



# 4ème Colloque sur les digues maritimes et fluviales de protection contre les inondations

Aix-en-Provence | 27-29 mars 2024



## *Études de dangers des systèmes d'endiguement – Vers un outil modulaire CAROHL de Calcul de l'Aléa Rupture des Ouvrages Hydrauliques Linéaires*

*E. Durand, B. Bridoux, L. Saussaye*

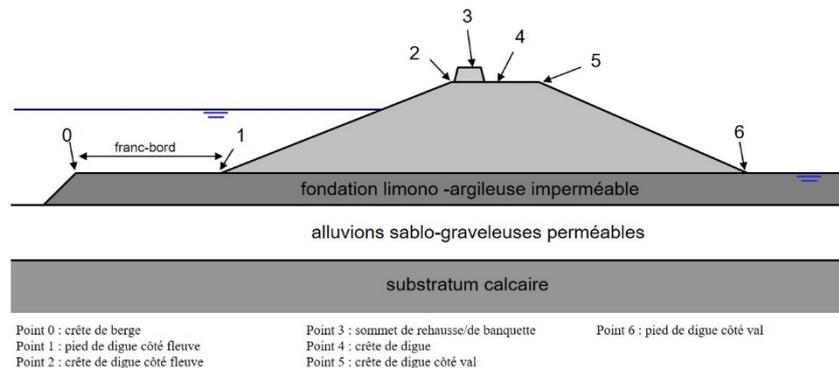
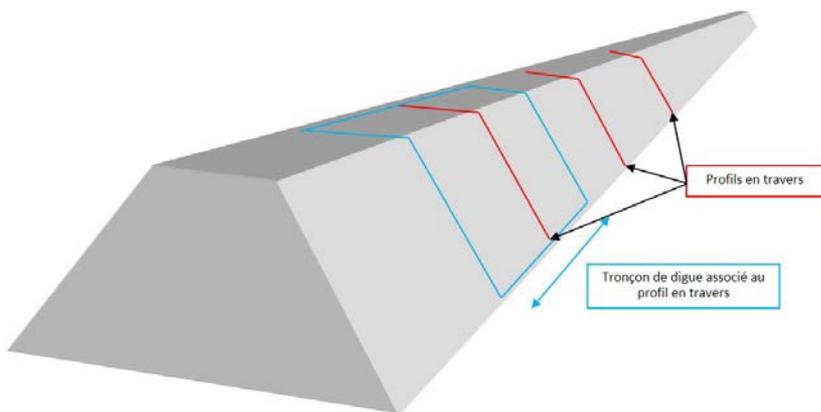
Édouard DURAND, Cerema



## De CARDigue vers CAROHL

### ➤ Principes de CARDigue (rappel)

- Discrétisation du système d'endiguement



- Codification des informations attachées au profil représentatif du tronçon : coordonnées, désordres, renforcements, charges hydrauliques...

## De CARDigue vers CAROHL

### ➤ Principes de CARDigue

- Analyse automatisée de 5 scénarios de rupture identifiés sur les levées de Loire moyenne

Mécanisme Initial (Nom du scénario)	Enchaînements des mécanismes menant à la rupture
Surverse (s)	Surverse => Erosion du talus Val => brèche
Erosion Interne (ei)	Erosion interne => brèche
Glissement (g)	Glissement côté val => Erosion interne => brèche
Erosion Externe (ee)	Erosion du pied de digue => Glissement de talus côté Loire => Erosion interne => brèche
Soulèvement Hydraulique (sh)	Soulèvement hydraulique => Erosion interne => brèche

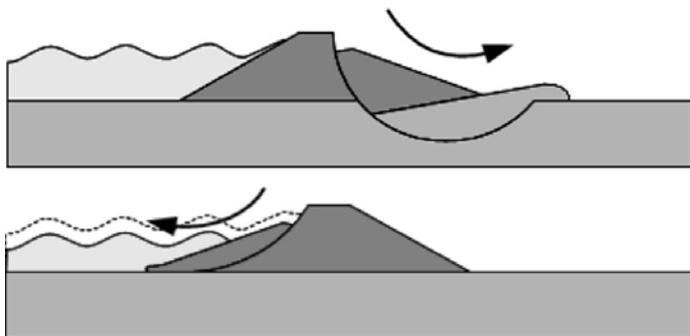
- Par scénario :
  - 1 critère d'apparition du mécanisme initiateur
  - 1 critère de déroulement jusqu'à la rupture

## De CARDigue vers CAROHL

### ➤ Principes de CARDigue

- Probabilités obtenues par des tables de probabilisation à dire d'expert pour chaque critère

Ex. : apparition du glissement : critère = facteur de sécurité



Facteur de sécurité F	0	F <	1	→	1
	1	< F <	1.1	→	0.7
	1.1	< F <	1.3	→	0.3
	1.3	< F <	1.5	→	0.1
	1.5	< F		→	0.01
Probabilité en cas Maison, Murs Hauteur ou Pente faible				→	0

- Probabilité événementielle de rupture pour chaque scénario et par niveau de charge hydraulique

$$P(n)_{Qi} = P(na) \times P(nr)$$

## De CARDigue vers CAROHL

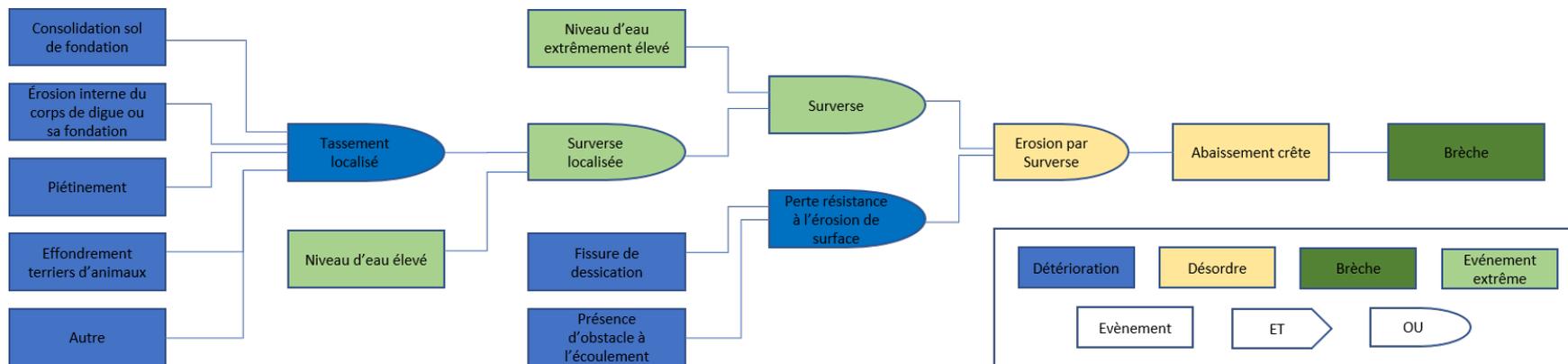
### ➤ Limites de CARDigue

- Uniquement 5 scénarios de rupture identifiés pour les levées de la Loire moyenne
- Caractéristiques géotechniques fixes pour tous les profils
- Nombre limité de géométries (H, pentes de talus et sols support) pris en compte pour le glissement
- Critère d'analyse fixe pour un mécanisme (ex : Bligh pour l'érosion interne)
- Poids trop important du mécanisme d'érosion interne
- Outil développé avant les réglementations de 2015, 2017 et 2019

**Besoin d'un nouvel outil modulaire**

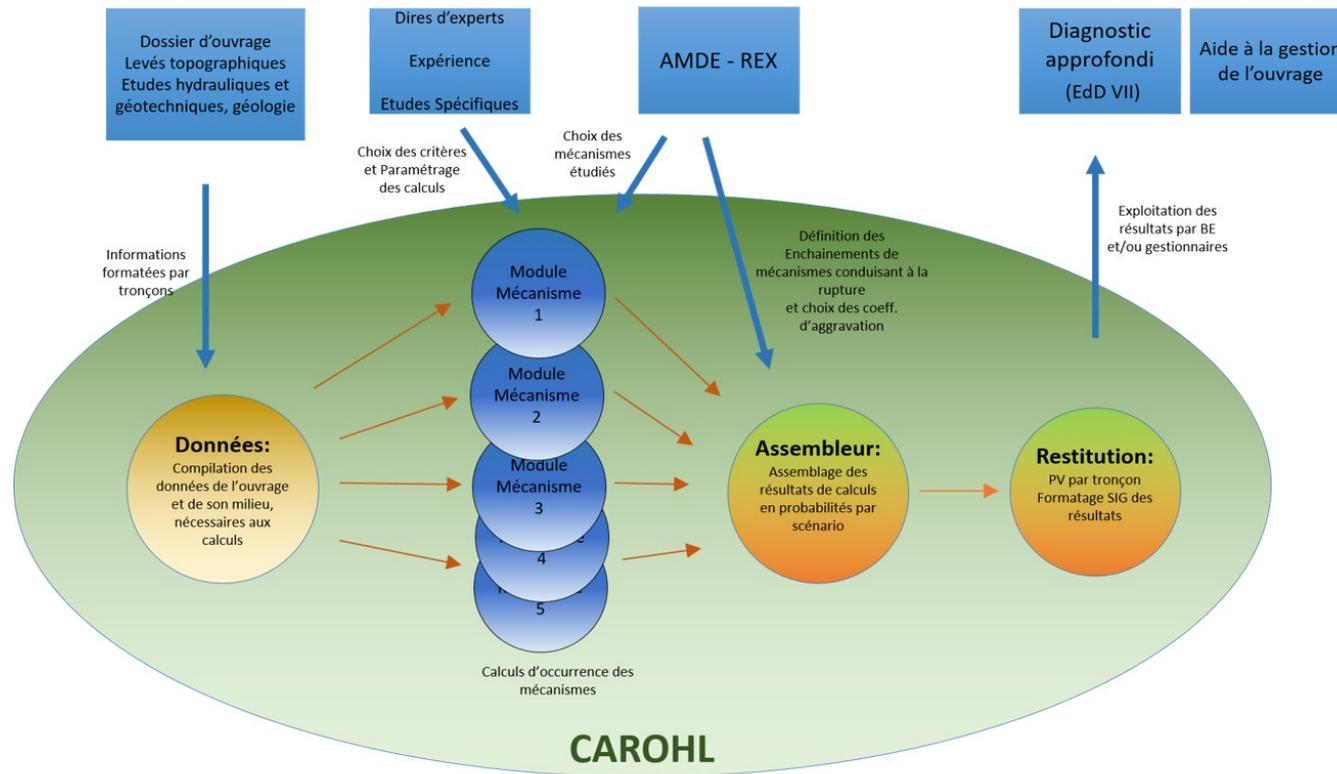
## CAROHL (Calcul d'Aléa Rupture des Ouvrages Hydrauliques Linéaires)

- S'adapter à l'analyse des modes de défaillances d'un SE : tant sur les mécanismes que les scénarios



Exemple d'arbre de défaillance d'un scénario de surverse conduisant à une brèche  
(source : Guide International sur les digues – Cerema, 2019)

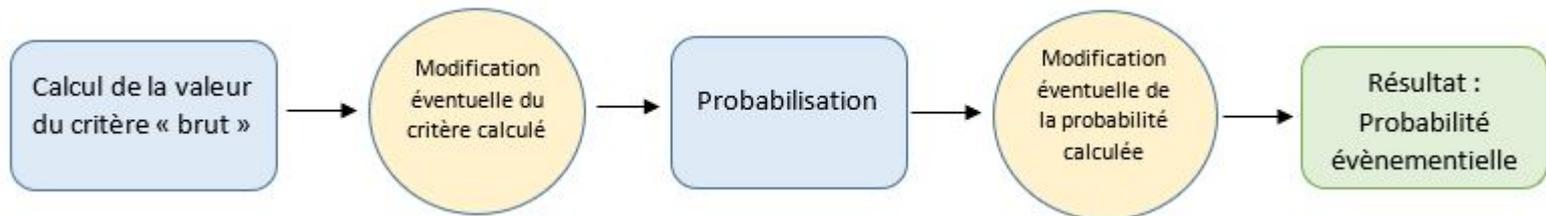
# CAROHL (Calcul d'Aléa Rupture des Ouvrages Hydrauliques Linéaires)



Logigramme fonctionnel de l'outil CAROHL

## CAROHL (Calcul d'Aléa Rupture des Ouvrages Hydrauliques Linéaires)

- 1 catalogue de modules élémentaires caractérisant les mécanismes
- La possibilité de créer un module



Principe de calcul d'un module élémentaire de l'outil CAROHL

➤ 1 Assembleur qui permet :

- de définir les scénarios
- de calculer leur probabilité (assemblage des probabilités des modules)

Panneau de Controle CARHOL

The screenshot displays the CAROHL control panel interface, divided into two main sections: 'Gérer les Mécanismes' (Manage Mechanisms) and 'Gerer les assemblages' (Manage Assemblies).

**Gérer les Mécanismes:** This section features a list of mechanisms on the left, including 'ero-ext', 'ero-ext-val', 'ero-int', 'gliss-Loire', 'gliss-val', 'SouHy', and 'surverse'. Below the list is an 'Ajouter un mécanisme' button. To the right, a 'Fichier Module associé' field shows 'Module surverse.xism'. Below this are four buttons: 'Modifier le fichier associé', 'Renommer le mecanisme', 'Supprimer le mécanisme', and 'obtenir le bloc du mécanisme'.

**Gerer les assemblages:** This section has a dropdown menu showing 'Rupt Suverse' and an 'Ajouter un assemblage' button. To the right, an 'Information de l'assemblage' box displays 'Assemblage de type ET\_2 : -> surverse [M] -> ero-ext-val [M]'. Below this are four buttons: 'Afficher cet assemblage', 'Renommer cet assemblage', 'Supprimer cet assemblage', and 'Obtenir le bloc de l'assemblage'.

At the bottom of the interface, there are several buttons for individual mechanisms and assemblies, such as 'surverse [B]', 'ero-int [B]', 'gliss-val [B]', 'gliss-Loire [B]', 'ero-ext [B]', 'Rupt Suversebis [B]', 'SouHy [B]', 'ero-ext-val [B]', 'ero-int [gl]', 'Rupt Suverse [B]', and 'ero-int [SH]'.

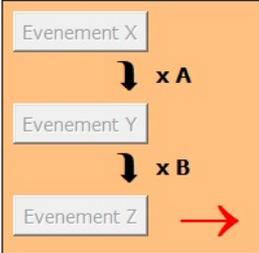
Interface d'assemblage de l'outil CAROHL (démonstrateur)

# Études de dangers des systèmes d'endiguement – Vers un outil modulaire CAROHL de Calcul de l'Aléa Rupture des Ouvrages Hydrauliques Linéaires

## ➤ Visuels des interfaces de l'Assembleur

Créer un nouvel Assemblage

**Jonction ET (Enchaînement avec aggravation éventuelle)**

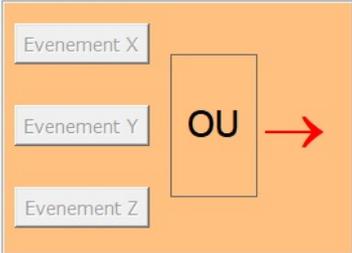


Ces assemblages traduisent la survenance D'AU MOINS UN des événements. Les résultats de ces assemblages sont obtenus en associant les probabilités des événements assemblés par la formule de Poincaré.

Nombre d'évènements ( Cliquer pour créer un assemblage )

2 3 4 5 6 7

**Jonction OU (au moins 1)**

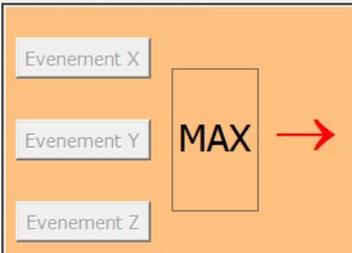


Ces assemblages traduisent la survenance D'AU MOINS UN des événements. Les résultats de ces assemblages sont obtenus en associant les probabilités des événements assemblés par la formule de Poincaré.

Nombre d'évènements ( Cliquer pour créer un assemblage )

2 3 4 5 6 7

**Jonction MAX (le plus important)**



Ces assemblages ne retiennent que la survenance que de l'évènement LE PLUS PROBABLE. Les résultats de ces assemblages sont obtenus en retenant la probabilité maximale parmi les probabilités des événements assemblés.

Nombre d'évènements ( Cliquer pour créer un assemblage )

2 3 4 5 6 7

Scénario de défaillance à 3 mécanismes

Nom du scénario : ET3test

Mécanisme 1 : glis-val [M]

Mécanisme 2 : ero-ext-val [M]

Mécanisme 3 : glis-val [M], glis-val [M], Southy [M], surverse [M], xtest mec26 [M], zzero-int [M]

Coefficient Aggravation 1 -->2 : 1

Coefficient Aggravation 2 -->3 : 2

Valider cet assemblage

Annuler

Ré-initialiser

## Conclusions et perspectives de CAROHL

- sa modularité ouvre des possibilités pour :
  - une utilisation sur tous les systèmes d'endiguement, fluviaux et maritimes
  - s'adapter à l'analyse de la défaillance propre au SE étudié
  - ajouter des modules élémentaires
- est une méthode automatisée et potentiellement unifiée d'analyse pour les EDD
- nécessite le passage de démonstrateur fonctionnel sous Excel à un logiciel sous interface adaptée et conviviale

Merci pour votre attention



Édouard DURAND  
DTer Normandie-Centre  
Agence de Blois  
[edouard.durand@cerema.fr](mailto:edouard.durand@cerema.fr)