluents, en amont de Joigny.



16. Descriptif technique succinct :

Quatre ouvrages amont de type "barrages secs", à pertuis ouvert, ou surélévation de barrage existant, et quatre barrages « secs » aval dont trois alimentés par pompage. Hauteur des remblais de 13 m à 52 m

17. Historique et contexte :

Sites étudiés dès le début du XXème siècle, puis par l'EPTB entre 1985 (25 sites étudiés) et 1999. 8 sites retenus après une approche hydrologique globale et analyse des contraintes environnementale et socio-économiques pour l'étude de faisabilité de 1995. Aucun site n'est favorable à une gestion selon un double objectif (étiage et crue) pour des raisons géologiques et topographiques.

18. État actuel du projet :

Projets non retenus compte tenu des difficultés d'insertion dans le territoire et d'incertitude sur l'efficacité hydraulique. La priorité a été donnée à celui de l'aménagement de la Bassée.

19. Etudes réalisées, prise en compte du changement climatique :

Identification des sites et études de 25 sites en 1985

Etude des faisabilités techniques en 1995 et des coûts, divers combinaisons parmi les 8 sites retenus ont été étudiés.

Les impacts attendus du changement climatique ne montrent pas de tendances claires sur les valeurs des crues et ne remettent pas en cause l'intérêt de l'aménagement.

20. Etudes complémentaires à mener :

- Etudes hydrologique sur la gestion des retenues à approfondir sur un panel plus large et un modélisation à l'échelle du bassin-versant
- Evaluation des incidences écologiques et environnementales
- Etudes de faisabilité technique à approfondir

21. Consultations et avis formulés : sans objet

22. Gains attendus, zone d'influence :

Le gain attendu porte sur la limitation des débordements en aval permettant d'espérer une réduction des niveaux d'eau à Paris de 30 à 50 cm à Paris suivant les combinaisons des sites retenus (combinaison de 1 à 3 sites étudiés) et selon une gestion idéale basée sur la prévision des crues.

Dimensionnement pour des crues de période de retour de 10 à 100 ans.

Influence depuis l'amont du bassin de l'Yonne et au moins jusqu'à la confluence avec l'Oise

23. Coûts estimés :

Coût d'investissement évalué de 45 à 65 M € suivants les sites pour les sites amont et de 330 à 1 000 M € suivants les sites pour les sites aval.

24. Impact hydrologique et environnemental :

Le concept de "barrage sec" fait apparaître des incertitudes concernant l'impact du marnage dans la retenue : stabilité des versants et risque d'entraînement des sols, tenue et survie des zones boisées, destruction partielle de la faune, la pédofaune et la flore.

Annexe 15K-Lac des Côtes de Champagne

1. Objectif :

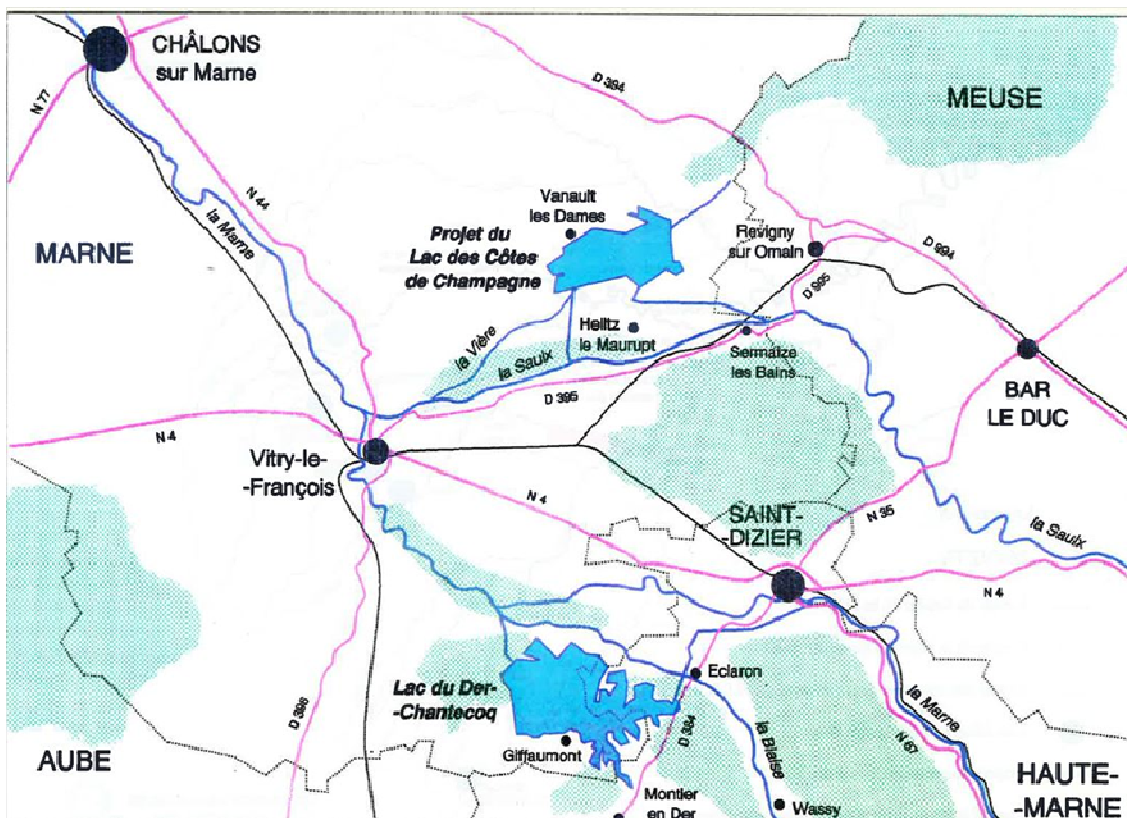
Double objectif écrêtement des crues et soutien des étiages. Le premier objectif était un soutien des étiages de la vallée de la Marne pour faire face à la croissance des besoins en eau et à la défaillance, notamment lors des vidanges décennales, du lac MARNE. Dans un second temps, des objectifs d'écrêtement de crue ont été envisagés. Une gestion coordonnée avec le lac MARNE envisage une utilisation suivant des débits cibles à l'aval et en soutien d'étiage tardif.

2. Maître d'ouvrage :

État – AESN - EPTB Seine Grands Lacs (successivement).

3. Implantation :

En dérivation de la Saulx (affluent de la Marne), de la Chée et de l'Ornain (affluents de la Saulx) et au fil de l'eau de la Vière (affluent de la Saulx).



4. Descriptif technique succinct :

Plusieurs hypothèses de volumes et de débits réglementaires étudiés. Les dernières envisagent un volume de 110 M de m³ (pouvant être porté à 150) et un débit maximum de prise de 110 m³/s. La superficie du plan d'eau est de l'ordre de 1600 ha

Historique et contexte :

En 1969 les administrations de l'État concluent après une étude préliminaire de faisabilité que l'aménagement est techniquement réalisable. Un avant-projet sommaire est établi par l'Agence de l'eau en 1974. Après la sécheresse de 1976, l'Agence mentionne l'hypothèse de cet aménagement dans son document de programmation de 1980. En 1984 l'Agence fait établir un nouvel avant-projet sommaire en ajoutant des options d'écrêtement de crue. En 1990, l'EPTB reprend l'étude du projet.

5. État actuel du projet :

Abandon suite au choix de financer prioritairement des projets relatifs à l'amélioration de la qualité des eaux.

6. Etudes réalisées, prise en compte du changement climatique :

Etudes niveau AVP.

Les impacts attendus du changement climatique n'étaient pas connus, donc pas pris en compte, à l'époque.

7. Etudes complémentaires à mener :

Actualisation des incidences environnementales – conception à reprendre en fonction de la séquence éviter-réduire compenser – actualisation des effets sur la ressource en aval, ACB et études de dangers...

8. Consultations et avis formulés :

Avis négatif du comité de bassin en 1996

9. Gains attendus, zone d'influence :

Influence sur la vallée de la Marne depuis la confluence avec la Saulx, immédiat aval de Vitry-le-François, jusqu'à l'aval de Paris. Meilleure respect des débits cibles en région Île-de-France en étiage. Gain de l'ordre de 30 cm sur la Marne à Gournay pour une crue type 1955 et 23 cm pour une crue type 1910 et respectivement de 15 cm et 10cm sur la Seine à Paris.

10. Coûts estimés :

450 M d'€. Ce montant a été réévalué, mais intègre une forte incertitude sur le montant des mesures compensatoires à envisager.

11. Impact hydrologique et environnemental :

Destruction d'habitats liés au plan d'eau permanent.

Annexe 15L-Interconnexion entre les lacs-réservoirs

1. Objectif :

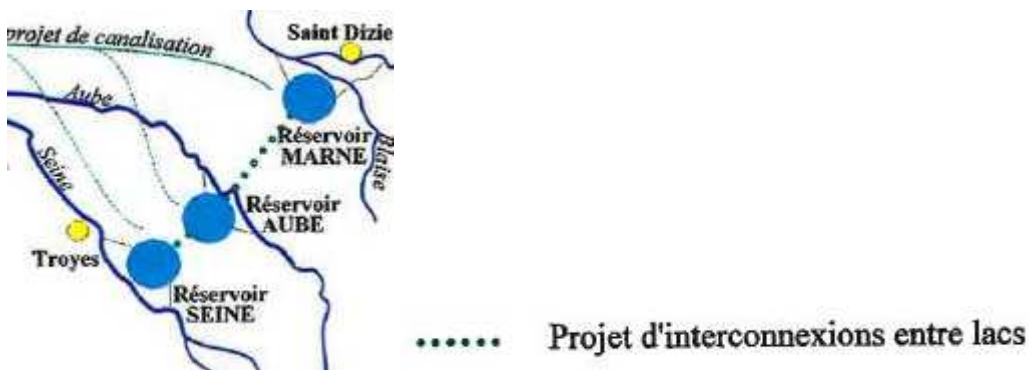
Etiage – Crue : L'objectif est d'optimiser et d'assurer le fonctionnement optimal des 3 lacs-réservoirs de Champagne : compléter le remplissage, en particulier Marne depuis SEINE et AUBE, assurer la vidange de sécurité du lac SEINE vers AUBE et améliorer la gestion des crues de l'agglomération Troyenne en dérivant une partie des débits vers l'Aube (Impact en étiage pour l'interconnexion Seine-Aube-Marne, impact sur les crues pour l'interconnexion Seine-Aube).

2. Maître d'ouvrage :

EPTB Seine Grands Lacs

3. Implantation :

Entre les trois lacs-réservoirs de Champagne.



4. Descriptif technique succinct :

Fonctionnement pour l'étiage, interconnexion Seine-Aube par pompage de 15 m³/s, interconnexion Aube-Marne par pompage de 15 m³/s.

Fonctionnement pour les crues, interconnexion Seine-Aube gravitaire de 40 m³/s en plus du pompage. En cas de prise en compte de la vidange de sécurité, le débit est porté à 60 m³/s.

5. Historique et contexte :

En 1995 les perspectives des besoins en eau pour 2015 indiquaient que le lac Marne pourrait être insuffisant pour assurer les débits nécessaires à l'aval de son bassin.

6. État actuel du projet :

Projet abandonné pour cause de coût élevé pour un faible intérêt.

7. Etudes réalisées, prise en compte du changement climatique :

Etude de faisabilité en 1995.

Les impacts attendus du changement climatique n'étaient pas connus, donc pas pris en compte, à l'époque.

8. Etudes complémentaires à mener :

Incidence environnementale à définir et potentiellement forte en lien avec le linéaire à prévoir
Etudes techniques à approfondir (études de tracés à affiner).

9. Consultations et avis formulés :

10. Gains attendus, zone d'influence :

Amélioration du soutien d'étiage sur toute la vallée de la Marne, sans remettre en cause celui de la Seine.

La gestion pour les crues de l'interconnexion Seine-Aube peut avoir une influence depuis la prise d'eau en Seine à la confluence Seine-Aube en cas de by-pass, mais avec une incidence limitée au-delà de cette confluence.

11. Coûts estimés :

Coût d'investissement évalué à 180 Millions d' € pour la connexion Seine-Aube et 750 Millions d'€ (Seine-Aube-Marne).

12. Impact hydrologique et environnemental :

Optimisation locale des crues, mais avec une incidence limitée. Amélioration du soutien d'étiage sur la Marne, mais limité car la plupart des années sèches, le déficit de remplissage est observé sur les 3 lacs-réservoirs en même temps

Impact négatif lié à la mise en place de l'infrastructure.

ACB probablement négative

Annexe 15M-Révision des règlements d'eau des lacs

1. Objectif :

Etiage et crue : Modifier les règles de gestion afin d'améliorer la **gestion des crues, en particulier les crues de printemps de printemps** et le **soutien des étiages, en particulier le soutien d'étiage tardif**. Cette démarche intègre également la prise en compte des besoins locaux et le débit minimum biologique.

2. Maître d'ouvrage :

EPTB Seine Grands Lacs.

3. Implantation :

Les quatre lacs-réservoirs



4. Descriptif technique succinct :

Proposition d'évolution des règles de gestion actuelle selon les pistes suivantes :

- Modification du volume des tranches des lacs avec augmentation de la tranche de réserve pour **améliorer le soutien des étiages tardifs** entre le 1^{er} novembre et le 15 décembre, augmentation de la tranche exceptionnelle pour **améliorer les possibilités d'écrêtement des crues de printemps** entre mars et juin. La diminution de la tranche normale d'exploitation engendrée par l'augmentation des deux tranches ci-dessus, n'entraîne pas de dégradation du soutien d'étiage normal.
- Anticipation du début de vidange des lacs au 15 juin pour **améliorer le soutien en début d'étiage**.
- Adaptation des débits d'écrêtements (débit maximum en aval du lac-réservoir).
- Modification des débits réservés pour tenir compte des Débits Minimum Biologiques.

Sur le lac de Pannecièrre, la modification des consignes de crue pour pouvoir utiliser une partie du volume au-delà de la tranche exceptionnelle actuelle et ainsi augmenter la durée d'action de l'ouvrage sur les crues avant sa saturation, voir éviter cette saturation est en cours d'étude.

5. Historique et contexte :

L'expérience des années de gestion réelle des ouvrages montre que les règlements d'eau actuels peuvent évoluer. Chaque année ou presque, une adaptation du volume des tranches de réserve et de la date de début de soutien d'étiage est décidé en Comité Technique (CO.TE.CO.) pour s'adapter aux conditions hydrologiques. Des dérogations aux débits d'écêtement peuvent être nécessaires lors des crues de printemps.

6. État actuel du projet :

Les règles de gestion du lac-réservoir de Pannecière ont été révisées en 2015. Les études sont en cours sur les trois autres lacs-réservoirs.

7. Etudes réalisées, prise en compte du changement climatique :

Etude de la gestion sur 110 années chaînées. Etude hydraulique détaillée sur 20 crues pour le RE MARNE. Etudes micro-habitats pour détermination des débits minimum biologiques.

Les études sur le changement climatique tendent à indiquer un renforcement des étiages et un prolongement de ces étiages en fin d'année. Les propositions formulées pour la révision des règlements d'eau vont dans le sens d'une meilleure adaptation à ces changements.

8. Etudes complémentaires à mener :

Etude hydraulique détaillée pour les lacs-réservoirs SEINE et AUBE.

9. Consultations et avis formulés :

10. Gains attendus, zone d'influence :

Gain supplémentaire pour les crues de printemps jusqu'en région parisienne.

Amélioration sensible du soutien d'étiage tardif sur les axes régulés.

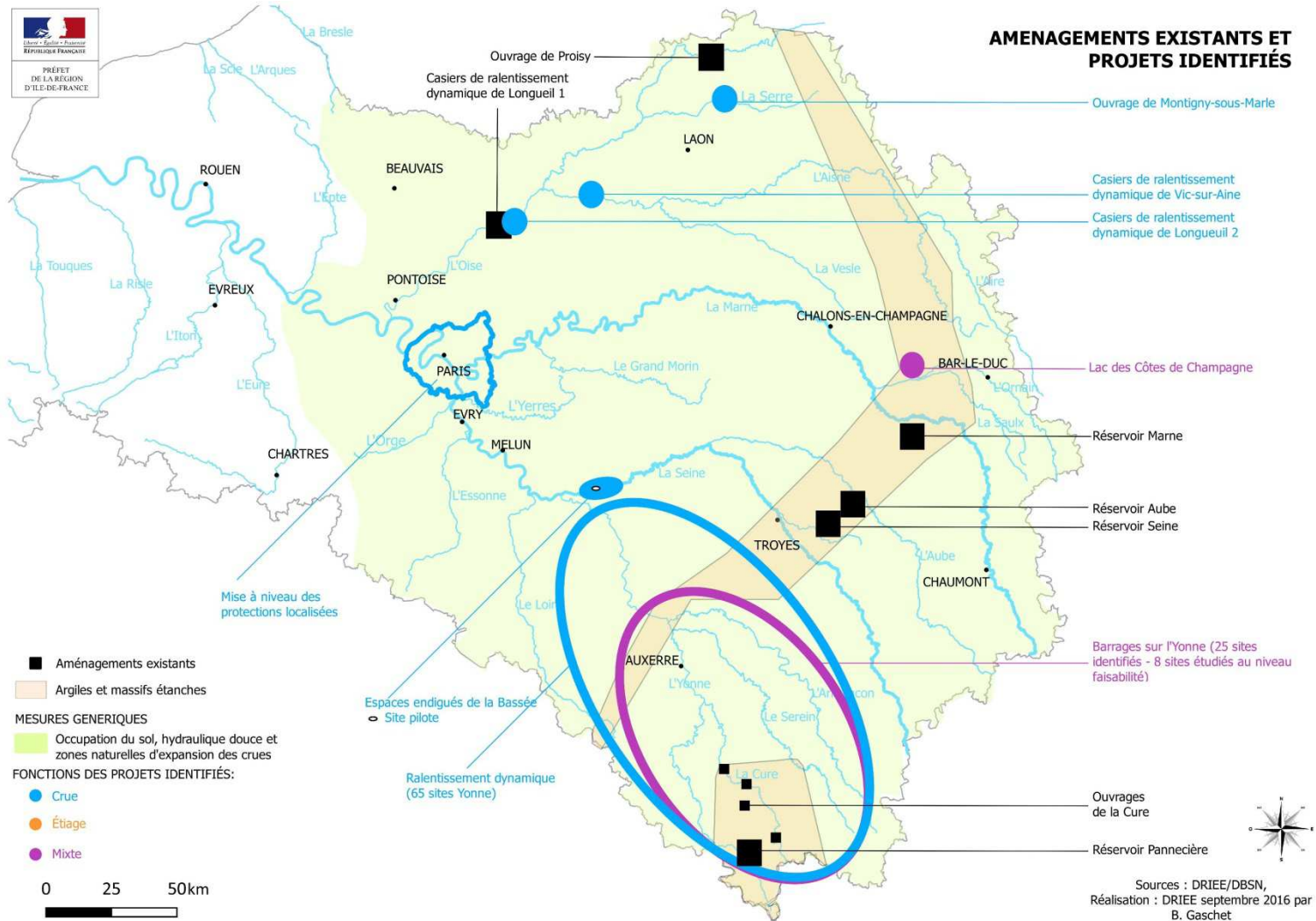
11. Coûts estimés :

Sans objet.

12. Impact hydrologique et environnemental :

Prise en compte des débits minimum biologiques et augmentation du débit réservé.

Annexe 16 : Carte des principaux projets



Annexe 17: Evènements de référence et réponses possibles

Pour illustrer la complémentarité des réponses (court terme/long terme, local/bassin), les tableaux suivants évaluent l'efficacité des leviers d'action (intensité de couleur des cases proportionnelle à l'efficacité des leviers : blanc = sans effet notable, vert clair = effet modéré, vert foncé = effet significatif).

Les différents leviers identifiés lors de cette mission sont complémentaires comme le montre l'estimation de leur efficacité relative pour différents scénarios historiques :

- Crue millénale (probabilité de 1/1000 de se produire tous les ans) : leviers « gestion de crise » et assurance, garantie illimitée de l'État
- Crue de 1910 (centennale - 2400 m³/s à Paris) : leviers C (ouvrages) et D (vulnérabilité et gestion de crise) et levier B (ZEC) de manière secondaire
- Crue de 1982 (trentennale - 1800 m³/s à Paris) : leviers B (ZEC) et C (ouvrages) en premier lieu, et leviers A (occupation du sol et hydraulique douce) et D (vulnérabilité et gestion de crise) de manière secondaire
- Crue de 2001 (quinquennale - 1500 m³/s à Paris) : essentiellement leviers A (occupation du sol et hydraulique douce), B (ZEC) et C (ouvrages)
- Crue de mai 2013 (tardive - 1000 m³/s) : essentiellement leviers A (occupation du sol et hydraulique douce) et B (ZEC)

- Etiage 1976 (35 m³/s à Paris en débit naturel): leviers A (occupation du sol et hydraulique douce), B (ZEC) et C (ouvrages)
- Etiage 1921 (47m³/s à Paris en débit naturel) : leviers A (occupation du sol et hydraulique douce), B (ZEC) et C (ouvrages)
- Etiage 2015 (tardif - 100 m³/s en novembre) : essentiellement leviers A (occupation du sol et hydraulique douce) et D (vulnérabilité et gestion de crise)
- Etiages consécutifs : essentiellement leviers A (occupation du sol et hydraulique douce) et D (vulnérabilité et gestion de crise)

Evènement	Conséquences	Levier A : Restaurer les capacités d'infiltration Ralentissement des écoulements sur les versants	Levier B : Préserver et restaurer les ZEC Réduction des débordements	Levier C : Ouvrages dédiés Crues/Etiages/Double finalité	Levier D : Réduire la Vulnérabilité
Crue extrême (millénaire)	Inondations catastrophiques				Gestion de crise
Crue de 1910	Inondations généralisées				
Crue de 1982	Inondations locales				
Crue de 2001	Aucune				
Crue de mai 2013	Inondations locales				

Evènement	Conséquences	Levier A : Restaurer les capacités d'infiltration Ralentissement des écoulements sur les versants	Levier B : Préserver et restaurer les ZEC Réduction des débordements	Levier C : Ouvrages dédiés Crues/Etiages/Double finalité	Levier D : Réduire la Vulnérabilité
Etiage 1976	Ressources en eau insuffisantes - Dégradation de la qualité des milieux			Axe Seine	
Etiage 1921	Ressources en eau insuffisantes Dégradation de la qualité des milieux			Axe Seine	
Etiage tardif 2015	Ressources en eau insuffisantes				
Série consécutive d'années d'étiages	Ressources en eau insuffisantes				

L'intensité de couleur des cases proportionnelle à l'efficacité des leviers : blanc = sans effet notable, vert clair = effet modéré, vert foncé = effet significatif.