



QUALITÉ ET PERFORMANCE TECHNIQUE QUELQUES EXEMPLES DANS L'INGÉNIERIE HYDRAULIQUE EN FRANCE

Question 96 : Innovation et utilisation des barrages et des réservoirs

Jérôme SAUSSE, Nicolas TOUSSET

EDF DTG, France

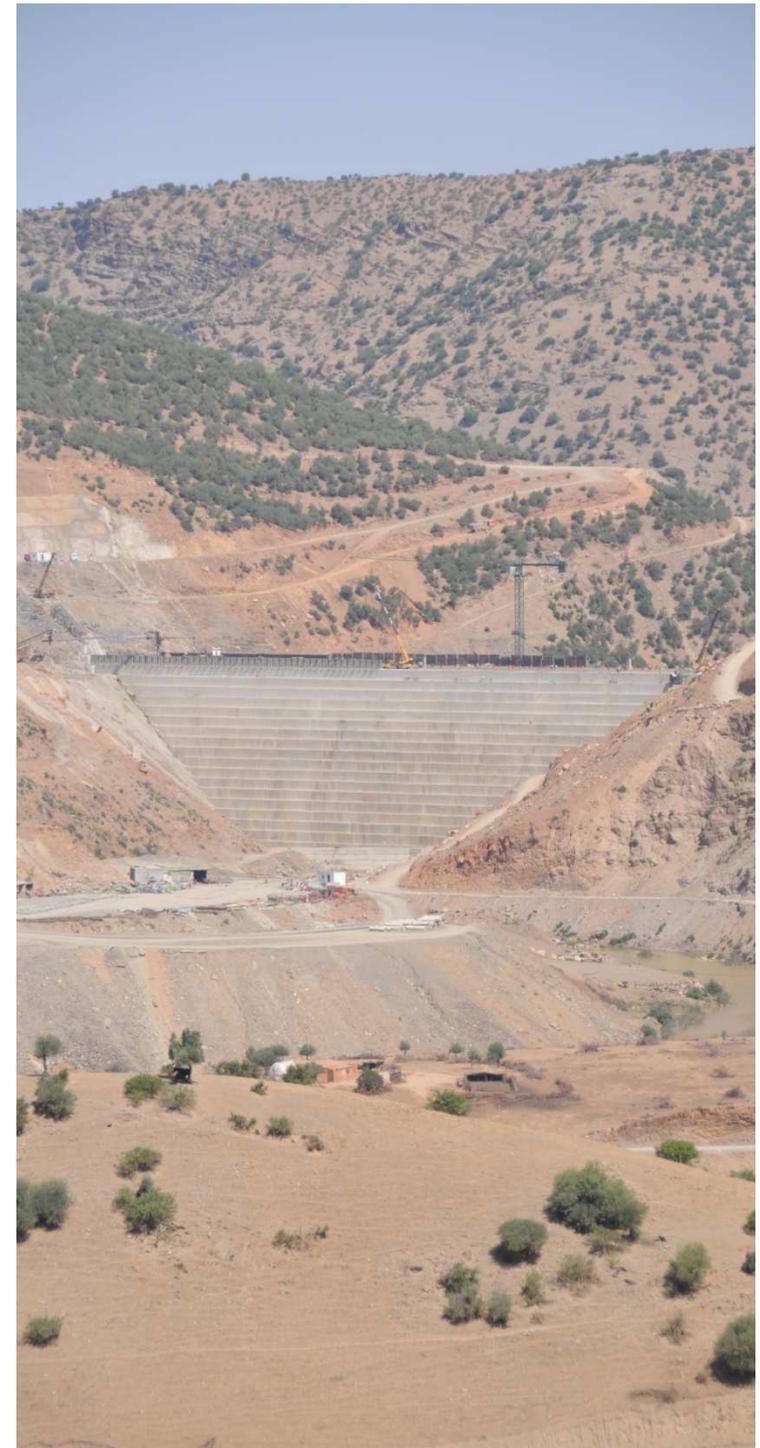
Rémy TOURMENT, Corinne CURT, Huguette FELIX

Irstea, France

Christine NORET, Philippe DE FELIX

Tractebel Engineering / Coyne et Bellier, France

Symposium du CFBR du 29 janvier 2015 à Grenoble (ENSE3)



Question 96 : Innovation et utilisation des barrages et des réservoirs

Sous-question D :

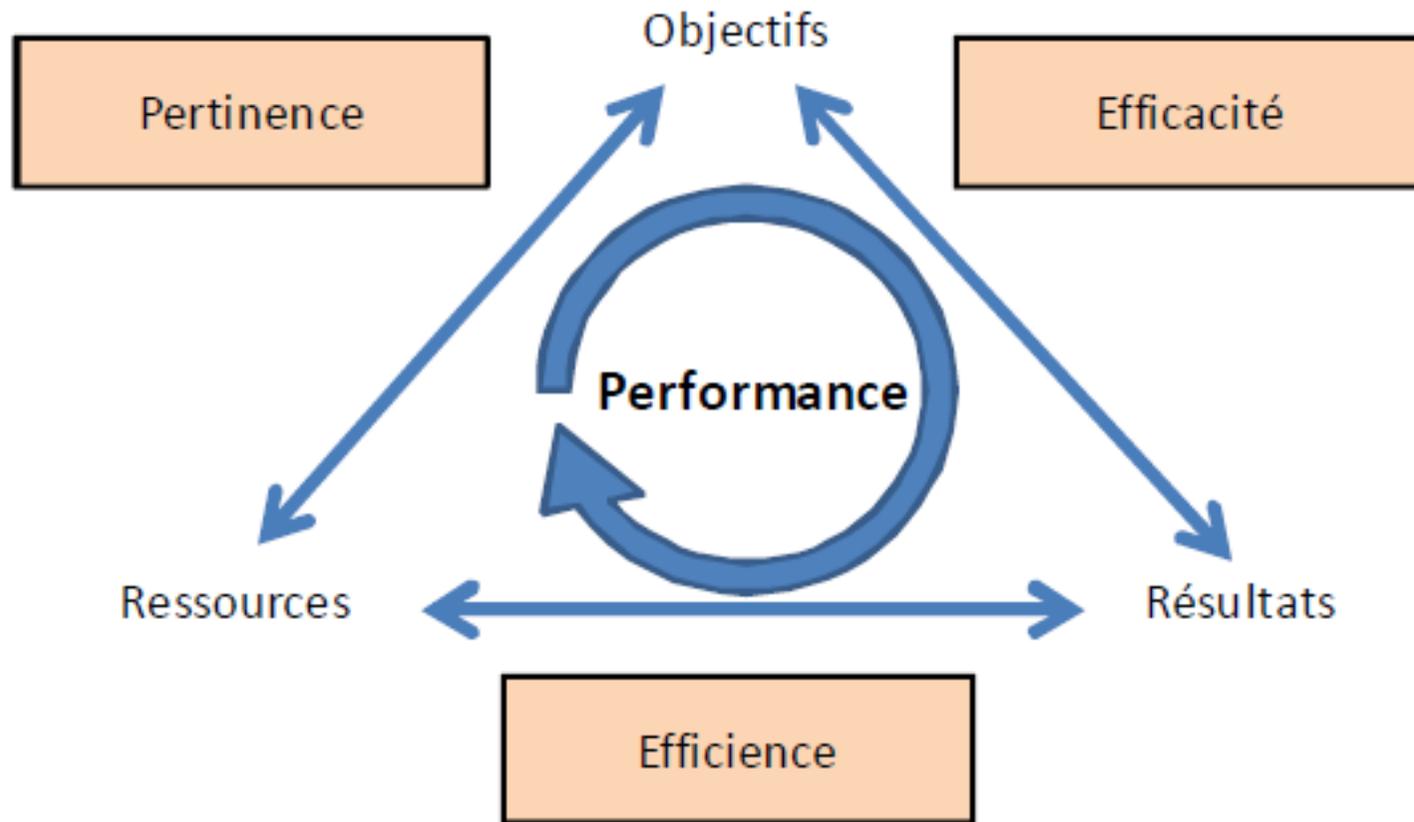
Besoins d'amélioration en matière de **capacités** et de **développement** de la profession d'ingénieurs spécialisés dans les barrages et les digues pour **garantir** la durabilité des **connaissances** et de **l'expérience**



QUALITÉ & PERFORMANCE TECHNIQUE

EXCELLENCE TECHNIQUE
NIVEAU DE MAÎTRISE
BOUCLES D'AMÉLIORATION
CAPACITÉ À INNOVER
CAPITALISER
PARTAGER DES EXPÉRIENCES
TRANSFERT DES COMPÉTENCES
PROGRESSER
PÉRENNISER LE SAVOIR
SOLUTIONS OPTIMISÉES
COMMUNICATION
INFORMATIONS
DÉVELOPPEMENTS
RÉFÉRENTIEL
FORMATION...

PERFORMANCE TECHNIQUE

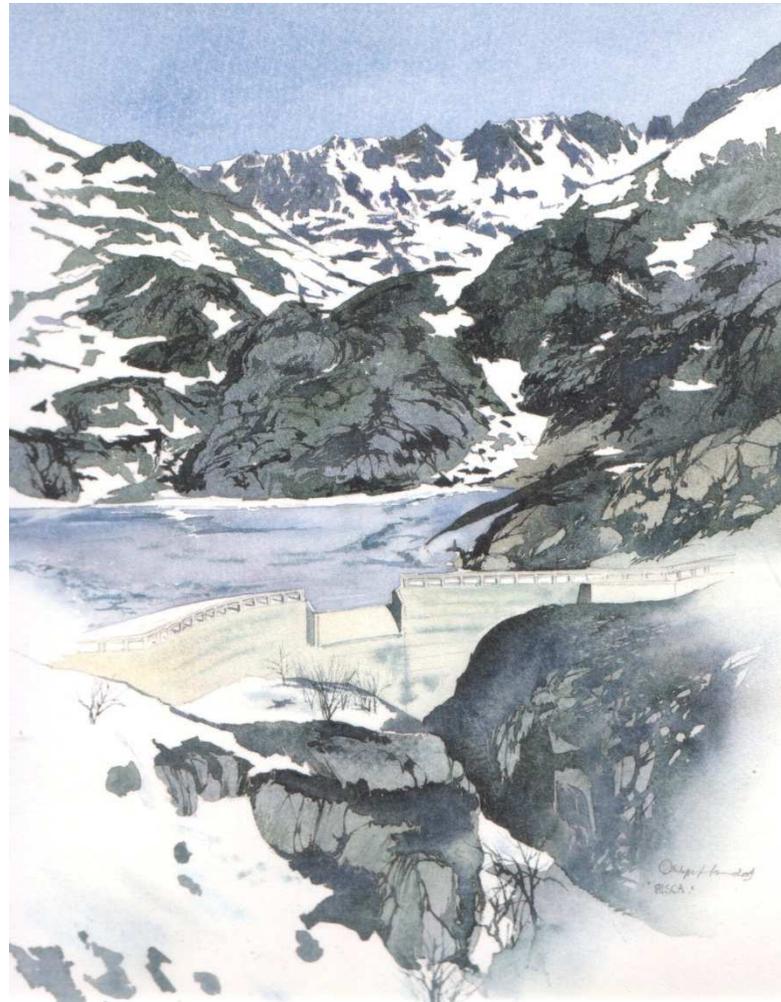


QUALITÉ TECHNIQUE

ISO 9000

« Aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à satisfaire des **exigences** ».

**Exigences de la
PERFORMANCE**



**Exigences de la
SURETE**

QUALITÉ TECHNIQUE

boucle d'amélioration du SAVOIR



Référentiel Technique
(la pérennité du savoir)

transmettre

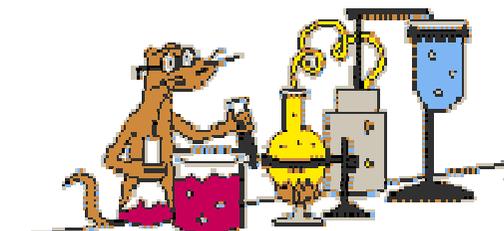
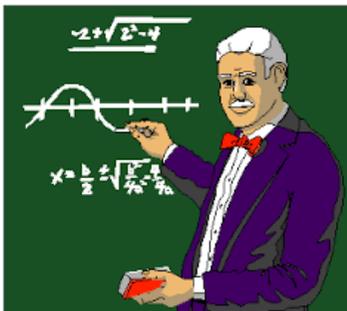
capitaliser

Qualité

Formation
(la transmission du savoir)

Recherche & Développement Techniques
(les garanties du savoir)

expérimenter



RECHERCHE & DEVELOPPEMENTS

L'excellence technique au service de sûreté

- **Meilleure caractérisation des comportements d'ouvrages**
- **Meilleure maîtrise du risque et performance des ouvrages hydrauliques**
- **Meilleure caractérisation des sollicitations extrêmes**
 - ❖ Modélisations hydrologiques probabilistes des crues
 - ❖ Modélisations des gestions/impacts des crues (simulateurs, approches incrémentales,...)
 - ❖ Modélisation des comportements dynamiques sous séisme



Référentiels techniques et outils opérationnels



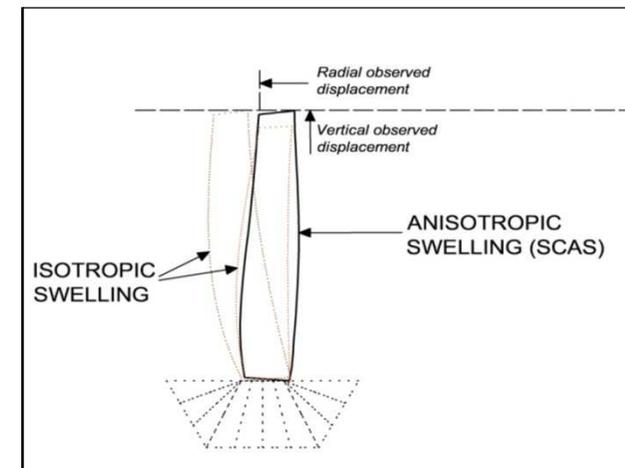
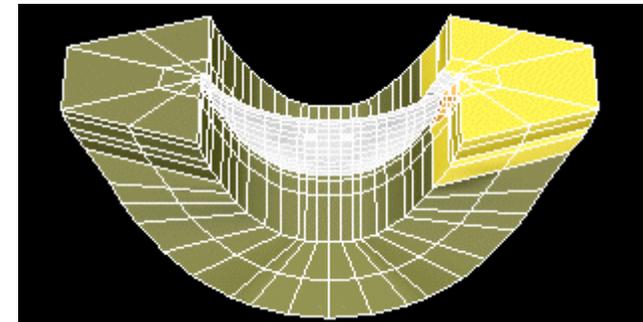
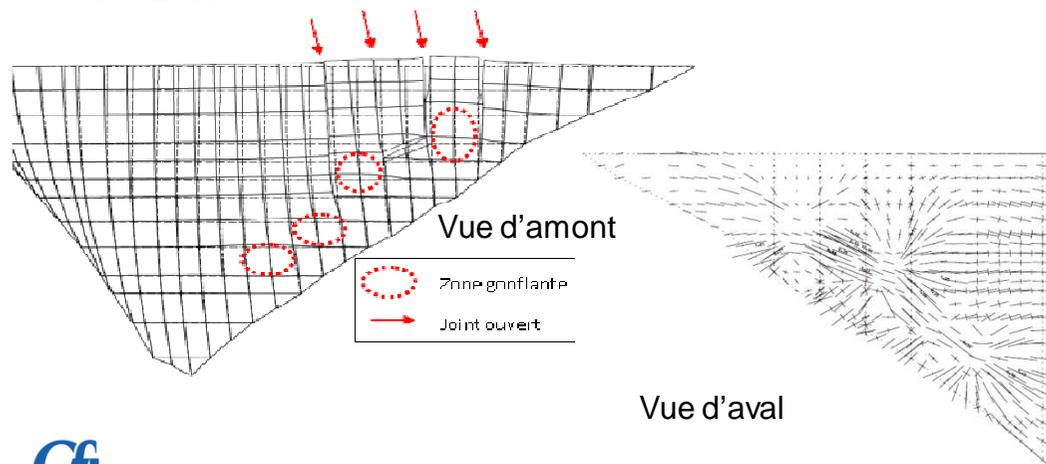
DEVELOPPEMENTS ET RECHERCHE

Meilleure caractérisation des comportements d'ouvrages

Coyne et Bellier : Modèles numériques de comportement évolutifs et conçus pour le suivre tout au long de sa vie associé => MODAP (Modèle Accompagnateur de Projet) depuis sa conception jusqu'à l'apparition du vieillissement.

Ex : développement d'un module élastoplastique SCAS (Stress Controlled Anisotropic Swelling) pour représenter le gonflement du béton et applications aux barrages et de Bimont

de Kariba



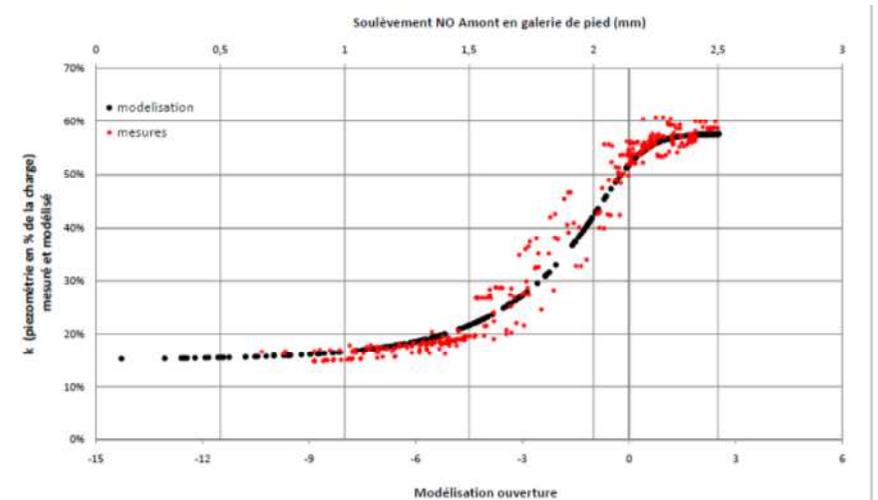
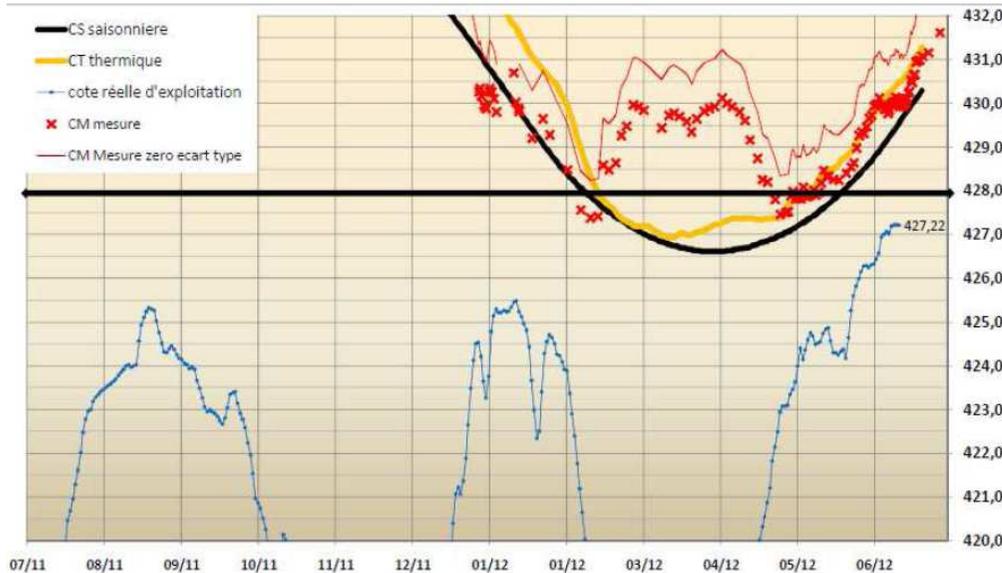
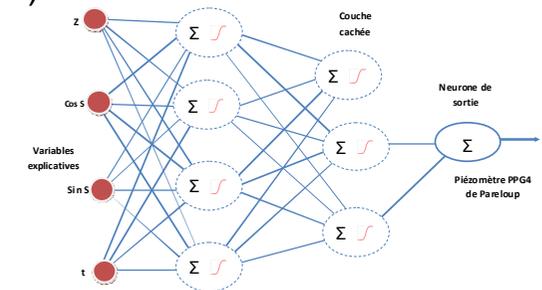
DEVELOPPEMENTS ET RECHERCHE

Meilleure caractérisation des comportements d'ouvrages

EDF : Nouveaux Modèles statistiques – diagnostics spécialisés de comportement

- Nouvelles variables explicatives (températureS)
- Lois de diffusions des effets réversibles (Effets Retards, Gradients,...)
- Termes croisés (comportements hydromécaniques)
- Non-linéarités
- Recours aux réseaux de neurones

➔ HST/EFR/ACP/GRAD/HST-T/HST-HY/HST-NL



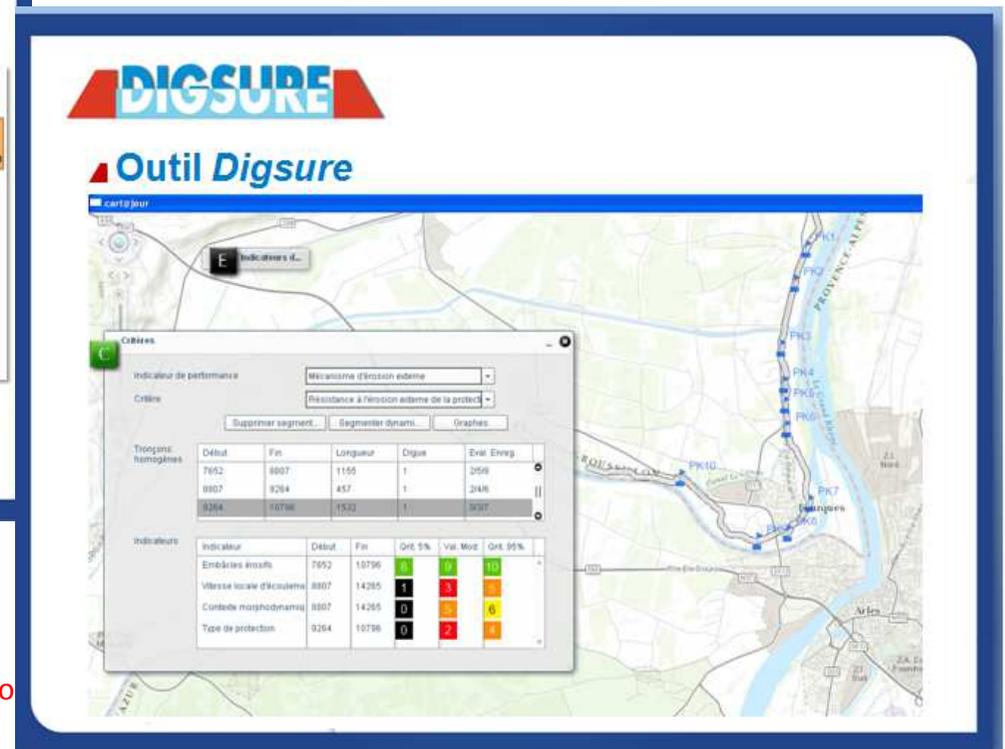
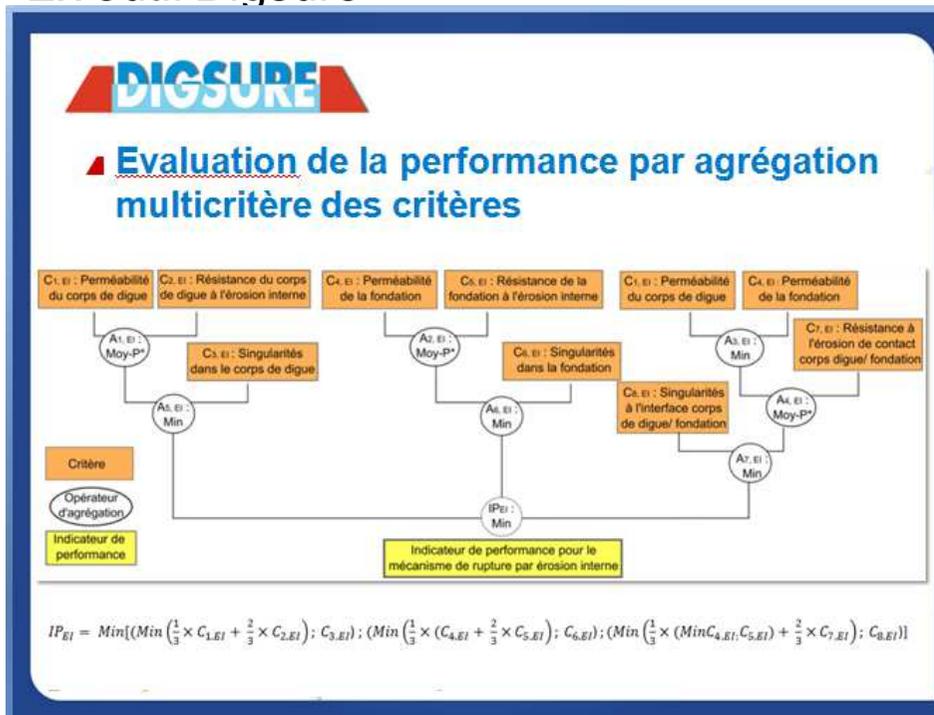
$$Np_{brut} = N_{av} + (RN - R_{vide})(1 - z) * [\alpha_1 + (\alpha_2 * \tanh(\alpha_3 + \xi(z) + \xi(S) + \xi(t)))] + \text{résidus}$$

DEVELOPPEMENTS ET RECHERCHE

Meilleure caractérisation des comportements d'ouvrages

IRSTEA : Modèles fonctionnels / Analyses fiabilistes ou probabilistes pour mieux comprendre et évaluer les scénarios de défaillance des ouvrages hydrauliques.

Ex outil Digsure



FORMATION et Partage d'information

- Des **cursus de professionnalisation** des novices, en interne, en externe en France et à l'étranger, dans le monde professionnel et universitaire ... bien sûr !
- **Le portage et la démultiplication** de tous les outils développés et des référentiels pour les rendre **OPERATIONNELS** et **PARTAGES**
- La curiosité et la remise en question perpétuelle de nos savoirs passent toujours par le partage d'informations, **les échanges** (colloques, benchmarks, partenariats) ...

...MAIS AUSSI

FORMATION et Partage d'information

Wiki BarDig

Mécanisme d'érosion interne

Les ruptures par érosion interne et par renard hydraulique ont représenté un peu plus de la moitié des ruptures des **barrages en remblai** entre 1950 et 1986, en excluant les ruptures pendant la construction (Foster et al., 2000). Elle constitue la première source d'incidents sur les ouvrages hydrauliques en terre (CFGB, 1997). Le mode de rupture par érosion interne peut toucher aussi bien la **fondation** que le **remblai**, y compris le **noyau étanche**. Il peut également se propager du remblai vers la fondation. Pour la période jusqu'à 1986, soixante-cinq pourcents des érosions internes se sont produites dans le remblai, trente pourcents dans la fondation et cinq pourcents du barrage vers la fondation (Foster et Fell, 2000).



Photo Irstea - Exemple de brèche suite à érosion interne.

Table des matières
• Mécanisme d'érosion interne
• Phénomènes d'arrachement
• Phénomènes de transport
• Les quatre phases de l'érosion interne
• Actions préventives et correctives
• Ouvrages de référence
• Références bibliographiques

Phénomènes d'arrachement

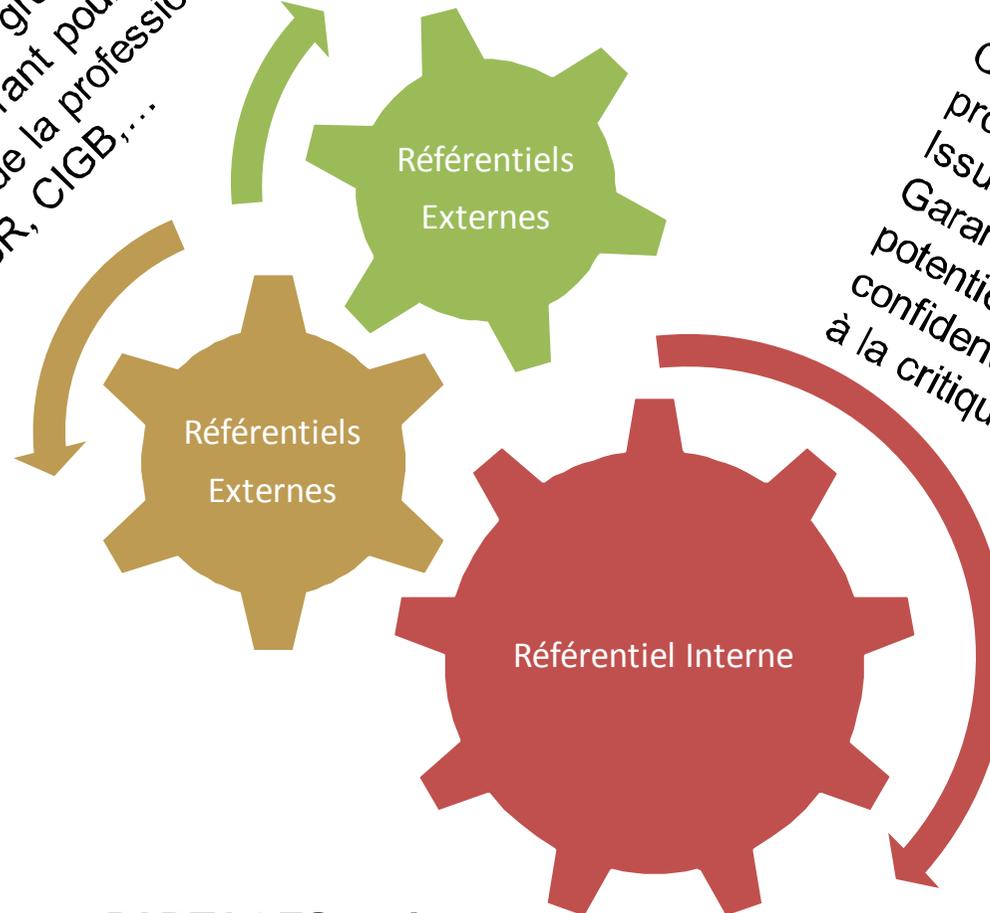
L'érosion interne est provoquée par l'existence de fuites non contrôlées par le **système de drainage** et qui entraînent vers l'aval des particules constitutives du remblai (ou de la fondation) à la suite de leur arrachement. Huit phénomènes d'arrachement peuvent être à l'origine d'une érosion interne (IREX, 2003) :

- la **boullance** : état d'un volume de sol dans lequel les grains flottent, entourés d'une phase liquide continue, sous l'effet d'une pression d'eau qui annule la contrainte effective. La boullance se distingue de la liquéfaction par le mécanisme initiateur qui est d'origine hydraulique (l'écoulement) pour le premier et mécanique (les vibrations) pour le second ;
- la **suffusion** : mouvement des grains de petite taille non structuraux lorsque la vitesse locale (ou le gradient local) dépasse une certaine limite. Le mouvement des grains est ensuite conditionné par les conditions hydrauliques et géométriques de site ;
- l'**érosion régressive** : arrachement des particules, une à une, à la surface d'un matériau sous l'effet de la poussée de l'écoulement percolant à travers le matériau. La valeur locale du gradient hydraulique de sortie et les vitesses d'écoulement sont suffisantes pour détacher les particules de la surface. Sont distingués :
 - le **débouillage** : déséquilibre d'un volume de sol sous l'action de la poussée de l'eau que la résistance au cisaillement sur le pourtour du volume ne parvient plus à compenser. Il peut se produire dans le cas d'une fissure rocheuse ou d'un conduit karstique rempli de matériaux argileux et peut provoquer un élargissement de la fissure ;
 - la **dissolution** : disparition d'une partie des constituants des particules, sous une action chimique ou thermique ;
 - la **déflocculation** ou **dispersion** : phénomène physico-chimique qui tend à diminuer la taille des agglomérats de particules argileuses, disperser les plaquettes d'argile et faciliter leur mobilité.
- l'**arrachement** ou l'**entraînement** : détachement des particules des parois d'un canal ou d'une rivière à partir d'une certaine valeur du cisaillement engendré par l'écoulement. Ce phénomène commande la vitesse de développement des renards. Le débit solide évacué est fonction du rapport entre la contrainte de cisaillement réelle et la contrainte de cisaillement critique ;
- l'**exsolution** : de l'air piégé dans le noyau lors de la mise en eau est comprimé et partiellement dissous dans l'eau en partie amont du noyau. L'air est ensuite transporté par l'eau via le corps du barrage et relâché dans les parties aval du noyau où la pression de l'eau interstitielle est plus faible. Il en résulte une diminution locale de la perméabilité lors du piégeage de l'air et de fait une augmentation nette des pressions interscellulaires (St-Arnaud, 1995)

REFERENTIELS TECHNIQUES



Guides de références
en libre accès
issus de travaux de groupes
ou d'entités oeuvrant pour la
communauté de la profession
ex. GT CFBR, CIGB,...

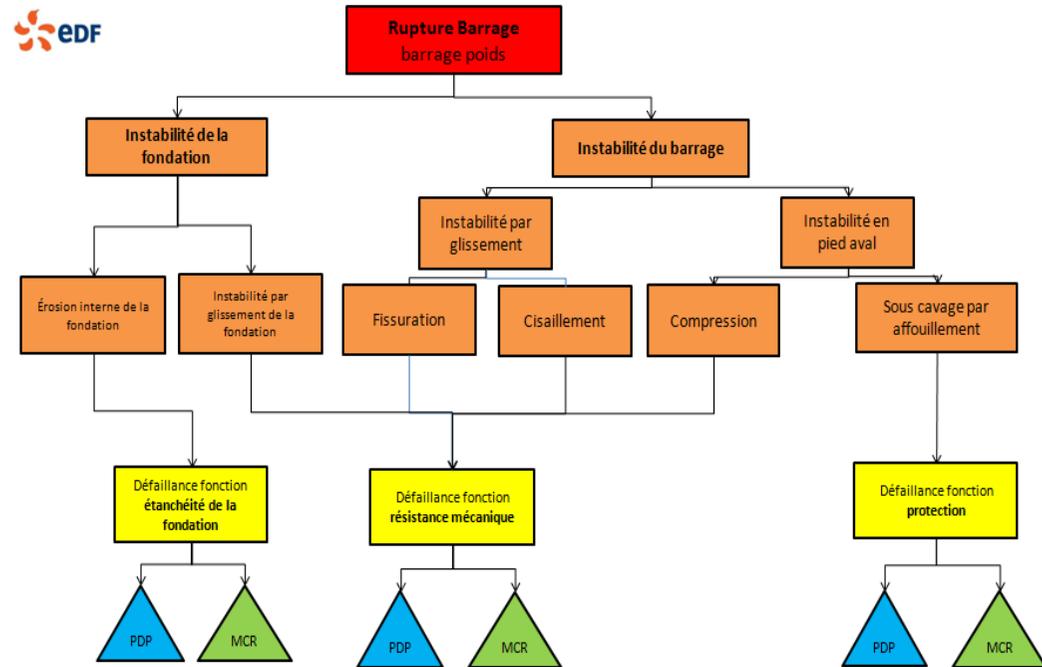
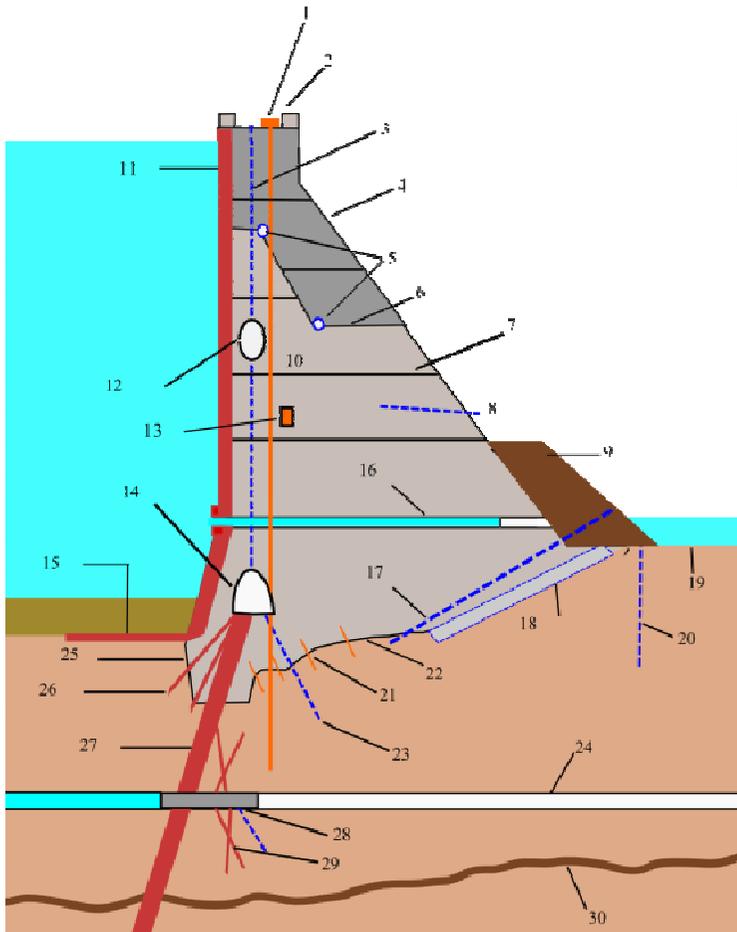


Outils et Guides de références
propres au bureaux d'études
Issus de leurs actions de R&D
Garantissant leur savoir faire et
potentiellement sujet à la
confidentialité, la concurrence... ou
à la critique...

TOUS sont PARTAGES en interne ou en externe
Interaction très forte nécessaire pour assurer les Exigences de SURETE
Confidentialité des REX plus que des Référentiels ?

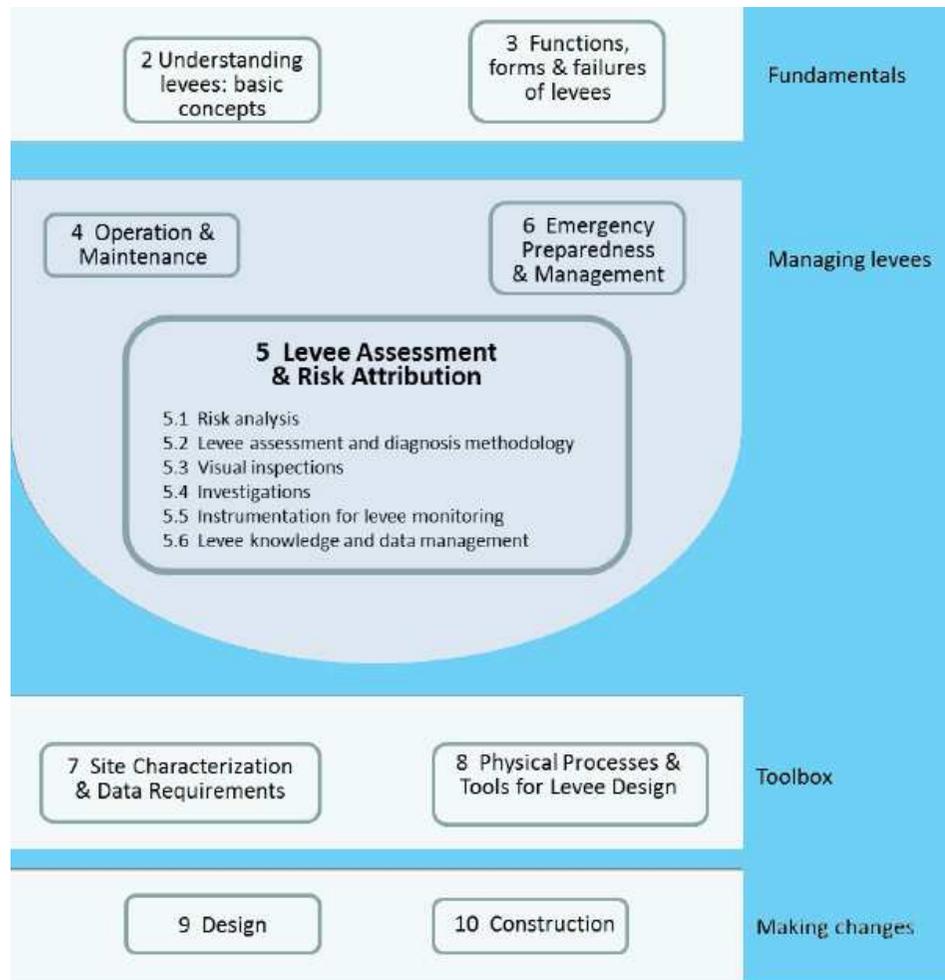
REFERENTIELS TECHNIQUES

Référentiel EDF sur les modes de défaillance des barrages en GC



REFERENTIELS TECHNIQUES

Référentiel International de sûreté des Dignes (IRSTEA et collab.) : guide « International Levee Handbook »



2. Concepts généraux
3. Fonctions, formes et défaillance des digues,
4. Opérations et Maintenance,
5. Inspections, diagnostics et analyses de risques,
6. Gestion en crise,
7. Caractérisation du site et recueil de données,
8. Processus physiques et outils pour la conception et le diagnostic,
9. Conception et dimensionnement,
10. Construction.



REFERENTIELS TECHNIQUES

Référentiel français du CFBR issus des GT du CFBR...



Groupe de Travail « Justification des barrages et des digues en remblai »

Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai

Avril 2010

Comité Français des Barrages et Réservoirs (CFBR)

1



Groupe de Travail « Calcul des barrages-poids »

Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages-poids

Propositions de recommandations

Janvier 2006

1



Groupe de Travail « Dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages »

Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages

juin 2013

1

MERCI