

AMÉNAGEMENT

# CONSTRUIRE EN ZONE INONDABLE

TEXTE : PHILIPPE HEITZ  
PHOTOS & ILLUSTRATIONS : COMMUNAUTÉ  
URBAINE DE LYON, DAVID DESALEUX,  
FLOODPROBE EU PROJECT-FLIMAP/FUGRO-  
GEQID, ALAIN GOURDON, IRSTEA, PATRICE NIN,  
SEDD25, SYMADREM-FLIMAP/FUGRO-GEQID

Cela peut passer pour une gageure, voire une témérité. Pourtant, la réalité est incontournable : avec un habitant sur quatre et un emploi sur trois

exposés au risque d'inondation, la protection comme l'adaptation au risque sont des défis majeurs pour l'État, les collectivités, les entreprises et les citoyens. Tour d'horizon des stratégies de gestion des risques d'inondation et des moyens de réduction de la vulnérabilité des constructions.

Photo Patrice Nin

542 logements adaptés au risque d'inondation ont été construits en bord de Garonne à Toulouse, avec renforcement de la digue existante par les soubassements des immeubles et un remblai compacté.

Selon l'évaluation des risques d'inondations réalisée par l'État en 2011, 25 000 communes, 17 millions d'habitants de résidence principale et 9 millions d'emplois sont exposés en France à des degrés divers au risque de débordement de cours d'eau. 850 000 emplois sont potentiellement menacés par une submersion marine, ainsi que 1,4 million d'habitants, dont 20 % occupent une habitation de plain-pied donc sans refuge à l'étage. Ces chiffres globaux recouvrent une grande diversité de risques pour les personnes et les biens, du fait de la variabilité de nature et d'intensité de l'aléa, et par les différences d'enjeux humains et économiques sur les territoires. Attirés de tout temps par les littoraux et les berges des fleuves, sources d'approvisionnement et voies de communication, les cités ont cherché à se protéger de la submersion par la surélévation et l'adaptation des constructions, l'endiguement et les ouvrages de dérivation des crues. Mais la pression démographique conjuguée à la perte de mémoire collective des événements peu fréquents a conduit à édifier d'innombrables constructions à des endroits naturellement inondables, dans le lit majeur des rivières, sur les berges des torrents de montagne, dans des fonds de vallons... Les digues elles-mêmes sont devenues un facteur de risque technologique, parce que leur rupture augmente la violence et la rapidité de l'inondation, et par la baisse de vigilance et de conscience du risque chez les riverains.

Pour pallier les conséquences des catastrophes naturelles, le législateur a créé par la loi du 13 juillet 1982 le régime d'assurance des catastrophes naturelles, dit « CatNat », qui garantit à tout titulaire d'une assurance dommages aux biens une couverture des dommages dus à l'événement en contrepartie d'une prime additionnelle prélevée au taux forfaitaire de 12 % sur tous les contrats de base. Le droit à indemnisation avec la garantie en dernier recours de l'État demande une contrepartie de responsabilisation : l'établissement de Plans de prévention des risques d'inondation (PPRI). Les PPRI sont prescrits aux collectivités par l'État. Établissant une cartographie des risques, ils se traduisent par un zonage : zone rouge interdite à la construction, zone bleue à contraintes spécifiques, zone blanche sans risque ni contrainte particulière. Mais si le consensus existe pour ne jamais envisager la construction en zone inondable rouge exposée aux courants forts ou à des hauteurs d'eau importantes, l'interdiction de construction souvent constatée ailleurs est source de conflit entre services de l'État régalién et élus locaux. Le renouvellement urbain demande en effet souplesse et intelligence collective pour diminuer la vulnérabilité des quartiers existants par un urbanisme, une architecture et des équipements adaptés aux risques d'inondation.

## Inondations des villes, inondations des champs

Cette distinction permet de souligner d'entrée la part de l'enjeu dans le risque d'inondation : la même submersion de terres habituellement émergées n'aura pas du tout les mêmes conséquences selon

La pression démographique...  
 événements...  
 inondables...  
 dans le lit...  
 majeur de...  
 rivières...  
 dans des...  
 fonds de...  
 vallons...  
 Les digues...  
 elles-mêmes...  
 sont devenues...  
 un facteur...  
 de risque...  
 technologique...  
 parce que...  
 leur rupture...  
 augmente...  
 la violence...  
 et la rapidité...  
 de l'inondation...  
 et par la...  
 baisse de...  
 vigilance...  
 et de conscience...  
 du risque...  
 chez les...  
 riverains.



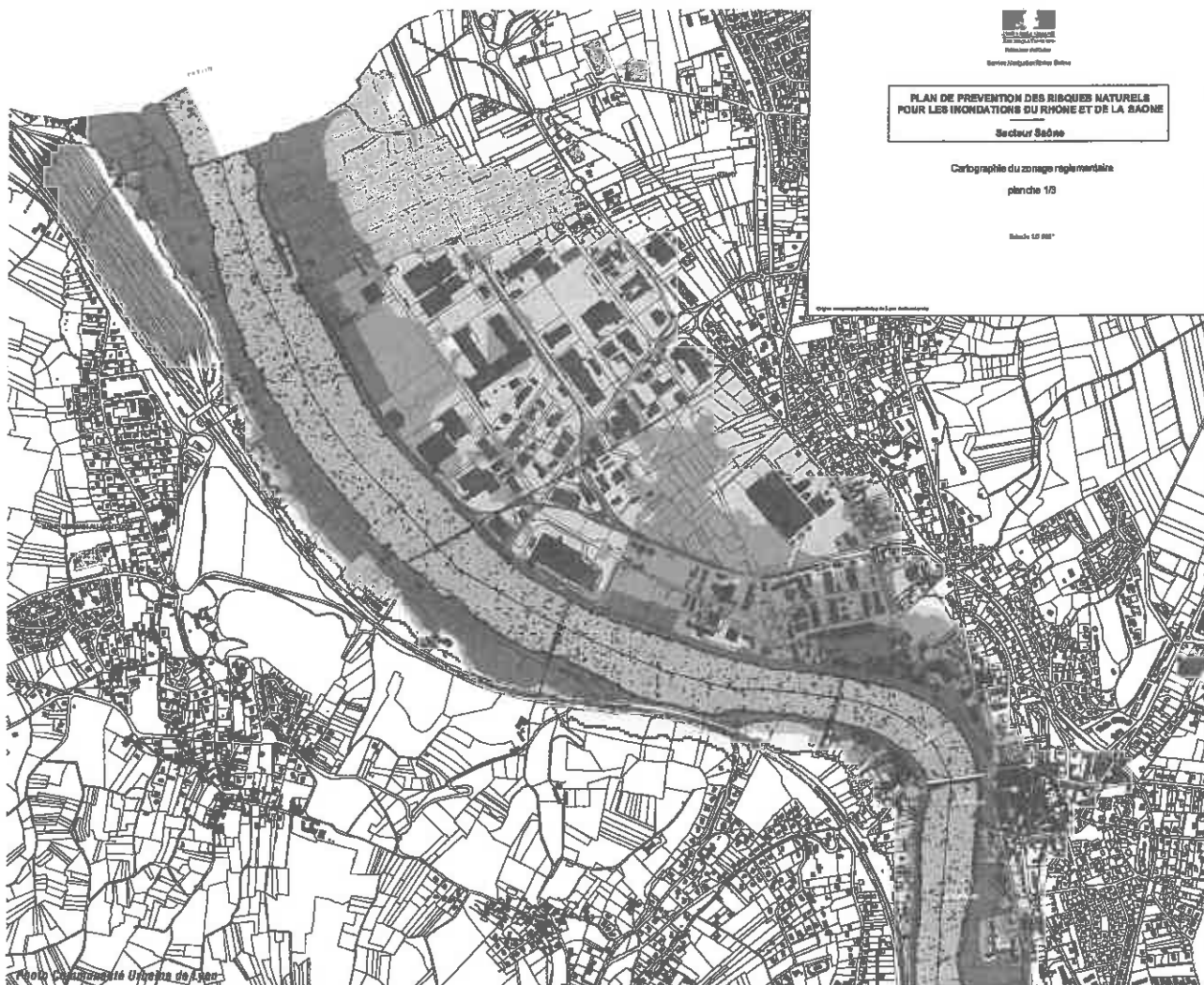
L'AQC a publié la plaquette *Constructions en zones inondables*, téléchargeable sur [www.qualiteconstruction.com](http://www.qualiteconstruction.com), à la rubrique « Nos Publications ».

l'occupation du territoire. C'est pourquoi depuis longtemps les villes ont concentré pour elles les moyens de protection et cherché à détourner l'inondation vers les terres en amont, comme à Blois où le déversoir de la Bouillie a été construit au XVII<sup>e</sup> siècle face à la ville pour dévier l'écoulement des crues de la Loire vers une zone agricole. Cette dernière ayant été urbanisée depuis la fin du XIX<sup>e</sup>, la Communauté d'agglomération de Blois a racheté progressivement depuis 2003 les 143 maisons existantes pour les démolir et redonner à ce secteur très exposé son rôle de bassin d'expansion des crues. Ce principe de « laisser de la place à l'eau » est décliné dans le renouvellement de quartiers plus densément construits en réorganisant l'espace urbain, réservant des volumes d'expansion pour l'eau en parties basses, sur des espaces ouverts et sous les habitations ou les voiries. Ces réaménagements urbains sont alors conçus pour favoriser l'écoulement des eaux, pour éviter les embâcles (1) et pour un retour plus rapide à la normale, selon le principe de la « transparence hydraulique ». Mais soyons clairs : la construction ou la reconstruction en zone inondable est inenvisageable dans les endroits à risque de courant fort ou de submersion importante, comme dans l'exemple de Blois où la zone du déversoir est exposée à un risque de submersion de 3 mètres avec une vitesse supérieure à 2 m/s.

## Fast flood, slow flood

Le terme inondation (« flood » en anglais) recouvre des phénomènes de submersion bien différents, aux conséquences très variables. L'énergie cinétique d'une masse d'eau en mouvement étant proportionnelle au carré de sa vitesse, on comprend que les inondations à vitesses de courant élevées soient beaucoup plus dangereuses et possèdent des capacités d'érosion importantes. C'est typiquement le cas des crues des torrents de montagne, capables d'écrouler des maisons et de mobiliser dans les fortes pentes des tonnes de pierres sous la forme de « lave torrentielle ». C'est également le cas des inondations par ruissellement rapide de pluies violentes sur les surfaces artificialisées des villes, avec parfois formation de vagues dévastatrices. C'est le cas également des débordements soudains de cours d'eau comme au sud du Massif Central lors des épisodes cévenols : les abondantes pluies d'automne sur les hauts bassins versants sont accélérées par les pentes et rapidement remplissent les rivières. C'est encore le cas lors des ruptures de digues ou de barrages où la libération rapide d'une grande masse d'eau en surélévation va artificiellement créer un courant fort dans une zone de plaine. C'est enfin le cas des submersions marines lors des tempêtes, qui a conduit l'État à élaborer en 2011 un « Plan submersions rapides » (PSR), suite à la tempête Xynthia du 28 février 2010.

(1) L'embâcle fait barrage par accumulation d'objets flottants (bois, objets en plastique, voitures, etc.) contre un obstacle (clôture, haie, pont, etc.) et rehausse le niveau de l'eau à son amont. Si l'embâcle se rompt (« débâcle »), une onde de submersion dangereuse est générée à l'aval.



Ce dispositif d'urgence interministériel est focalisé sur la sécurité des personnes, car à la violence des forces en jeu s'ajoutent les difficultés de la prévision et de l'alerte pour des phénomènes rapides et souvent très localisés.

Les inondations à cinétique lente sont souvent la conséquence d'une longue période de précipitations saturant les terrains. Il peut ainsi y avoir inondation sans débordement initial de cours d'eau, uniquement par remontée du niveau des nappes phréatiques. Plus fréquemment, l'accumulation des précipitations sur des sols qui ne peuvent plus les absorber entraîne les crues des rivières et leur débordement prévisible quelques jours à l'avance. Ainsi, la désastreuse crue à probabilité de retour centennale de janvier 1910 à Paris, est le résultat de pluies abondantes sur les sols gelés du bassin de la Seine. Dans ce type d'inondation lente, les victimes sont moins nombreuses et l'importance des dommages matériels sur les constructions est très liée à la hauteur d'immersion et à sa durée.

Phénomènes récurrents, les inondations d'un site sont caractérisées par une probabilité de retour à une même hauteur de submersion. Établie grâce aux archives, la fréquence de retour moyenne est mesurée comme décennale, cinquantennale,

centennale... et, par extension, une digue est par exemple qualifiée «à fonction de protection cinquantennale» quand elle protège théoriquement contre une crue dont le risque d'occurrence est de 1 sur 50 par année.

### Les stratégies publiques de gestion du risque inondation

Après des siècles de patiente construction d'ouvrages hydrauliques sur côtes, cours d'eau et canaux, l'agriculture intensive et l'étalement urbain avec leur cortège de destruction de zones humides, de suppression des haies et couverts végétaux, et d'imperméabilisation des sols, ont augmenté la vitesse d'écoulement des eaux et l'exposition au risque tout en réduisant les volumes d'expansion. Depuis une trentaine d'années, les politiques publiques visent à en corriger les effets. La loi du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles crée les Plans d'exposition aux risques (PER). La loi du 22 juillet 1987 sur l'organisation de la sécurité civile et la prévention des risques majeurs a institué les PPRI. La loi Barnier du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement remplace les PER par les PPRI et renforce ces derniers. Les

**Plan de prévention du risque inondation (PPRI) en bords de Saône validé par la préfecture du Rhône.**

Plans de prévention des risques inondations élaborés par les préfets identifient les aléas, enjeux et risques et cartographient les zones soumises à contraintes ou interdictions. Soumis à enquête publique, ils valent servitude d'utilité publique et sont annexés aux documents d'urbanisme (Pos et PLU). À côté de cette lente production réglementaire encore en cours commune par commune, les Programmes d'actions de prévention des inondations (Papi) coordonnent et financent depuis 2002, à l'échelle du bassin de risque, des programmes d'études et de travaux de protection, de sensibilisation au risque, de préparation à la gestion de crise... L'État abonde ces contrats conclus avec les collectivités volontaires avec un taux de subvention variable, en moyenne de 40 %, à hauteur d'une enveloppe de 350 millions d'euros pour la période 2011-2015, prélevée sur le fonds Barnier d'indemnisation des catastrophes naturelles. La Directive européenne Inondation du 23 octobre 2007, transposée en droit français dans le cadre de la loi Grenelle 2 du 12 juillet 2010, conduit à l'intégration du dispositif Papi au sein de plans de gestion du risque à l'échelle des grands bassins hydrographiques. À l'exclusion des inondations dues aux débordements de réseaux, le nouveau dispositif Papi initié en 2010 prend en compte tous les types d'inondations. Conçu maintenant sous la forme d'un appel à projets permanent, le dispositif Papi labellise des actions variées comme les études d'aléas et d'enjeux, la sensibilisation au risque, la surveillance et la prévision des crues, l'élaboration des PPRI, la révision des documents d'urbanisme, les acquisitions amiables, les expropriations de biens à risque ou sinistrés... Pour les travaux dépassant 2 millions d'euros, une Analyse coût-bénéfice (ACB) est imposée.

Les événements catastrophiques de février et juin 2010 (tempête Xynthia et inondations dans le Var) ont mis en évidence les faiblesses françaises en matière de risque inondations et conduit l'État à démarrer un vaste « Plan submersions rapides » (PSR), prévoyant un renforcement des digues, l'accélération des mises en place des PPRI, la surveillance de 21 700 km de cours d'eau métropolitains et l'information sur les crues disponible sur le site [www.vigicrues.gouv.fr](http://www.vigicrues.gouv.fr), une alerte par SMS sur les pluies intenses à l'échelle des communes (service Apic de Météo-France), l'amélioration de la mesure des précipitations (en particulier, renforcement ou renouvellement du réseau des radars météorologiques) ainsi qu'une vigilance météorologique « vagues-submersion ». Ce volet surveillance-prévision-alerte est complété par un volet information-sensibilisation des populations exposées. Le portail [www.georisques.gouv.fr](http://www.georisques.gouv.fr) montre pour chaque commune les cartes de risques naturels et technologiques. Un guide de préparation du foyer aux situations d'urgence est disponible sur le portail [www.risques.gouv.fr](http://www.risques.gouv.fr).

Les mairies jouent un grand rôle dans la sensibilisation des habitants au risque inondation, particulièrement dans les communes où une crue marquante ne s'est pas produite depuis des décennies. Marie-France Beaufile, sénatrice-maire de Saint-Pierre-des-Corps, commune d'Indre-et-Loire à 100 % en zone inondable, témoigne : « Les habitants de Saint-Pierre-des-Corps n'ont plus de connaissance des crues : la dernière remonte à 1907, après une série en 1846, 1856 et 1866. Le Dicrim, Document d'information communal sur les risques majeurs naturels et industriels, n'a pas vraiment eu d'impact. En revanche, ce qui a marqué les esprits, c'est quand nous avons tenu devant nos concitoyens un conseil municipal extraordinaire en plein air, sur la digue de Loire, pour rappeler à tous le risque de rupture de la digue. Nous avons commandé à un artiste peintre une exposition de tableaux imaginaires intitulée "Un habitant sous l'eau". La Compagnie des arts de la rue a animé les "Jours inondables" avec simulation d'évacuation proposée aux habitants, avec Radio Béton de Tours et Radio Orléans qui diffusaient des messages d'alerte ! La commune remet systématiquement à tous les acheteurs de maison, ou aux porteurs de projets de construction ou d'aménagements, des fiches architecturales sur la diminution de la vulnérabilité des bâtiments. Nous avons eu beaucoup de discussions avec la population à l'occasion de la révision du Pos. Le Pos impose maintenant pour toute nouvelle construction en zone inondable une pièce au-dessus du niveau des plus hautes eaux connues, et un rez-de-chaussée à 50 cm au-dessus du niveau du sol. Mais cela ne règle pas le passage de l'eau et ne réduit pas suffisamment la vulnérabilité de la construction. Lors de nouvelles constructions en zone inondable, nous travaillons avec les constructeurs pour que le rez-de-chaussée ne soit pas habitable. Ce n'est pas prescrit par la réglementation actuelle, c'est une incitation à une nouvelle culture constructive, pour laquelle des architectes locaux ont acquis de l'expertise. »

Le PSR vise aussi à l'adaptation du bâti au risque inondation, avec la publication en 2012 d'un référentiel de travaux de prévention dans l'habitat existant, issu des travaux du CSTB et du Cepri (Centre européen de prévention du risque inondation) [2].

Outre le PSR et en application de la Directive européenne Inondation, l'évaluation nationale des risques de 2011 a débouché sur la cartographie précise des aléas et des enjeux sur 122 « Territoires à risque important d'inondation » (TRI). Les études ciblées sur ces territoires ont beaucoup fait progresser les connaissances des acteurs locaux et facilité le rapprochement entre les services de l'État prescripteur, les collectivités et les maîtres d'ouvrage publics et privés. Présidente du Cepri, Marie-France Beaufile reconnaît « avoir acquis petit à petit culture et connaissance du risque. Sans une bonne appropriation du risque, nous les élus avons du mal à savoir comment travailler notre territoire. Avec l'Association

[2] Référentiel de travaux de prévention de l'inondation dans l'habitat existant, téléchargeable sur [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr).



des communes riveraines de la Loire, nous avons acquis progressivement une culture commune avec les services de l'État, qui nous a sortis d'une période d'opposition forte entre doctrine de l'État d'interdiction de construction et besoin de développement des communes. Les révisions de PPRI abordent mieux maintenant la question de l'avenir de nos territoires avec l'intégration du risque. La réduction de la vulnérabilité est au cœur de la réflexion.»

Pour Bruno Ledoux, consultant spécialiste du risque inondation, « la posture dure de l'État sur l'interdiction de construction en zones inondables a figé toute réflexion pendant vingt ans sur le renouvellement de la ville sur elle-même. Le PPRI introduit une servitude par l'État dans le projet urbain. C'est un outil légitime, mais extrêmement rigide, qui fige le risque à la parcelle, dans un schéma archaïque inadapté à l'intelligence du projet urbain des collectivités. Comme l'État est garant du régime CatNat, il ne tolère plus aucune prise de risque, inquiet de la désresponsabilisation des maîtres d'ouvrage par un régime CatNat généreux. Mais il faut reconnaître qu'il y a trente ans, on était au paléolithique de la cartographie des risques et aléas. Je perçois maintenant une lente évolution vers plus de coproduction de projets urbains, avec prise en compte d'un risque acceptable grâce à la possible réduction de vulnérabilité des quartiers, des bâtiments et des réseaux. »

**Le Rhône en crue affleure la crête de la digue qui protège la commune de Fourques.**

### Digues à double tranchant

La stratégie millénaire du rempart est ancrée dans les esprits : les digues paraissent la réponse collective la plus appropriée pour la protection des zones inondables. Évidemment efficaces et à haut niveau de sûreté aux Pays-Bas qui consacrent à leur gestion un milliard d'euros par an, avec une expertise mondialement reconnue, elles sont néanmoins un facteur d'aggravation du risque, en cas de rupture ou si des constructions ont été faites en contrebas de la digue dans la zone de submersion rapide. De plus, le risque a été augmenté souvent par le défaut d'entretien de l'ouvrage et par le sentiment de sécurité qu'il procure.

Suite à Xynthia, le constat par le ministère de l'Écologie d'un état « préoccupant » des ouvrages de protection a conduit l'État à instituer la compétence de Gestion des milieux aquatiques et de prévention des inondations (Gemapi) (3) pour les Établissements publics de coopération intercommunale (EPCI). À l'échelle du bassin ou du sous-bassin, ces collectivités pourront, via des maîtres d'ouvrage compétents, assurer de manière cohérente l'entretien et le renforcement des digues, à l'image du fonctionnement éprouvé depuis des décennies par l'Association départementale Isère Drac Romanche dont les digues protègent Grenoble : actions programmées à l'échelle d'un bassin de risque et

(3) Loi du 27 janvier 2014 de Modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles (loi Maptam).



Photo Symadrem - Filmag/Agro-Geoif

Murs et quais de la ville d'Arles jouent le rôle de digues de protection contre les crues du Rhône.

taxe locale dédiée. Le renforcement des digues est enclenché : en juillet 2014, la construction ou le confortement de 402 km de digues étaient prévus par 95 Plans d'action de prévention des inondations (Papi).

Autre exemple, le Symadrem (4) améliore la protection de la ville d'Arles par déconstruction-reconstruction d'anciennes digues, construction d'une nouvelle digue rejoignant un remblai routier et un remblai ferroviaire, renforcement et rehaussement des quais. De plus, l'association France Dignes est créée en 2013 pour structurer la profession de gestionnaire public de digues. Enfin, un agrément national devient exigible pour les organismes intervenant pour la conception et le suivi de réalisation des ouvrages hydrauliques. Ce volet ouvrages de protection fait partie du dispositif national Plan submersions rapides, décliné en PSR locaux.

La généralisation de la maîtrise d'ouvrage publique des digues de protection à l'échelle du bassin de risque était indispensable : nombreuses sont les digues « orphelines, sans maître », dont l'édification est tellement ancienne qu'elles n'ont plus de propriétaires connus. Or la solidité d'une chaîne est celle de son maillon le plus faible : un bout de digue non entretenu, et c'est toute la protection apportée par l'ensemble de l'ouvrage qui peut être ruinée lors de la prochaine crue. Environ 10000 km de digues de protection sont recensées en France, dont environ un dixième sur le littoral. La plupart des digues de protection contre les crues n'étant soumises à la charge hydraulique que pendant

celles-ci, la détection des désordres est plus difficile que dans le cas des barrages. En terre, de moins de 7 mètres de hauteur, en général anciennes et peu ou pas compactées, elles sont traversées par des conduites, des terriers, des racines d'arbres qui sont autant de points de faiblesse pouvant être à l'origine de brèche par érosion interne (5). Pour l'ingénieur-chercheur Patrice Mériaux d'Irstea (6), « une digue de protection n'est pas un ouvrage de génie civil si compliqué à concevoir et à construire. Mais la pérennité de sa solidité est conditionnée à son bon entretien, qui demande une surveillance régulière : par exemple, l'entretien de la végétation par fauchage, débroussaillage et si nécessaire enlèvement des ligneux, une ou deux fois par an. Les gestionnaires doivent aussi préparer avant la crise la surveillance en crue et post-crue. Nos recherches ont montré l'efficacité des relevés topographiques et de la télédétection par laser héliporté et nous testons maintenant l'acquisition de données par drone. Ces moyens d'acquisition rapide d'une très grande quantité de données précises sont d'un bon rapport efficacité/coût et, s'ils ne remplacent pas le travail d'études au sol, le rendent nettement plus efficace. » Ce spécialiste des digues met en perspective les enseignements de sa longue expérience. « Sur la quinzaine de brèches des digues de Camargue lors des deux crues du Rhône de l'hiver 1993-1994, toutes se sont produites au niveau de terriers ou de canalisations traversantes. Les crêtes de digues étaient si étroites que le seul moyen d'accès à la brèche était l'hélicoptère. La loi Gernapi apporte enfin

(4) Syndicat mixte interrégional d'aménagement des digues du delta du Rhône et de la mer, créé suite aux inondations de la Camargue de l'hiver 1993-1994.

(5) L'érosion interne (anciennement appelée « renard hydraulique ») est l'un des principaux mécanismes de ruine des digues ou des barrages en terre. Elle consiste en l'arrachage et l'entraînement progressifs de matériau constitutif de l'ouvrage ou de sa fondation sous l'effet des circulations d'eau internes.

(6) Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (anciennement Cemagref).



## Digue de protection en retrait du lit mineur du cours d'eau

Les digues de protection contre les inondations construites parfois en retrait du lit mineur du cours d'eau ne sont en charge hydraulique que lors des crues.

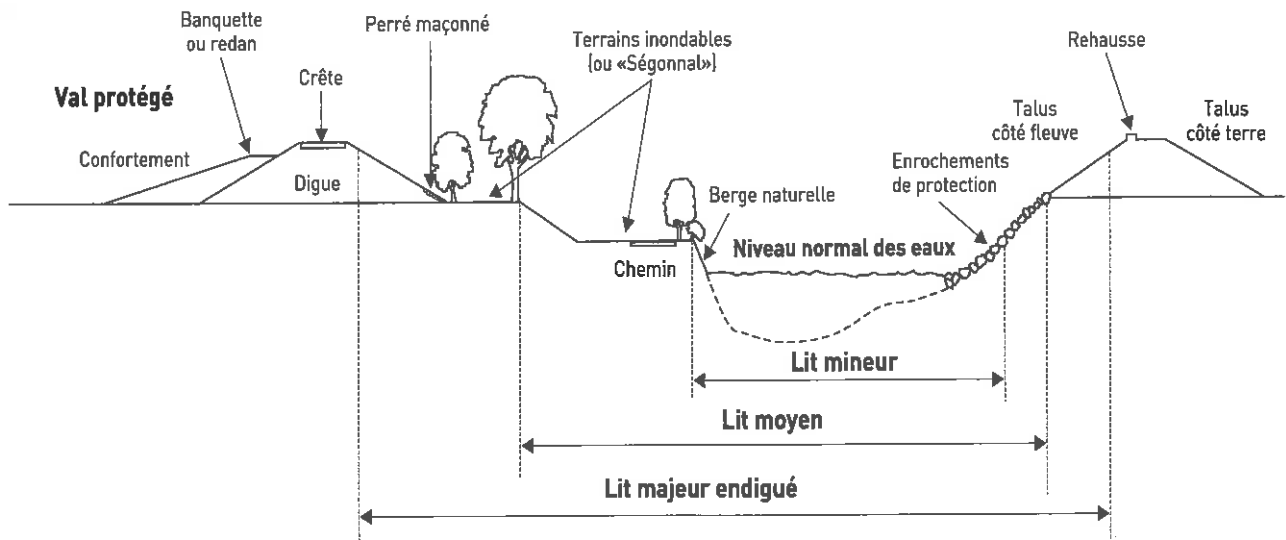


Illustration Irstea

"Imposer la construction des nouveaux quartiers sur des hauteurs, certes à l'abri des inondations mais parfois difficiles à desservir, n'est pas forcément la solution unique?"

les moyens de résoudre la problématique de la maîtrise d'ouvrage des digues et de permettre des travaux et une gestion à la hauteur des besoins, qui sont tels que l'inertie est de l'ordre d'une à deux décennies. Le processus sera long, mais cela bouge. On voit des reconstructions de digues en recul du lit mineur, pour donner plus d'espace au cours d'eau et aux milieux rivulaires et par là soulager les contraintes sur les digues. Il faut rester imaginatifs. J'ai pris conscience qu'imposer la construction des nouveaux quartiers sur des hauteurs, certes à l'abri des inondations mais parfois difficiles à desservir, n'est pas forcément la solution unique. On a maintenant les moyens de faire de l'aménagement intelligent en s'appuyant sur les études de dangers et l'analyse coût-bénéfice imposées lors des projets d'ouvrages de protection. Si après aménagement la probabilité du risque résiduel d'inondation est de l'ordre d'un millième, on est bien en dessous de celle d'autres risques à prendre en compte dans l'aménagement du territoire. L'important est de toujours entretenir la mémoire du risque et de régulièrement informer le public de l'existence et de la finalité des ouvrages de protection. »

## Super-digues et digues multifonctionnelles

Dans son récent rapport sur les principes techniques d'aménagement pour réduire la vulnérabilité des territoires inondables (7), le Cepri cite des exemples du concept de super-digue, qui consiste à relever en pente douce le niveau du sol derrière la digue jusqu'à sa crête. Le nouveau terrain en appui de la digue existante évite la rupture, notamment en cas de surverse : l'eau qui franchit la crête ne peut ouvrir une brèche sur un terrain en pente douce. Peu répandu encore car nécessitant l'éventuelle destruction des bâtiments en contrebas de la digue existante, ce concept permet de repenser une urbanisation intégrant d'emblée le risque d'inondation. C'est ce qu'a fait la ville de Toulouse en 2006 sur une friche industrielle de 5 hectares très vulnérable au risque de rupture de digue en cas de crue de la Garonne : 3,5 m de hauteur d'eau et vitesse de 4 m/s en cas de rupture de digue. La réflexion concertée entre la Ville, l'État et le GIE (Groupement d'intérêt économique) privé regroupant les aménageurs a abouti à la construction sur ce site de 642 logements (dont 25 % de logements sociaux), faisant passer la population du quartier des Sept Deniers de 5000 à plus de 7000 habitants. Résultat remarquable obtenu par le renforcement de la digue avec un remblai sur 260 m de long remontant le niveau du terrain. Les immeubles adaptés au risque d'inondation ont été édifiés préalablement au remblaiement. L'architecte toulousain Jean-Marc Durin (cabinet Archigriff) explique que « les sous-sols remblayés en forme de

(7) Principes techniques d'aménagement du Cepri (février 2015), téléchargeable sur [www.cepri.fr](http://www.cepri.fr).

U servent de butons lestés à la digue et de boucliers aux immeubles. Le bureau d'études Sogreah a calculé des simulations dynamiques d'impact lors de rupture de digues et rédigé un cahier des charges pour le compactage du remblai entre les immeubles, dont l'espacement facilite la transparence hydraulique. Le déversoir de la digue a été conservé et le remblai a été profilé à son niveau et un mur de soutènement construit pour accompagner l'écoulement en bordure de parcelle. » Le premier niveau habitable est 50 cm au-dessus du niveau des plus hautes eaux connues. Les rez-de-chaussée sont des parkings inondables construits en béton armé. Coût du remblai : 600 000 euros HT financé par le GIE.

Cet exemple montre aussi que la valorisation du terrain par la nouvelle constructibilité en zone mise en sécurité finance les travaux de renforcement de la digue. Pour Nicolas Bauduceau, ingénieur au Cepri, « il faut creuser toute forme d'aménagement à caractère multifonctionnel, pour diluer le coût de l'adaptation au risque inondation dans le coût d'un projet plus global apportant d'autres services. Investissements et entretien sont ainsi pris en compte en permanence par d'autres enjeux. Par exemple, aux Pays-Bas, des digues accueillent des centres commerciaux adaptés. Il y a là un champ d'innovations pour répondre au manque d'espace disponible et au coût d'entretien des ouvrages. » Classiquement, les digues supportent souvent des voiries et des réseaux enterrés ou aériens. Dans une perspective de montée du niveau de la mer à Rotterdam, des urbanistes néerlandais travaillent sur des projets de digues intégrant un tunnel routier surmonté par des espaces verts en bords de Meuse. Autre piste citée par le Cepri, la conception de digues multifonctionnelles à partir de bâtiments ayant la résistance d'une digue.

## Éviter, résister, céder

Adapter des bâtiments au risque inondation peut se faire selon trois stratégies par rapport à l'eau : l'éviter, lui résister ou lui céder. L'éviter, c'est mettre au-dessus du niveau des Plus hautes eaux connues (« niveau PHEC ») le niveau habitation des logements ou les équipements et stocks sensibles pour les entreprises. C'est la stratégie la plus efficace pour éviter la plupart des dommages. L'archétype est la maison sur pilotis ou sur remblai. Le sous-sol enterré est proscrit, mais un vide sanitaire peut parfois suffire à la surélévation. Pour une surélévation plus importante, le rez-de-chaussée inondable fait office de garage ou dépendance. Les réseaux électriques de ce niveau exposé descendent de l'étage et sont protégés en tête par un tableau séparé qui permet de les couper en gardant l'alimentation du niveau d'habitation. Le coffret de raccordement électrique au réseau ERDF est surélevé. Un clapet anti-retour protège les réseaux



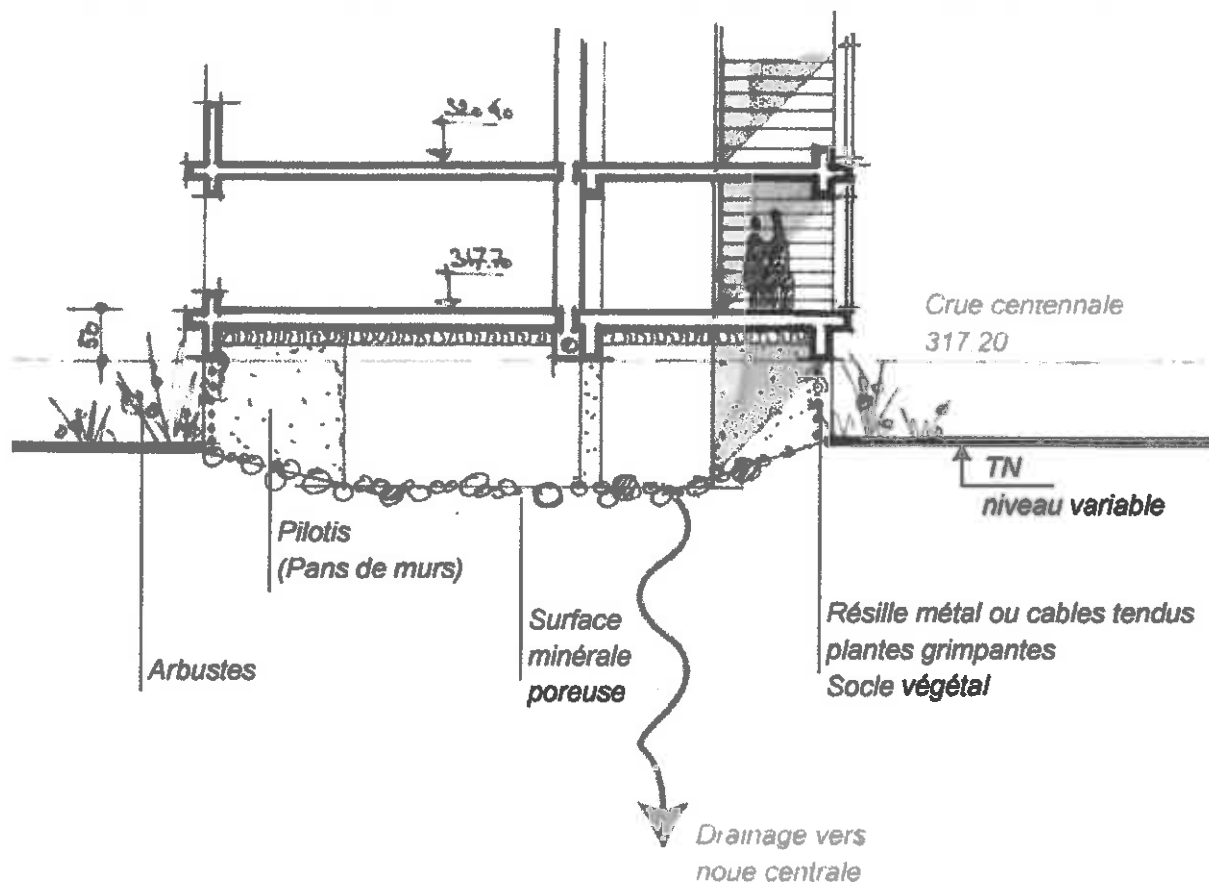


Illustration H.Thiébaud/SEOD25

d'eaux usées et pluviales des remontées par mise en charge des égouts en cas d'inondation. Les motorisations des volets roulants, portes de garage, ascenseurs sont installées hors d'eau (8). Par rapport aux dommages évités, cette stratégie est relativement peu coûteuse à mettre en place en construction neuve. Dans l'existant, c'est lors d'une rénovation lourde pour d'autres objectifs que cette adaptation à l'inondation pourra être mise en place à des coûts supportables. L'aboutissement du concept « éviter » en construction neuve est la maison amphibie, reposant sur flotteurs. En période d'inondation, elle monte le long d'une structure fixe qui l'ancre et contient les réseaux reliés par raccords flexibles au logement.

La stratégie « résister » à l'eau consiste à retarder la pénétration de l'eau dans le bâtiment par l'obturation temporaire des ouvertures par des batardeaux (9), sacs de sable, étanchéité des entrées de réseaux. Pour Jean-Luc Salagnac, ingénieur au CSTB, « la protection peut bien limiter les dégâts à condition que la crue ne dépasse pas 48 heures car on n'empêche pas ainsi durablement l'eau de rentrer dans une habitation. Ces moyens ne doivent pas faire monter l'eau au-delà d'un mètre car alors la pression exercée sur les murs peut générer des désordres structurels. » Pour être efficace, cette stratégie nécessite d'avoir prévu le matériel à l'avance, d'être entraîné à le poser et d'avoir le temps de le faire. Le danger est d'inciter les occupants à rester dans le logement, qui peut devenir un piège si la crue dépasse les

protections. Néanmoins, en construction neuve, des immeubles peuvent être conçus avec sous-sol et rez-de-chaussée en caissons totalement étanches, comme en attestent des projets néerlandais.

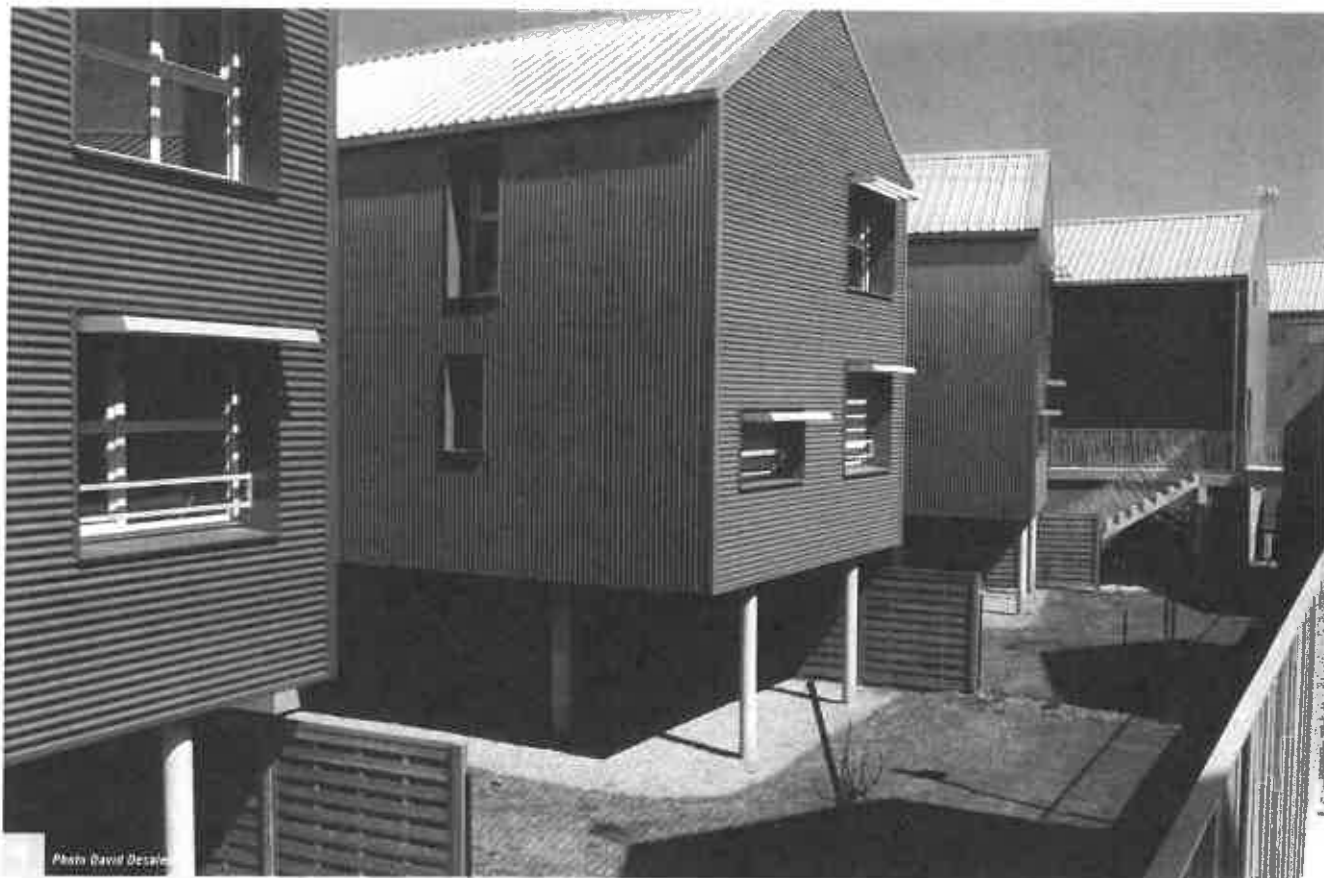
La stratégie « céder » à l'eau est celle du dernier recours en logement existant, en cas de crue de plus d'un mètre ou de plus de 48 heures : laisser l'eau pénétrer dans le bâtiment et surélever tout ce qui peut l'être. Cela peut être aussi une stratégie en construction neuve. Dans ce cas, le logement sur plusieurs niveaux aura un rez-de-chaussée habitable en communication avec l'étage qui sera le niveau refuge en cas de montée des eaux. Pour le niveau bas, parois, sols et menuiseries seront en matériaux résistants à l'eau (béton, PVC, métal, polystyrène) ou facilement remplaçables comme des plaques de plâtres sur rails métalliques. Les réseaux sont conçus comme décrits plus haut.

Dans tous les cas où l'eau peut atteindre le niveau habitable (stratégies « résister » et « céder »), une pièce refuge doit être atteignable en étage, avec une fenêtre de toit permettant l'évacuation même en cas de coupure d'électricité : des gens sont morts piégés faute d'avoir pu sortir par le toit ou d'avoir pu ouvrir les volets roulants motorisés.

**Coupe d'un immeuble du quartier des Blancheries à Montbéliard : le premier niveau habitable est 50 cm au-dessus du niveau des plus hautes eaux connues, selon le principe « éviter ».**

(8) Voir le Référentiel de travaux de prévention du risque d'inondation dans l'habitat existant (2012), téléchargeable sur [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr).

(9) Un batardeau est un barrage provisoire édifié pour protéger une ouverture de bâtiment, fermer un passage dans un parapet ou entre deux bâtiments.



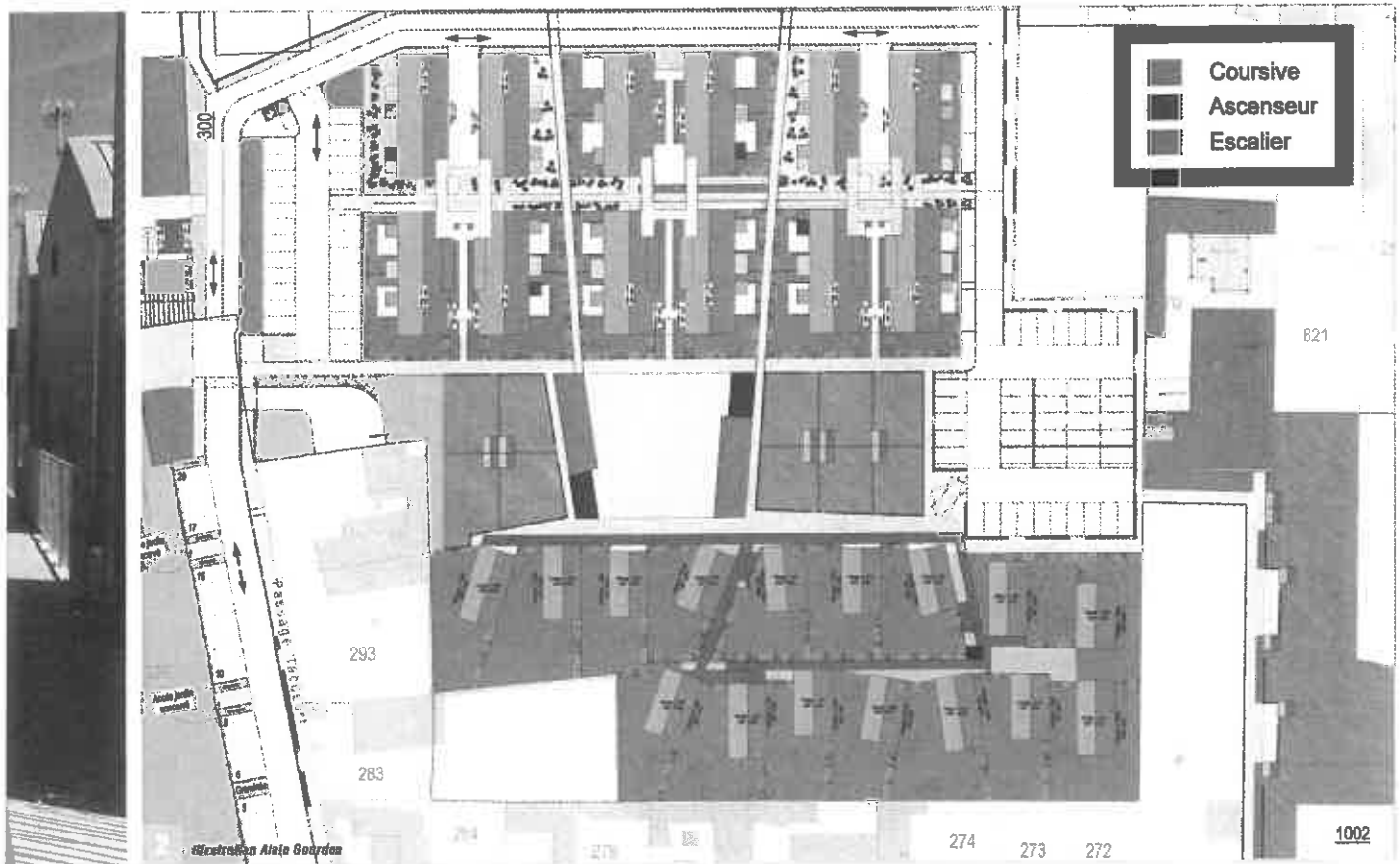
**1** et **2** Les maisons sur pilotis du quartier *Nouvel'Air*, construit en zone inondable à Saint-Pierre-des-Corps, ont le premier niveau habitable au-dessus du niveau des plus hautes eaux connues. Des coursives métalliques permettent l'accès en sécurité en cas d'inondation.

### Quartiers résilients

Jean-Luc Salagnac insiste : « Le bâtiment est le réceptacle final de l'inondation, il ne peut pas concentrer à lui seul la totalité des solutions. Il faut une cohérence de prise en compte du risque à toutes les échelles. » On a vu la politique de gestion du risque inondation à l'échelle du bassin hydrographique, les ouvrages de protection collective que sont les digues et bassins d'expansion des crues, les principes de solutions à l'échelle du bâtiment. Et si la crue dépasse les digues, ou en l'absence de celles-ci, comment permettre à un quartier de fonctionner les pieds dans l'eau et de retrouver au plus vite une vie normale après l'inondation ? Les spécialistes insistent sur l'importance vitale du fonctionnement des réseaux. Comment rester ou revenir dans son logement même resté au-dessus de l'eau si l'accès à pied sec est impossible, si l'électricité et l'eau sont coupées ? Pour les pouvoirs publics, comment garantir une bonne évacuation des personnes et un ressuyage rapide d'un quartier inondé ? Dans son rapport *Un logement "zéro dommage" face au risque d'inondation est-il possible ?* [10], le Cepri recense les retours d'expérience à l'échelle européenne. Il constate qu'il est clair que seule l'action publique peut impulser à grande échelle l'aménagement de quartiers « résilients » capables de continuer à fonctionner (en mode dégradé) pendant l'inondation et avec des dommages limités. En effet, et pas

seulement en France où la garantie CatNat est désincitative, les particuliers sont peu enclins à modifier leur logement pour l'adapter à un risque dont le temps de retour peut être bien supérieur à leur présence dans ce logement. Alors que les collectivités demeurent, et auront un jour à gérer une crise et ses conséquences. Constatant que le marché spécifique de l'adaptation au risque est quasi-inexistant, notamment pour des raisons de surcoût, le Cepri suggère aux décideurs de l'aménagement du territoire de saisir comme une opportunité tout projet de renouvellement urbain : rentrer dans l'adaptation des logements au risque par le logement plutôt que par le risque. Des rénovations de quartiers « résilients » sont projetées, en cours ou réalisées en bord de Seine, de Loire ou de la Vilaine. Des exemples à l'étranger peuvent être cités : à Francfort, Hambourg, Mayence, à la Nouvelle-Orléans... L'exemple de l'éco-quartier « *Nouvel'Air* » réalisé en 2013 en zone inondable à Saint-Pierre-des-Corps est au départ à l'initiative privée de l'architecte tourangeau Alain Gourdon. Celui-ci avait repéré un cœur d'îlot composé de jardins potagers entourés des maisons bordant les rues. Son projet d'éco-quartier a convaincu le conseil municipal qui a permis sa construction. L'architecte explique sa démarche d'adaptation au risque inondation : « En collectif, c'est assez facile : logements en duplex et rez-de-chaussée en parking inondable. La difficulté en maison individuelle, c'est l'accessibilité des personnes handicapées. Avec l'obligation du Pos de mettre le premier niveau habitable à + 50 cm du sol naturel, il

[10] Rapport de 2009, téléchargeable sur [www.cepri.fr](http://www.cepri.fr).



aurait fallu faire 16 rampes de 10 mètres de long pour 16 maisons : insatisfaisant. La solution a été de mettre le rez-de-chaussée habitable au premier étage, avec des accès piétons directs par un réseau de coursives à ce niveau qui est au-dessus du niveau des plus hautes eaux connues. » L'accès aux coursives se fait par trois escaliers et un ascenseur. Les maisons sont sur pilotis, avec un rez-de-chaussée de 8 m<sup>2</sup> inondable et non habitable servant de cellier ou de stationnement. Le volume entre les pilotis en sous-face de la maison conserve le sol naturel perméable, avec interdiction de le fermer pour conserver la transparence hydraulique. Au niveau jardins, un chemin stabilisé carrossable permet l'approche d'un véhicule de transport ou de secours, les voitures individuelles étant sur les parkings créés en périphérie. Le bardage des maisons est métallique pour être facilement lavable et permettre l'isolation par l'extérieur. « La surélévation libère la vue et donne aux habitants un autre panorama sur leur quartier, poursuit Alain Gourdon. Les coursives métalliques surélevées rappellent le risque inondation, mais c'est perçu comme rassurant par les habitants, car la réponse au risque est immédiatement visible. C'est une question de bon sens, et les solutions les plus simples

sont les plus efficaces. Connaître le risque, y réfléchir et y répondre : ça nous fait progresser et sortir de nos habitudes architecturales ! » Forts de ce succès, l'architecte et la Ville de Saint-Pierre-des-Corps travaillent sur un projet d'Ehpad (11) en zone inondable, avec un plancher de référence à 8,5 m au-dessus du sol, avec groupe électrogène et transformateur surélevés... « Pour ces personnes fragiles, la vie doit continuer à fonctionner même en période d'inondation. Et déménager cent lits médicalisés est problématique. N'ayons pas peur, réfléchissons », conclut-il.

À Montbéliard, ce sont plus de 24 000 m<sup>2</sup> de surfaces habitables plus un parking de 400 places sur quatre étages en élévation qui sont en construction en zone inondable, en bordure de la rivière Allan. L'ambitieux programme à maîtrise d'ouvrage publique de l'éco-quartier des Blancheries comprend une École nationale de musique et des immeubles de logements. Entièrement conçue autour de la présence de la rivière, la proposition architecturale d'Hubert Thiébault ouvre la perspective

(11) Établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes.



sur la rivière depuis le centre-ville historique par l'orientation des immeubles perpendiculairement à l'Allan, combinant conception du paysage urbain et transparence hydraulique. Les immeubles sont construits sur pilotis hors de la zone rouge inconstructible. Tous les rez-de-chaussée sont 50 cm au-dessus du niveau des Plus hautes eaux connues (PHEC) et sont tous desservis à ce même niveau par un réseau de passerelles pour piétons et cyclistes. Sous les immeubles en R+4, la surface minérale du sol est poreuse et le volume limité par des grilles à large maille. La toiture-terrasse des immeubles de logements est végétalisée pour ralentir l'écoulement des eaux de pluie. Le drainage des eaux de ruissellement est organisé par des noues peu profondes et larges dans les parties végétalisées de l'espace piétonnier central et autour des constructions, jusqu'au jardin humide en bord de rivière. Les coffrets de raccordement gaz et électricité sont intégrés en façade au-dessus de la cote PHEC.

### Assurances et partage du risque

Suite aux catastrophes naturelles de 1999 (inondations, tempêtes, sécheresse géotechnique), la Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) et le Groupement des entreprises mutuelles d'assurance (Gema) ont créé ensemble l'association Mission risques naturels (MRN) pour la connaissance et la prévention des risques naturels. En

2012, un partenariat entre le ministère de l'Écologie, la Caisse centrale de réassurance (CCR) et la MRN aboutit à la création de l'Observatoire national des risques naturels (ONRN) dont la vocation est la collecte et la mise à disposition dans la durée de données fiables, disponibles pour le grand public et la communauté scientifique sur son site [www.onrn.fr](http://www.onrn.fr).

Roland Nussbaum, directeur de la MRN, souligne le seuil très bas de l'intervention du régime CatNat pour l'indemnisation du risque inondation : « *Le régime CatNat intervient pour des événements inondation de fréquence de retour d'au moins 10 ans, donc beaucoup plus souvent qu'au Royaume-Uni ou en Allemagne par exemple, où le risque n'est assurable que pour des inondations moins fréquentes, cinquantennales, voire centennales. Pour une prime additionnelle modique, prélevée sur tous les contrats dommages aux biens, la garantie est de très bonne qualité dès lors qu'il y a reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle. Le système français a le mérite de rendre l'assurance disponible, accessible et abordable aux particuliers situés dans des zones à risque d'inondation, autant de qualités qui font paradoxalement défaut à l'offre d'assurance des inondations dans nombre de pays développés.* »

Dans sa thèse sur le coût des inondations en France (12), le géographe David Bourguignon relève que sur la base de données Silehc alimentée

[12] Cette thèse est téléchargeable sur [www.biu-montpellier.fr/florabium/jsp/nnt.jsp?nnt=2014MON30042](http://www.biu-montpellier.fr/florabium/jsp/nnt.jsp?nnt=2014MON30042).



Photo H. Thibault/SED25

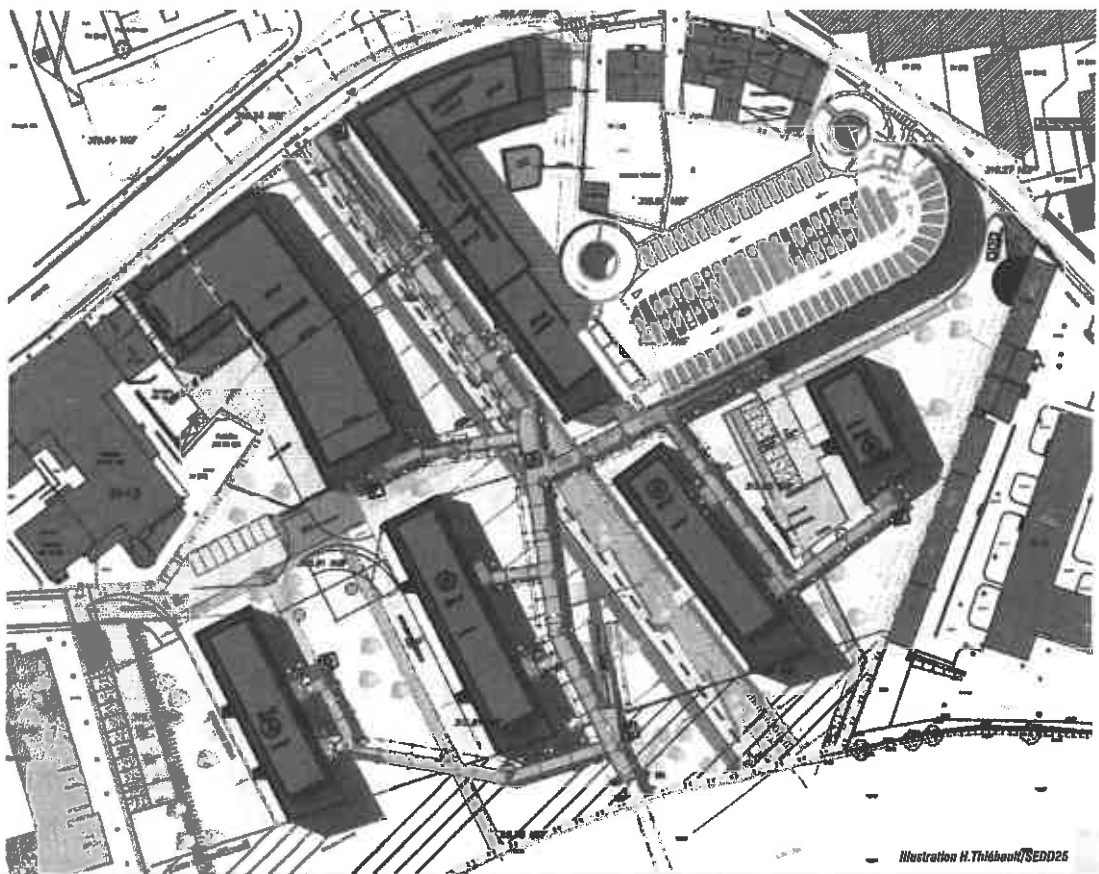


Illustration H. Thibault/SED25

par les sociétés d'assurance, 69 % des événements sont des inondations « chroniques » qui représentent 4 % des montants indemnisés, 27 % sont des événements « marquants » représentant 18 % des indemnisations et les 4 % d'événements majeurs font 78 % de la charge d'indemnisation. Il analyse que la variabilité des coûts moyens des sinistres dépend de l'aléa (cumuls de pluie, hauteurs d'eau, vitesse d'écoulement, période de retour...), des enjeux (vulnérabilité structurelle des bâtiments, niveau de standing des assurés) et des dispositifs de prévention, facteurs d'aggravation ou de réduction des dommages (mesures collectives ou individuelles de protection, politiques publiques de prévention et gestion de crise). C'est l'aléa qui conditionne très fortement le coût moyen à l'échelle d'un événement qui touche une petite région. À la maille communale, aléa et enjeux sont déterminants. À l'échelle de la parcelle, les mesures de prévention pèseront également sur le coût du sinistre. La base de données Silehc révèle que le coût moyen d'indemnisation d'un professionnel est trois à quatre fois plus important que celui d'un particulier, avec une proportion d'environ 20 % de sinistres professionnels par événement. L'auteur montre des dysfonctionnements des aménagements de protection, comme dans un exemple « où la répétition des ruptures de digues à chaque événement depuis 2005 a un impact significatif sur la sursinistralité de ce territoire ». Il montre également qu'un investissement de 8,2 millions d'euros réalisé en 2008 par l'Entente Oise-Aisne pour faire

**3** Sous les immeubles sur pilotis du quartier des Blancheries, le sol est conservé poreux. La transparence hydraulique est obtenue par les pilotis, l'orientation des immeubles et par des noues au niveau du sol naturel inondable.

**4** Les rez-de-chaussée des immeubles du quartier des Blancheries à Montbéliard sont desservis par un réseau de passerelles piétonnes et cyclables reliées au parking surélevé et aux voiries hors zone inondable.

un site d'écroulement des crues de l'Oise a prouvé son efficacité lors de la crue cinquantennale de 2011, évitant globalement 70 millions d'euros de dommages. L'Entente Oise-Aisne a inscrit cet investissement dans une stratégie de partage du risque instituant une solidarité à l'échelle du bassin, avec une répartition entre les acteurs des droits à la protection et/ou l'indemnisation, ainsi que des devoirs de financement de la prévention. La protection à l'échelle de la parcelle contre les crues très fréquentes (période de retour 1 à 5 ans) est à la charge du citoyen. Celle à l'échelle du quartier, contre les crues fréquentes (période de retour 5 à 10 ans), est considérée comme relevant plutôt des communes. Les mesures de ralentissement dynamique à l'échelle du bassin versant contre les crues moyennes (période de retour 10 à 30 ans) sont précisément dans le cas d'espèce le champ d'intervention pris en charge par l'Entente Oise-Aisne. Les crues rares (période de retour supérieure à 30 ans) appellent l'indemnisation par la garantie CatNat par les sociétés d'assurance directe, puis intervient la réassurance par la CCR et enfin l'intervention de la garantie de l'État, en tant que réassureur de dernier recours de la CCR. « Par cet exemple, on mesure la chaîne de solidarité et de responsabilité qui doit s'établir entre acteurs, du national au local, pour espérer atteindre les objectifs de la stratégie nationale de gestion des risques d'inondation, qui sont de stabiliser, voire réduire à terme le coût des dommages », conclut Roland Nussbaum.

