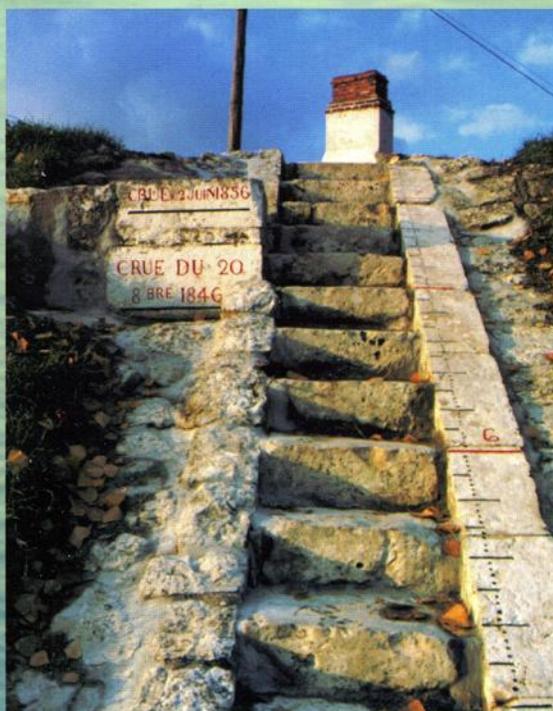


# MÉTHODOLOGIE DE DIAGNOSTIC

## DES DIGUES

### appliquée aux levées de la Loire moyenne

*Michel LINO  
Patrice MÉRIAUX  
Paul ROYET*





# **Méthodologie de diagnostic des digues**

**appliquée aux  
levées de la Loire moyenne**



# MÉTHODOLOGIE DE DIAGNOSTIC DES DIGUES

**appliquée aux  
levées de la Loire moyenne**

*Michel Lino  
Patrice Mériaux  
Paul Royet*

## AUTEURS

*Michel Lino* : ISL  
*Patrice Mériaux* : Cemagref  
*Paul Royet* : Cemagref

## CRÉDITS PHOTOS

PHOTOS DES AUTEURS :  
pages 28 à 32

PHOTOS CONSTRUCTEURS :  
page 128 : GEOMETRICS  
pages 132 - 133 - 135 - 136 : GEONICS LIMITED  
pages 140 - 145 : ALLIED ASSOCIATES GEOPHYSICAL  
pages 148 - 149 : SELVA ÉLECTRONIQUE

---

**Méthodologie de diagnostic des digues appliquée aux levées de la Loire moyenne.** *Michel LINO, Patrice MÉRIAUX, Paul ROYET.* ©1999 Cemagref Éditions. ISBN 2-85362-524-9. Dépôt légal 2<sup>e</sup> trimestre 2000. Édition, maquette et mise en page *Maurice Merlin*. Infographie et traitement des photos *Françoise Peyriquer*. Impression LOUIS JEAN. Vente par correspondance : PUBLI-TRANS, BP 22, 91167 Longjumeau, Cedex 9 ; tél. : 01 69 10 85 85. Diffusion aux libraires : TEC et DOC, 14 rue de Provigny, 94236 Cachan, Cedex ; tél. : 01 47 40 67 00. Prix : 230 FTTC. 35,06 €TTC.

# Avant-propos

L'Équipe pluridisciplinaire du plan Loire grandeur nature a été créée en 1995 de manière partenariale par le ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, l'Agence de l'eau Loire-Bretagne et l'E.P.A.L.A. (Établissement Public pour l'Aménagement de la Loire et de ses Affluents), en particulier pour assurer un appui technique aux maîtres d'ouvrage, sur les opérations spécifiques et nouvelles conduites dans le cadre de ce plan territorial d'aménagement prévu sur 10 ans. Un des thèmes de cet appui a concerné la surveillance, l'entretien et le renforcement des endiguements de protection contre les inondations dont sont responsables les services d'État, gestionnaires des digues domaniales de la Loire moyenne et dont les collectivités territoriales cofinancent les travaux de mise en œuvre.

Cette équipe a confié en 1997-1998 au groupement Cemagref<sup>1</sup> - ISL<sup>2</sup> une étude dont l'objectif était d'échafauder, à la lumière d'une prise de connaissance experte de la problématique des digues de la Loire (dénommées «levées» dans la terminologie régionale) et de l'analyse critique d'études récentes les ayant concernées, une méthodologie pertinente de diagnostic des ouvrages, déclinée ensuite dans un cahier des charges - type de consultation de bureaux d'études.

A première vue, donc, les résultats de ce travail méthodologique peuvent paraître intimement attachés au contexte du système d'endiguements de la Loire moyenne, dont on récapitule ci-après les principales caractéristiques :

- digues de constitution hétérogène (car plusieurs fois rehaussées et/ou élargies au cours du temps), à dominante sableuse ou sablo-limoneuse ;
- hauteur de la levée (remblai) de l'ordre de 5 à 7 m, crête généralement large et empruntée par une voie de circulation réservée au service ou affectée au réseau routier départemental ou national, existence fréquente d'une murette ou banquette de rehausse en bordure de crête, présence de quelques déversoirs construits à la fin du siècle dernier (jamais entrés en fonction) ;
- gestionnaire identifié (services d'État), assurant un entretien plutôt satisfaisant des talus de digue et des ouvrages hydrauliques ; superposition de gestion des ouvrages en cas de présence d'une route départementale ou nationale ;
- absence, depuis plus d'un siècle, de crue majeure ayant sollicité les levées pour la plus grande partie du linéaire situé en amont de Tours ;
- délai de plusieurs jours pour l'annonce de la crue (conférant a priori la possibilité de pratiquer une défense temporaire) ;
- crue relativement brève (de l'ordre de la semaine), avec des temps de crue et décrue courts, qui induisent une sollicitation particulière dangereuse de la levée lors de la décrue (taux d'abaissement de 5 à 10 cm/h).

Toutefois, la conviction profonde des auteurs est que l'étude méthodologique pour le diagnostic des digues de Loire moyenne possède en elle-même tous les éléments pour être transposable, dans une large

---

*1 Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement*

*2 Bureau d'ingénierie privé, dont le siège est à Paris 75019, 75 bd Mac Donald (associé, pour l'élaboration des fiches «Méthodes géophysiques», avec la société Géo-Études, 5 rue de Rome, 93561 Rosny-sous-Bois).*

mesure, à d'autres contextes d'endiguement de protection contre les inondations. Au moins trois arguments forts militent en ce sens :

- la plupart des choix effectués dans la définition de la méthode sont explicités et justifiés au fil du texte. Aussi, le lecteur a-t-il les moyens de repérer aisément les points de différence entre son cas de figure d'endiguement et celui de la Loire moyenne et d'adapter en conséquence la méthodologie de diagnostic ;

- l'inventaire et la description des techniques et moyens de reconnaissance visuels, géotechniques, géophysiques - qui constituent une part importante du travail accompli (cf. recueil des fiches «méthodes») - ont été réalisés, au moins dans un premier temps, indépendamment de leur perspective d'application sur une levée de type Loire. En fait, l'hypothèse de fond retenue dans l'analyse critique des diverses techniques d'investigation a été le caractère «à sec» de l'endiguement (i.e. : le remblai objet des reconnaissances n'est en charge que lors des crues) - point en général commun à toutes les digues de protection contre les inondations ;

- enfin, depuis 1997, le Cemagref a eu l'occasion de transposer la méthode de diagnostic - moyennant de faciles adaptations - à l'étude d'autres configurations de cours d'eau endigués, en particulier de fleuves côtiers méditerranéens tels que le Vidourle ou le Gardon d'Alès.

Concernant les méthodes de reconnaissance géophysiques et géotechniques des digues, le Projet National CRITERRE (1998 - 2001) devrait apporter des compléments aux recommandations du présent guide.

Ceci justifie pleinement, aux yeux des auteurs, tout l'intérêt de la présente publication, permise grâce à l'aimable autorisation de l'Équipe pluridisciplinaire Plan Loire grande nature.

Le public visé par cet ouvrage comprend :

- les gestionnaires ou propriétaires des digues - en principe maîtres d'ouvrages des travaux d'entretien et de confortement ainsi que des études préliminaires nécessaires - et, plus généralement, toutes les entités (notamment celles qui interviennent au titre d'une mission de maîtrise d'œuvre) ayant pour tâche de définir les prescriptions techniques contractuelles d'une étude de diagnostic de digue et d'en suivre l'exécution ultérieure ;

- les bureaux d'études qui sont amenés à mettre en œuvre les méthodes de reconnaissance et de diagnostic des digues et qui contribuent, bien souvent, à la définition - ou, tout au moins, à la précision en cours d'étude - des clauses des cahiers des charges.

# Table des matières

## CHAPITRE 1 : Description d'ensemble des levées de la Loire moyenne

<b>1.1 Cadre géographique et historique</b>	<b>13</b>
1.1.1 Rappel de la zone d'étude	13
1.1.2 Géologie régionale	13
1.1.3 Aspects historiques	16
1.1.4 Statut des digues et services gestionnaires	21
<b>1.2 Géométrie et morphologie</b>	<b>21</b>
1.2.1 Implantation des digues	21
1.2.2 Profil en long	22
1.2.3 Profil en travers	22
1.2.4 Accessibilité des levées	24
<b>1.3 Le programme de confortement de 1960 à nos jours</b>	<b>24</b>
1.3.1 Les évolutions récentes	24
1.3.2 Les études SIMECSOL-NEDECO	25
1.3.3 Le Programme de 1970	25
1.3.4 Avancement du programme de 1970	25
1.3.5 Les méthodes de renforcement	26
<b>1.4 Les actions en cours dans le cadre du Plan Loire grandeur nature</b>	<b>28</b>

## Chapitre 2 : Analyse des études diagnostic récentes

<b>2.1 Rappel des conclusions des études SIMECSOL - NEDECO</b>	<b>35</b>
2.1.1 Méthodes d'investigation	35
2.1.2 Méthodes de confortement	35
<b>2.2 Études diagnostic récentes</b>	<b>36</b>
2.2.1 Méthodologies mises en œuvre et résultats	36
2.2.2 Quels enseignements tirer de ces exemples ?	38
2.2.3 Tableau comparatif des études récentes réalisées pour le diagnostic des levées de la Loire	39

## CHAPITRE 3 : Les mécanismes de dégradation et de rupture

<b>3.1 Analyse historique des ruptures</b>	<b>51</b>
<b>3.2 Mécanismes potentiels de dégradation et de rupture</b>	<b>53</b>
3.2.1 Surverse	53
3.2.2 Ruptures en retour	53
3.2.3 Rupture des «banquettes»	53
3.2.4 Érosion de talus et affouillements	54

3.2.5 Renard hydraulique	55
3.2.6 Instabilité d'ensemble de la levée	55
<b>3.3 Conclusions opérationnelles pour un diagnostic adapté</b>	<b>56</b>
CHAPITRE 4 : Proposition de méthode de diagnostic	
<b>4.1 Approche historique</b>	<b>61</b>
<b>4.2 Approche morphodynamique</b>	<b>61</b>
<b>4.3 Topographie</b>	<b>63</b>
4.3.1 Objectif	63
4.3.2 Profil en long des levées par rapport aux plus hautes eaux en crues	63
4.3.3 Profils en travers	64
4.3.4 Plan topographique	64
<b>4.4 Étude hydraulique</b>	<b>64</b>
4.4.1 Cas de la Loire proprement dite	64
4.4.2 Cas des affluents	65
<b>4.5 Inspection visuelle</b>	<b>65</b>
4.5.1 Justification et principe de la méthode	65
4.5.2 Conditions et moyens de mise en œuvre	66
4.5.3 Les points à observer et informations à répertorier	66
4.5.4 Modalités de report et de restitution des informations	68
4.5.5 Coût et limites de l'inspection visuelle	68
<b>4.6 Reconnaissances géotechniques</b>	<b>69</b>
4.6.1 Les conditions pour la définition d'un programme de reconnaissances	69
4.6.2 Programme minimum de reconnaissances	69
4.6.3 Reconnaissances en continu à caractère optionnel	72
4.6.4 Coût récapitulatif	72
<b>4.7 Modélisation</b>	<b>72</b>
4.7.1 Considérations générales	72
4.7.2 Modélisation hydraulique	73
4.7.3 Modélisation géomécanique	74
<b>4.8 Hiérarchisation cartographique des risques liés à la rupture</b>	<b>74</b>
<b>4.9 Solutions de confortement</b>	<b>75</b>
4.9.1 Principales options de confortement selon les situations	75
4.9.2 Objectif à assigner au titre de la phase de conception des confortements	77
4.9.3 Éléments de justification et contraintes techniques à faire prendre en compte	77

## CHAPITRE 5 : Méthodes de diagnostic lors des crues

<b>5.1 Inspection visuelle en crue</b>	<b>83</b>
5.1.1 Justification et principe de la méthode	83
5.1.2 Conditions et moyens de mise en œuvre	84
5.1.3 Les points à observer et informations à répertorier	85
5.1.4 Modalités de report et de restitution des informations	86
5.1.5 En résumé	86
<b>5.2 Thermographie héliportée</b>	<b>87</b>
5.2.1 Description et principe de la méthode	87
5.2.2 Conditions d'application	88
Conditions météorologiques	88
État de surface	88
5.2.3 Moyens mis en œuvre et coûts	88
5.2.4 Application aux levées de la Loire	89
<b>5.3 Inspection visuelle post-crue</b>	<b>90</b>
5.3.1 Justification et principe de la méthode	90
5.3.2 Conditions et moyens de mise en œuvre	90
5.3.3 Les points à observer et informations à répertorier	91
5.3.4 Modalités de report et de restitution des informations	92
5.3.5 Rendement prévisible	92
5.3.6 En résumé	92
<b>5.4 Méthodes géophysiques appliquées en conditions post-crue</b>	<b>93</b>

## CHAPITRE 6 : Recueil de fiches relatives aux différentes méthodes de reconnaissance des levées

### Inspection visuelle et topographie

Topographie	98
Reconnaissance visuelle initiale	101
Inspection visuelle de routine	107
Inspection visuelle en crue	113
Inspection visuelle post-crue	119

### Méthodes géophysiques

Tableau de synthèse des méthodes géophysiques	125
Sismique réfraction	127
Électromagnétisme à émetteur / récepteur portatif mobile EM 31	131
Électromagnétisme à émetteur / récepteur portatif mobile EM 34	135
Électromagnétisme à émetteur / récepteur portatif mobile (le RADAR)	139
Résistivité électrique (sondage électrique)	143
Radio magnétotellurique (RMT)	147
Résistivités électriques (l'imagerie électrique)	151

<b>Reconnaissances géotechniques et Essais de laboratoire</b>	<b>155</b>
Pénétromètre dynamique léger à enregistrement numérique (PANDA)	155
Essai in situ - Essai de perméabilité Lefranc	157
Perméafor	159
Phicomètre	161
Forages mécaniques	163
Essais de laboratoire	167
<b>CHAPITRE 7 : Cahier des clauses techniques particulières (C.C.T.P.)</b>	
Cahier des clauses techniques particulières (C.C.T.P.)	177
Annexe au CCTP-type d'étude de diagnostic des levées de la Loire	209
<b>Chapitre 8 : Dossier-type de description des levées</b>	
Reconnaissance visuelle initiale : fiche de relevé des désordres - Notice d'utilisation	215
Fiches de relevé des désordres :	
- 1 fiche vierge	222
- 2 exemples de fiche remplie	223

## Chapitre 1

# **Description d'ensemble des levées de la Loire moyenne**



## 1.1 CADRE GÉOGRAPHIQUE ET HISTORIQUE

### 1.1.1 RAPPEL DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude concerne les 450 km de la Loire moyenne entre le Bec d'Allier et le Bec de Maine. 700 km de levées encadrent le fleuve, délimitant 100 000 ha de vals inondables.

Le système des levées de la Loire moyenne concerne la Loire proprement dite mais également ses principaux affluents (le Cher, l'Indre et la Vienne).

Six départements appartenant à trois régions sont concernés, soit de l'amont vers l'aval : pour la région Bourgogne, la Nièvre, pour la région Centre, le Cher, le Loiret, le Loir-et-Cher et l'Indre-et-Loire et pour la région des Pays de Loire, le Maine-et-Loire.

Plusieurs villes importantes sont protégées par les levées, Tours à la confluence de la Loire et du Cher avec 90 000 habitants concernés, Orléans avec 56 000 habitants et Blois avec 10 000 habitants.

Le val d'Authion présente également un fort enjeu avec 45 000 habitants protégés par une levée de 80 km et soumise, du fait de sa longueur, à un risque de brèche particulièrement élevé.

La figure n°1 donne la localisation schématique des principaux vals entre Nevers et Angers. Elle fait apparaître les vals inondés lors de la crue de 1856.

### 1.1.2 GÉOLOGIE RÉGIONALE

La Loire moyenne se rattache géologiquement à la couverture calcaire du bassin parisien.

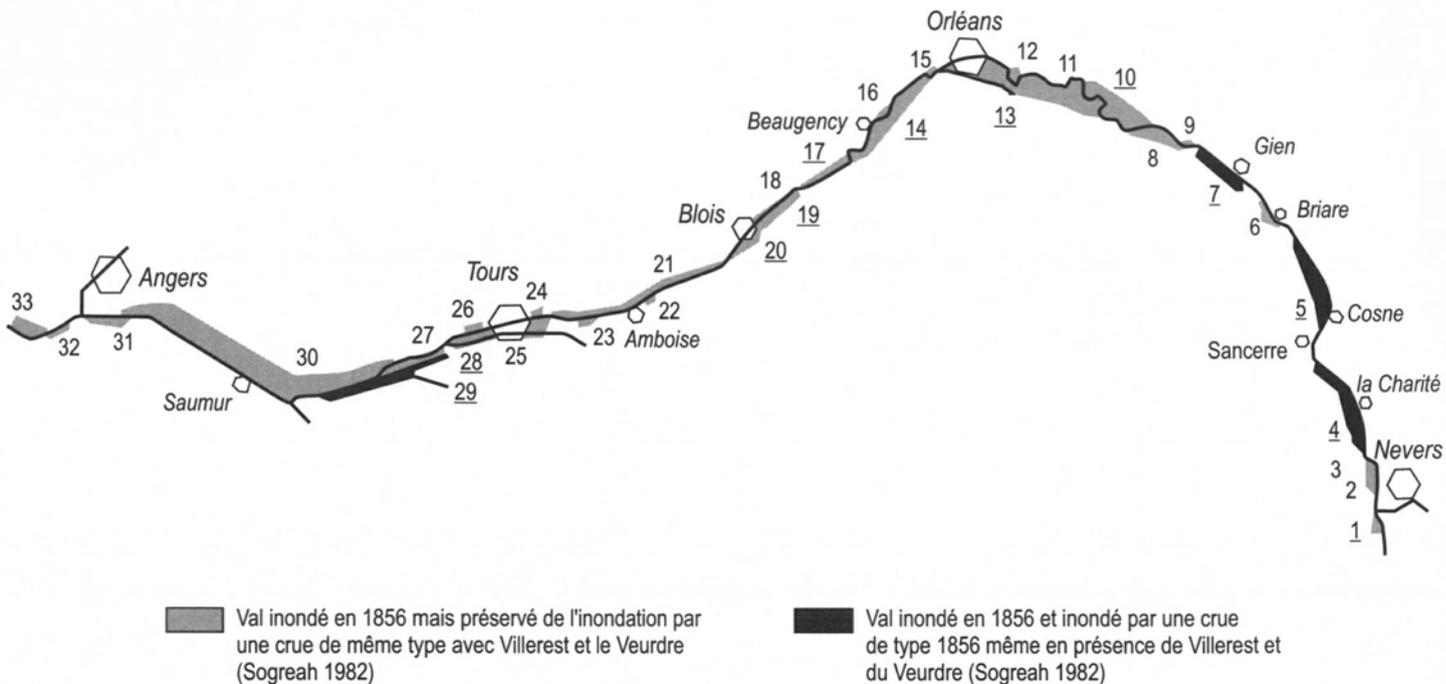
Du Bec d'Allier au Bec de Maine, la vallée de la Loire et ses trois grands affluents rive gauche traversent successivement les différentes auréoles sédimentaires, secondaires et tertiaires, du Bassin parisien. La figure n°2<sup>1</sup> montre le profil en long schématique et les roches sous-jacentes :

- les calcaires jurassiques affleurant à l'amont de Nevers à Cosne-sur-Loire ;
- la frange crétacée entre Cosne-sur-Loire et Gien ;
- les formations tertiaires principalement représentées par la table des calcaires de Beauce (miocène) entre Gien et Blois. Ces formations affleurent en rive droite de la Loire et sont recouvertes par les formations éluviales provenant de l'altération des granites du Massif central (Brenne et Sologne) en rive gauche ;
- les formations crétacées réapparaissant de façon dominante à l'aval de Tours et jusqu'à Angers.

Les tables calcaires au nord de la Loire sont généralement plus perméables que celles situées au sud de la Loire. En particulier, la table de Beauce s'individualise par sa remarquable perméabilité. Au sud de la Loire, les formations éluviales de la Sologne et de la Brenne recouvrant les calcaires sous-jacents assurent leur imperméabilisation.

---

<sup>1</sup> d'après Y. Baboneau « *Le lit de la Loire* », 1971



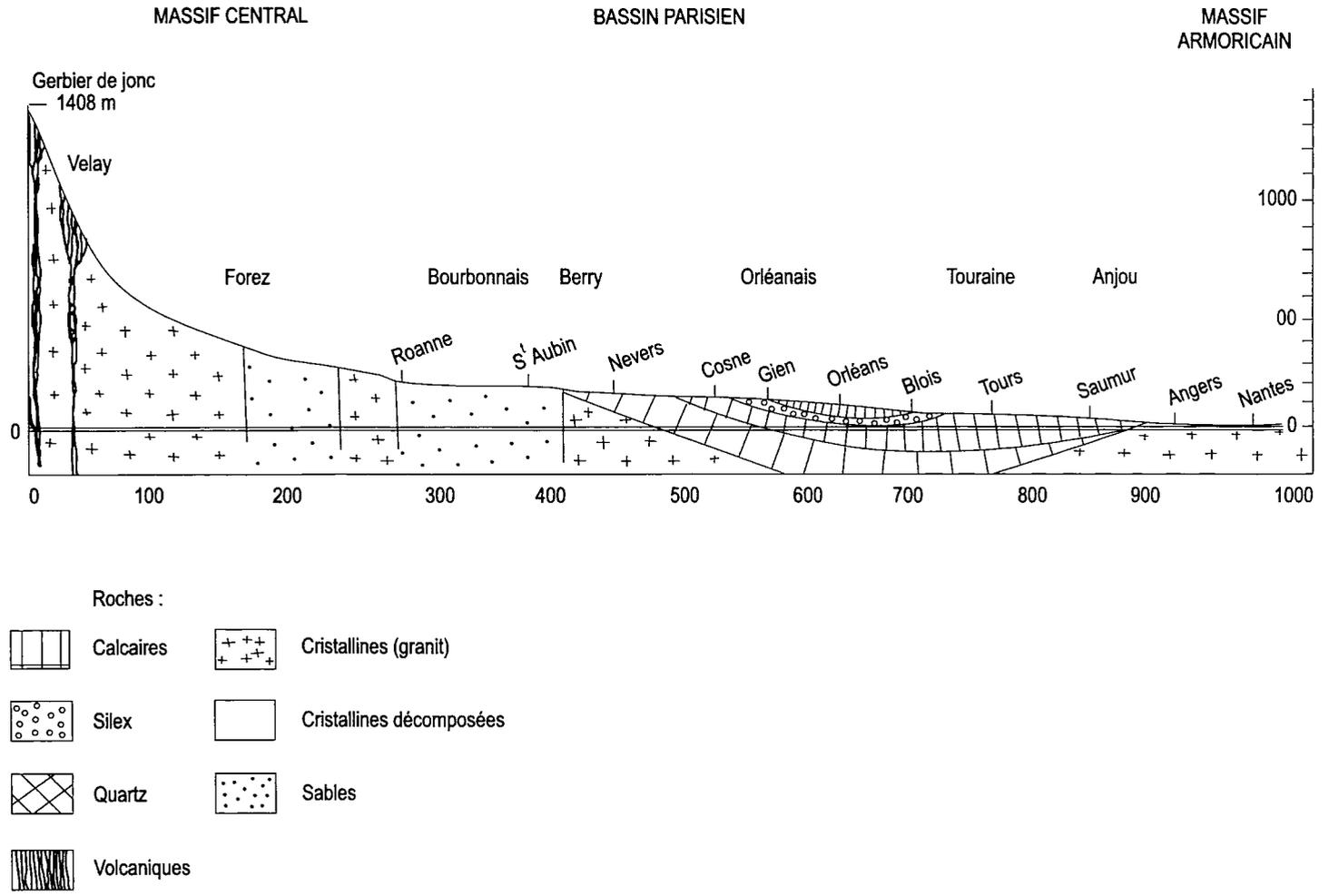
Val inondé en 1856 mais préservé de l'inondation par une crue de même type avec Villerest et le Veudre (Sogreah 1982)

Val inondé en 1856 et inondé par une crue de type 1856 même en présence de Villerest et du Veudre (Sogreah 1982)

- |                |                         |                             |                      |                |                         |
|----------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|
| 31 GOHIER      | 25 TOURS                | 19 BLOIS amont (Montivault) | 13 ORLEANS - JARGEAU | 7 GIEN         | 1 GUETIN                |
| 32 LOUET       | 26 LUYNES               | 20 BLOIS aval (La Bouillie) | 14 ARDOUX            | 8 SULLY        | 2 GIVRY AMONT           |
| 33 SAVENNIERES | 27 LANGEAIS             | 21 CISSE                    | 15 BOUVERIE          | 9 DAMPIERRE    | 3 GIVRY AVAL            |
| - Val muni     | 28 LA CHAPELLE AUX NAUX | 22 CHARGE                   | 16 BAULE             | 10 OUZOUEUR    | 4 LA CHARITE LES RAPINS |
| d'un déversoir | 29 VIEUX CHER           | 23 HUSSEAU                  | 17 AVARAY            | 11 CHATEAUNEUF | 5 LERE                  |
|                | 30 AUTHION              | 24 TOURS RIVE DROITE        | 18 MENARS            | 12 BOU         | 6 SAINT FIRMIN          |

Figure 1 : Disposition et dénomination des vals le long de la Loire moyenne (source : Equipe pluridisciplinaire Plan Loire grandeur nature).

Figure 2 : Profil en long de la Loire et roches sous-jacentes.



Les calcaires de Beauce présentent une morphologie karstique avec dolines, gouffres et vallées sèches.

Dans le lit majeur de la Loire, la karstification se traduit par la présence de fontis et constitue un facteur de risque spécifique pour les levées (effondrements, renard...). La source du Loiret est un exemple remarquable de résurgence après un parcours souterrain d'environ 40 km.

Les phénomènes de karstification peuvent se rencontrer à des degrés divers sur tout le cours de la Loire moyenne.

Du point de vue des conditions géotechniques de fondation, les digues sont généralement fondées sur les alluvions du lit majeur de la Loire, elles-mêmes reposant sur un substratum calcaire, généralement peu profond.

La figure n°3<sup>2</sup> donne une coupe schématique du Val de Loire à Blois.

La figure n°4<sup>3</sup> donne une coupe schématique à travers la vallée de la Loire à hauteur de Saumur.

### 1.1.3 ASPECTS HISTORIQUES

Le livre de Roger Dion « *Histoire des levées de la Loire* » est la référence incontestée en la matière. Par ailleurs, l'histoire des protections contre les crues de la Loire a fait l'objet d'une synthèse récente <sup>4</sup> sous l'égide du Préfet coordonnateur du Plan Loire grandeur nature.

Il ne fait pas partie de notre propos de reprendre ces travaux auxquels on se reportera utilement.

On s'intéresse ici aux aspects historiques dans la mesure où ils expliquent ou renseignent sur la conception des endiguements et la constitution des levées.

#### **DE CHARLEMAGNE À HENRI II PLANTAGENÊT**

Les premières « *turcies* » remontent à Charlemagne : elles étaient constituées d'un mélange de fascines en bois et de terre renforçant localement le cordon alluvial et reliant entre elles les buttes insubmersibles.

Leur vocation était de permettre l'inondation sans courant des terres cultivées assurant la fertilisation des terres par les limons et empêchant l'ensablement. Il est probable que des vestiges de ces anciennes défenses se rencontrent au sein des digues actuelles.

Une étape importante dans la constitution du système des levées est le peuplement des turcies sous Henri II Plantagenêt, afin d'assurer leur entretien et leur développement. Cette lointaine histoire explique qu'en particulier en Anjou de nombreuses maisons soient construites sur ou à proximité immédiate des levées, créant autant de points singuliers pour le programme actuel de renforcement.

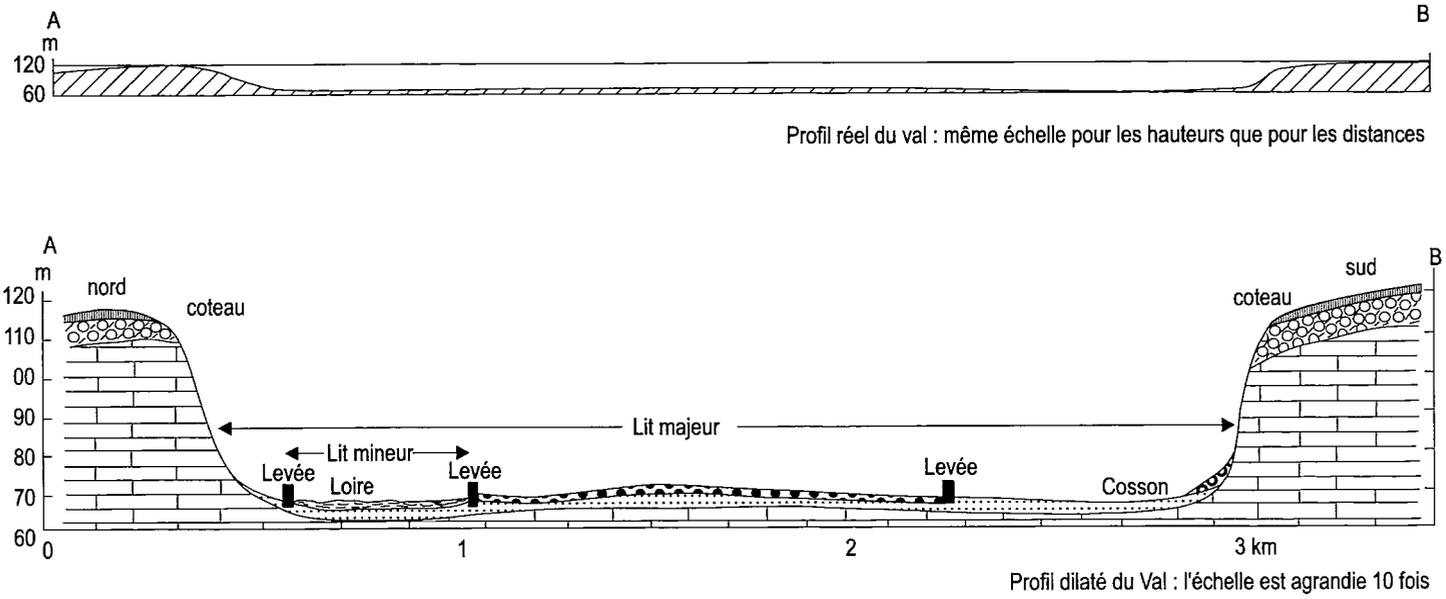
---

<sup>2</sup> d'après Y. Baboneau « *Le lit de la Loire* », 1971

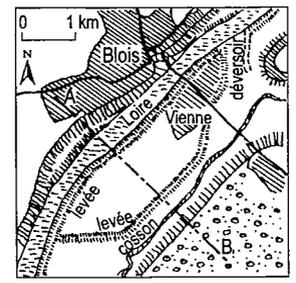
<sup>3</sup> (d'après H. Talbo).

<sup>4</sup> *La Loire, Histoire des protections contre les crues - Direction régionale de l'Équipement du Centre et la Direction régionale de l'Environnement du Centre - septembre 1996*

Figure 3. Profil en travers du Val de Loire à Blois (Source : « Histoire de la Loire »).



-  limon des plateaux
-  argile à silex
-  craie sénonienne
-  éboulis
-  limon argileux, sable limoneux
-  sable graveleux



## L'ANCIEN RÉGIME

A partir du XV<sup>e</sup> siècle, le *processus d'endiguement* se met en place : plus le val est cultivé et construit, plus les enjeux de protection deviennent importants. Les anciennes levées se transforment en endiguements destinés à limiter les divagations du fleuve. Elles sont considérées par les règlements royaux comme un système cohérent et homogène. La protection des lieux habités et l'aménagement du lit mineur pour la navigation deviennent progressivement les fonctions dominantes assignées aux levées.

Il en résulte un changement majeur dans la conception des ouvrages : les levées ont désormais pour objectif d'encadrer au plus près le lit du fleuve. Ainsi, *les levées plus récentes qui font suite à celles du Val d'Orléans jusqu'à Blois vers l'aval et jusqu'à Gien vers l'amont ont pu être construites du premier coup suivant les principes du XVI<sup>e</sup> siècle, et sur un plan qui trahit l'intention bien arrêtée d'assigner au lit mineur une largeur inférieure à 400 m. Ces dimensions paraissent dangereusement restreintes lorsqu'on les compare à celles du grand fleuve sauvage, large de 800 à 1000 m que l'on découvre des hauteurs de Sancerre* (Dion p.150). Les digues sont désormais des ouvrages d'ingénieurs, édifiés et gérés sous le contrôle de l'Administration royale.

Concernant les risques de brèches dans les levées, on peut retenir que les zones de plus forte contraction du lit mineur du fleuve, en particulier au passage de villes et des ponts sont celles où les sollicitations du fleuve sur les digues sont les plus puissantes.

L'histoire des endiguements s'est développée suivant deux axes : historiquement ce sont les régions les plus aval de l'Anjou et du Maine qui ont été les premières endiguées et l'endiguement a progressé vers l'amont. L'endiguement progressif de la rivière a eu comme inéluctable conséquence l'exhaussement de la ligne d'eau en crue avec une course (perdue d'avance?) au relèvement et au renforcement des levées.

La création des premiers déversoirs remonte au début du XVII<sup>e</sup> siècle : « ..., dans le Conseil de Louis XIII prévaut, en 1629, l'opinion que le réseau des levées présente, en certains de ses étranglements ou certaines de ses concavités, plusieurs points faibles où les travaux les plus diligents ne sauraient empêcher la formation des brèches, et que le moyen le plus efficace d'éviter celles-ci est d'ouvrir par avance au fleuve les issues qu'il crée lui-même de vive force lorsque la puissance de son débit dépasse une certaine limite. » (Dion p.164). Profitant de l'expérience réussie du déchargeoir de Blois, l'arrêt de ce Conseil prescrit d'ouvrir six déchargeoirs, répartis sur toute l'étendue des vals alors endigués, depuis Ouzouer en Orléanais jusqu'à Saumur. Devant l'opposition résolue des populations des vals concernés, ce sage programme resta lettre morte.

A la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, Colbert, surintendant des bâtiments de France à partir de 1664, ne poursuivra pas cette idée des déchargeoirs. Confiant dans le concept des digues insubmersibles, pourvu qu'elles soient suffisamment hautes et solides, il se donne pour objectif principal la consolidation de l'existant (règlement de 1668 définissant les mesures visant à la conservation des levées, projets de création de déversoirs qui n'aboutirent pas à des réalisations, hauteur au dessus de l'étiage de 3 toises (3 x 1,949 = 5,85 m), travaux de consolidation portant la largeur en crête à 4 toises (7,80 m) et largeur à la base égale à 6 fois la hauteur). C'est également sous l'administration de Colbert que la pierre se substitue définitivement au bois dans les revêtements destinés à protéger les talus des levées contre les « corrosions fluviales ».

Mais, le résultat le plus durable de l'œuvre de Colbert est sans doute l'établissement de la mainmise définitive de l'État sur l'ensemble des travaux publics exécutés au bord du fleuve ou dans son lit même.