

*Journée technique CFBR – CFMS –
SPTF FNTP du 16 mai 2019*

23 Avenue Condorcet, Villeurbanne **INDURA**
Auvergne-Rhône-Alpes

***Digues du Delta du Rhône
REX de 4 chantiers
réalisés entre 1998 et 2018
évolution de la conception
& du cahier des charges des
terrassements***



Thibaut MALLET, SYMADREM

Journée organisée par :



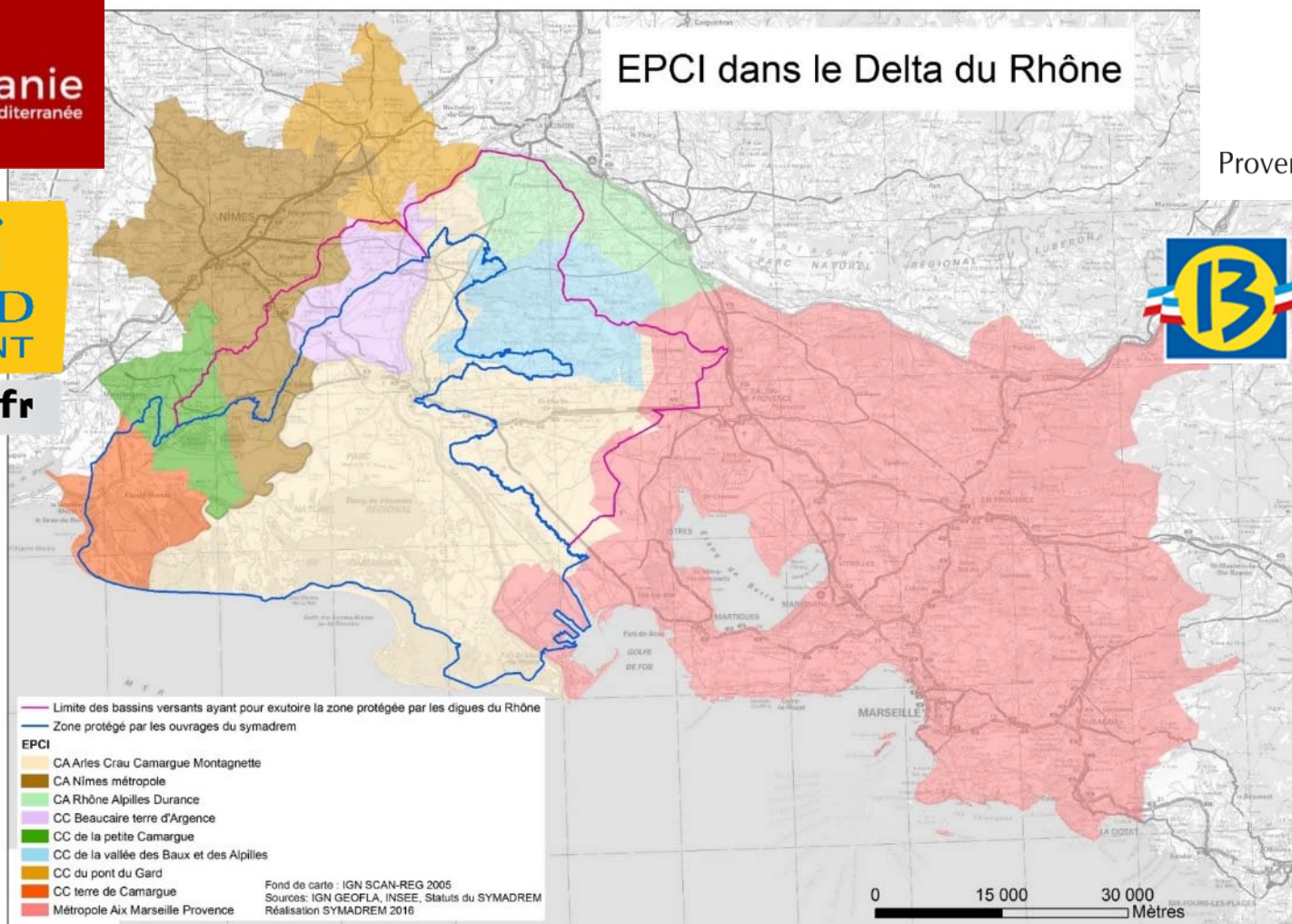
CONCEPTION ET CONSTRUCTION des ouvrages en sols fins



Sommaire

- Contexte général
- 1^{ère} génération de chantier : travaux d'urgence 1998-2001
- 2^{ème} génération de chantier : travaux invariants 2002-2007
- 3^{ème} génération de chantier : travaux Plan Rhône 2008-2030
- Conclusion

Symadrem : un établissement public composé de 10 collectivités territoriales



Région

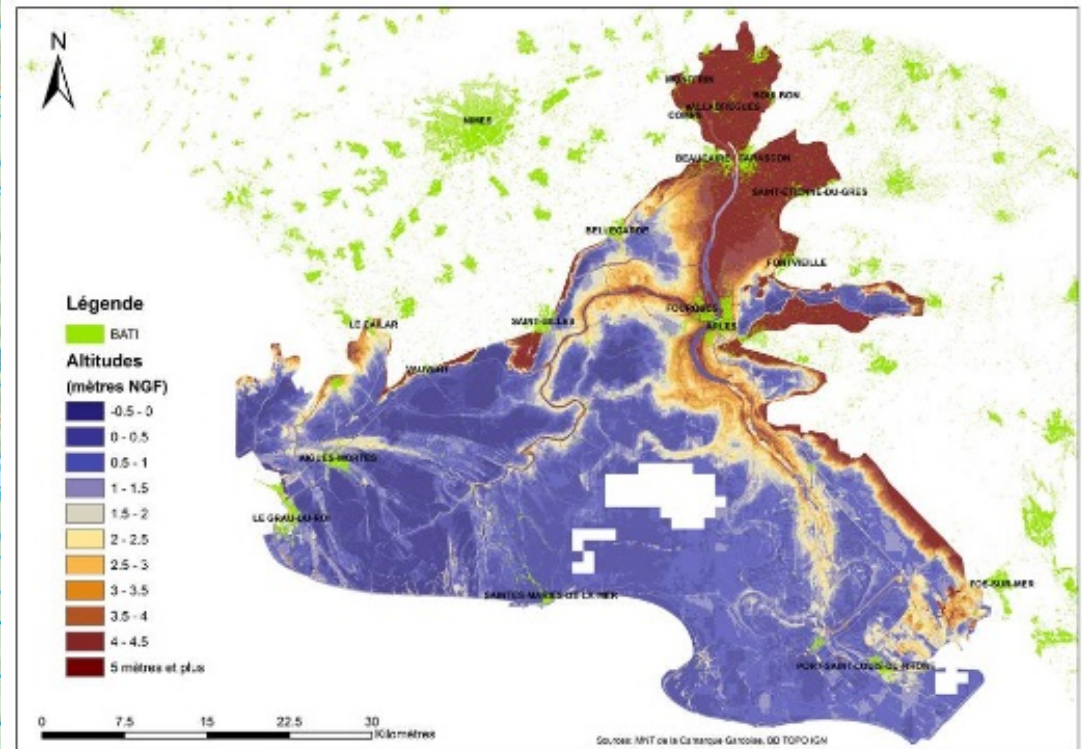
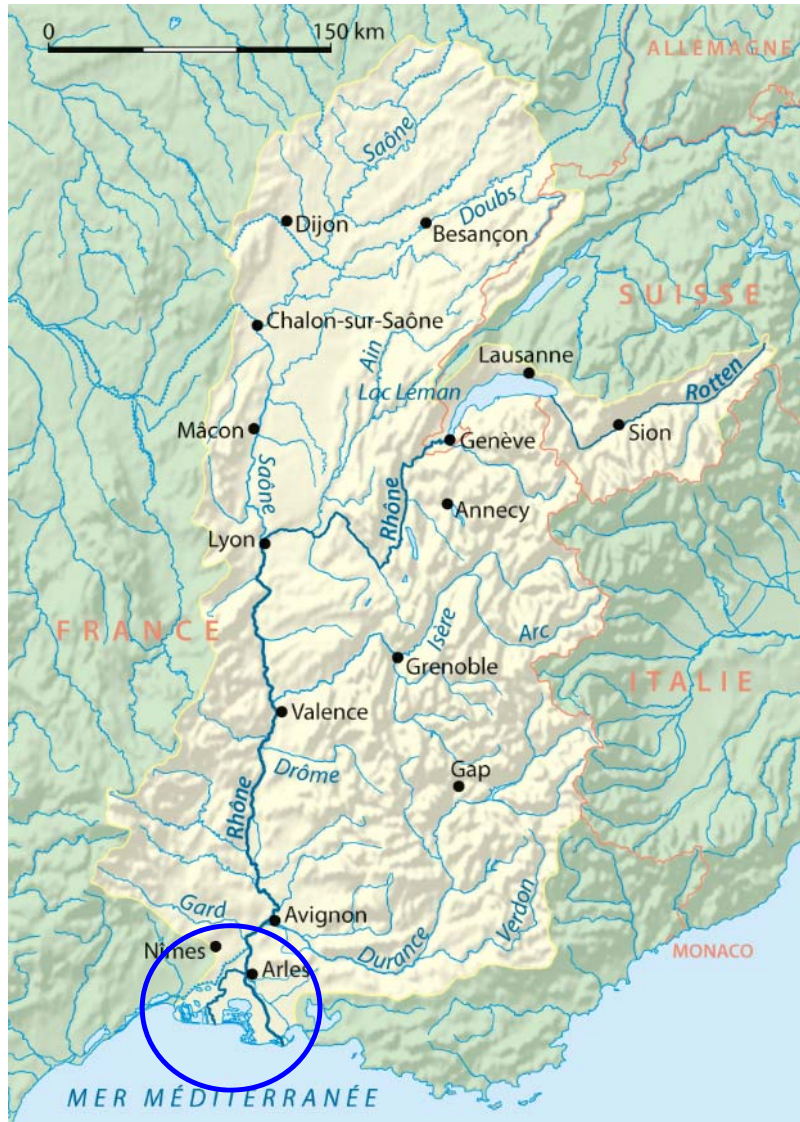


Provence-Alpes-Côte d'Azur



DÉPARTEMENT
**BOUCHES
DU RHÔNE**

Territoire : le Grand Delta du Rhône



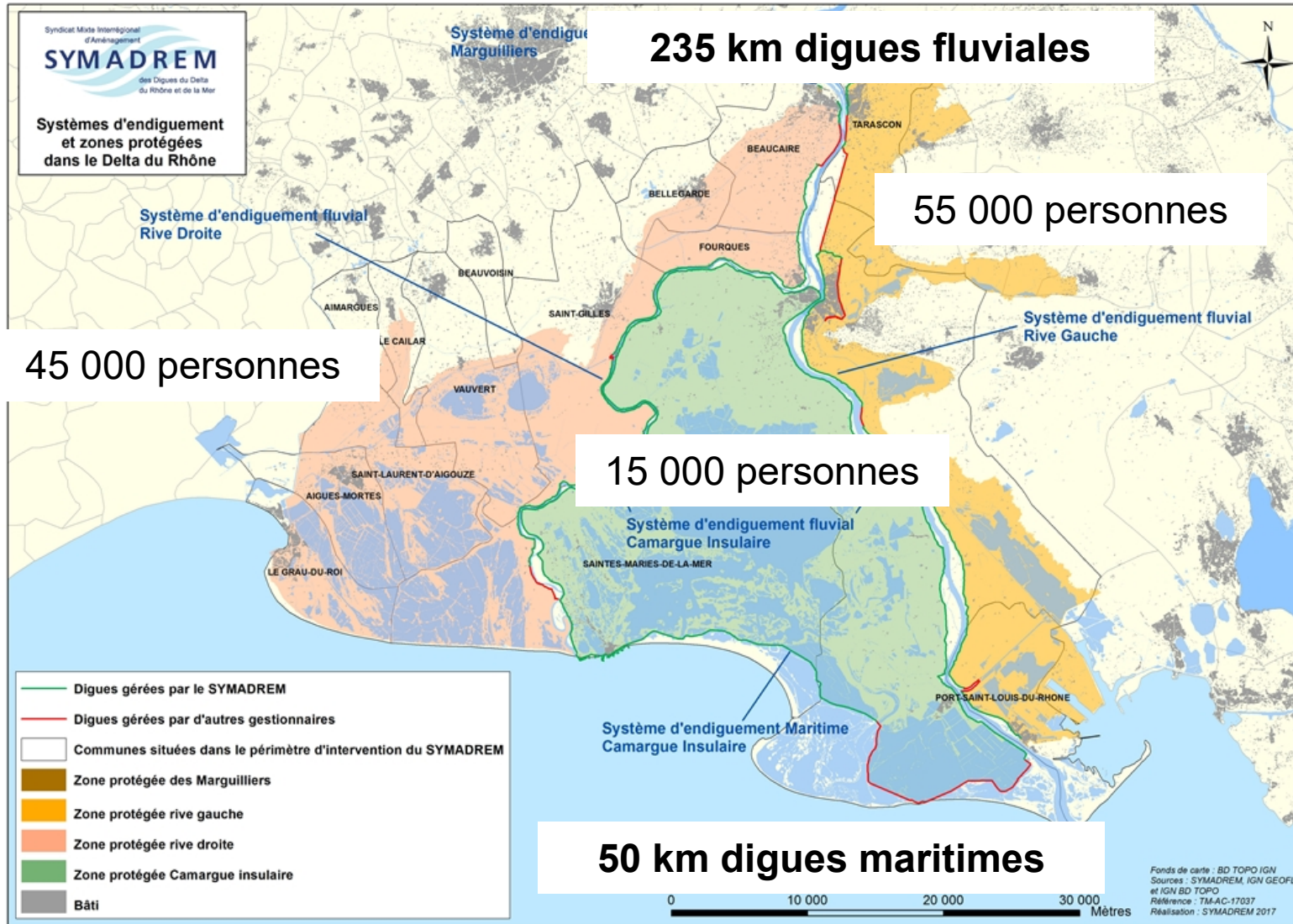
$$Q_1 = 4\,200 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10} = 8\,500 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100} = 11\,500 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1000} = 14\,500 \text{ m}^3/\text{s}$$

Systèmes d'endiguement

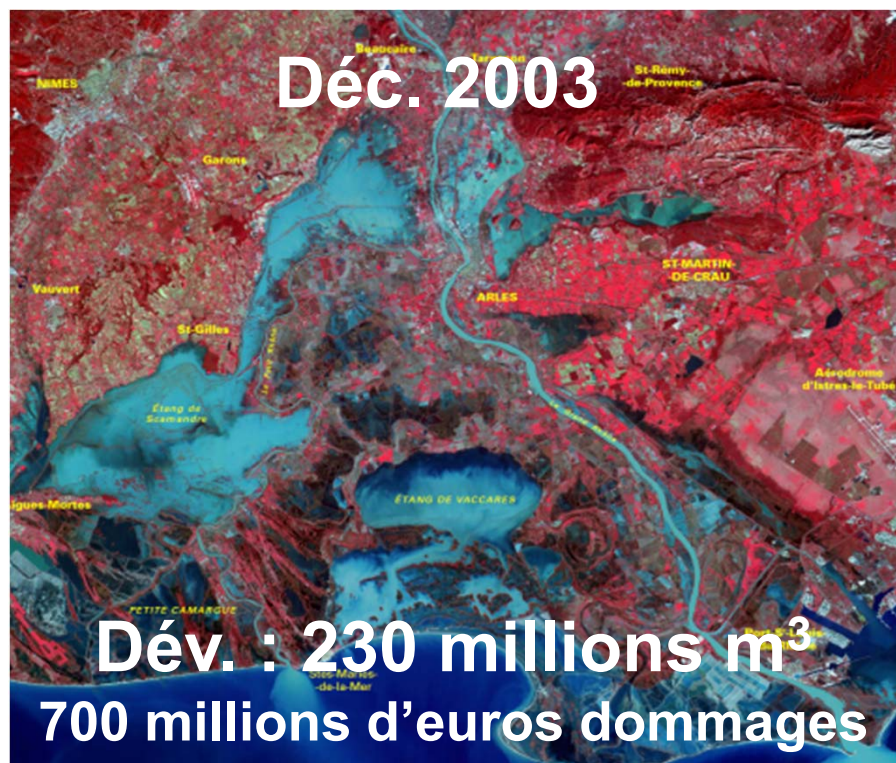


210 km digues en remblai

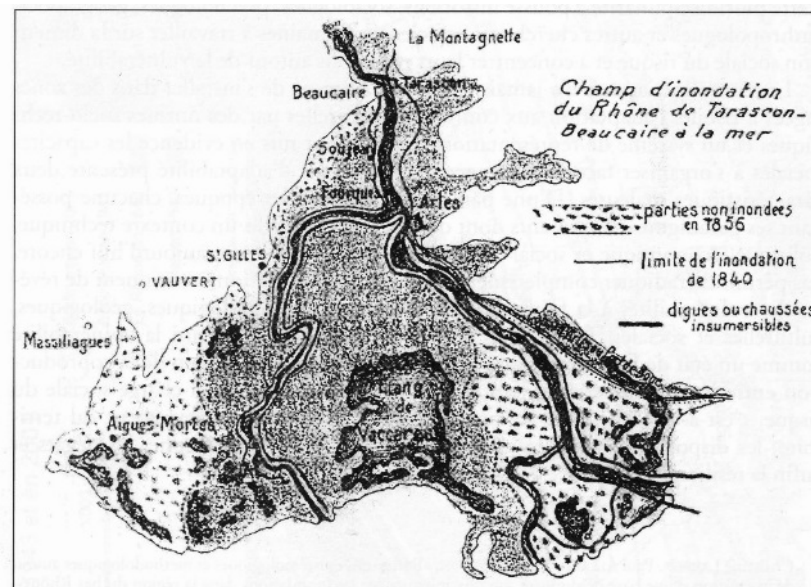


25 km remblais d'infrastructures (SNCF, VNF, CNR, CD13)

Un territoire plusieurs fois meurtri par les inondations (1840, 1841, 1843, 1856, 1993, 1994, 2002, 2003...)



Nov. 1840 & Mai 1856



Dév. : 1800 & 2800 millions m³

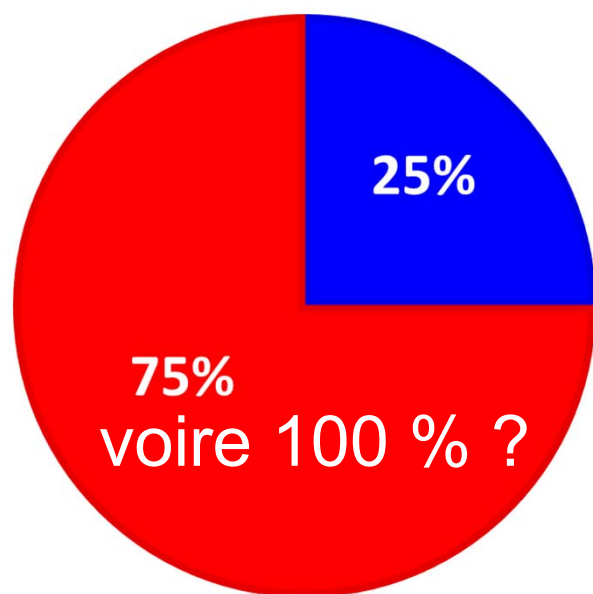


Initiateurs de rupture (1993-2016)

Brèches

Brèches +
départs de brèche

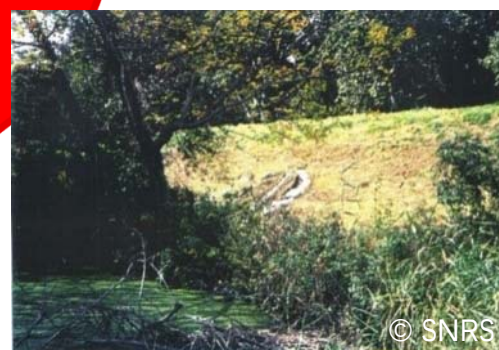
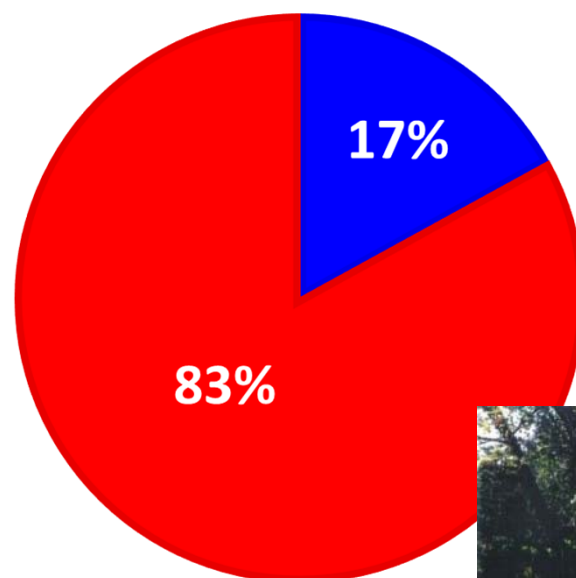
Brèche par surverse 2003



■ Surverse

■ Erosion interne

=> érosion de conduit



78 % dans des
terriers



22 % le long
d'ouvrages
traversants

Programme de sécurisation depuis 2010

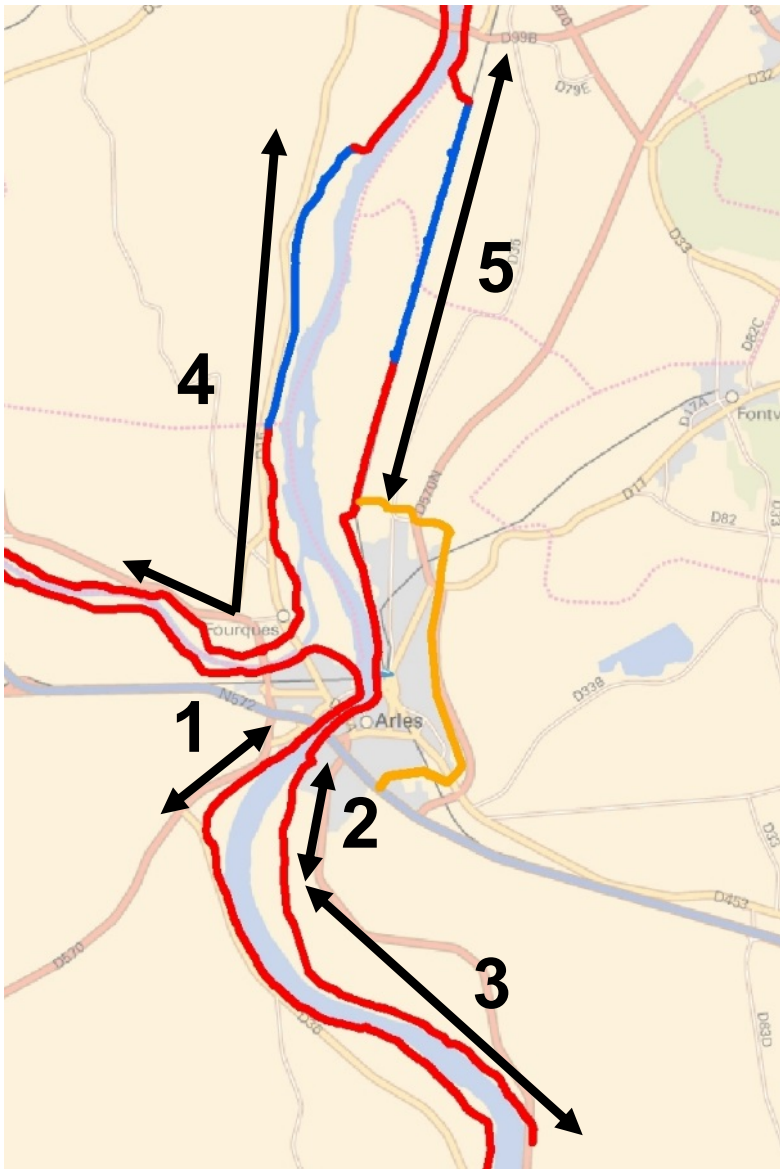


25 km de **digues résistantes à la surverse**
(cote déversement pour $10 < T < 200$ ans)



200 km de **digues millénales** ($Q_{1000} + 50\text{cm}$)

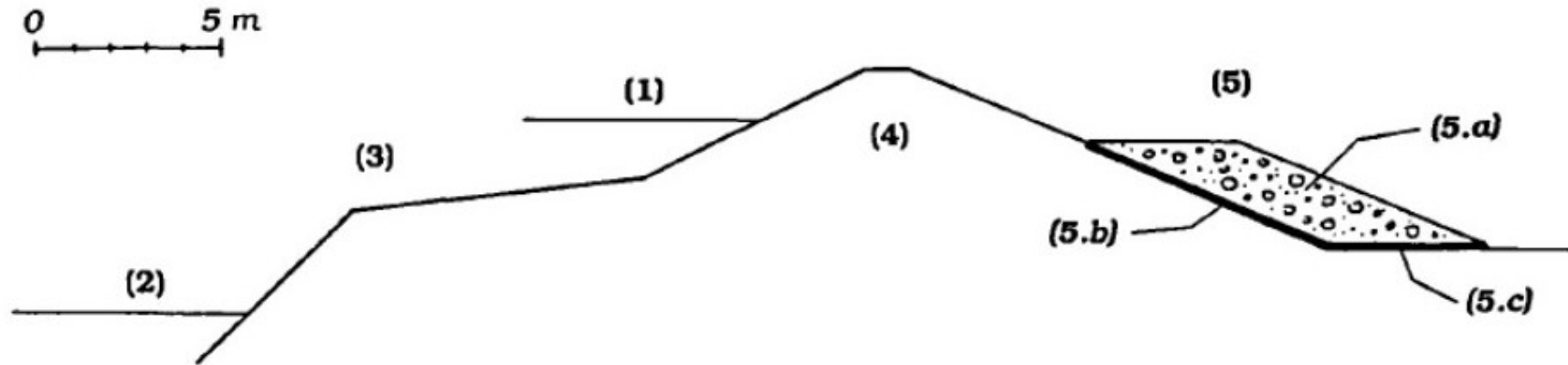
REX 4 chantiers et Tvx en cours



1. Emmaus – Passerons (urgence)
2. Barriol (invariant)
3. Sud d'Arles (Plan Rhône)
4. Beaucaire-Fourques (Plan Rhône)
5. Tarascon-Arles (Plan Rhône)

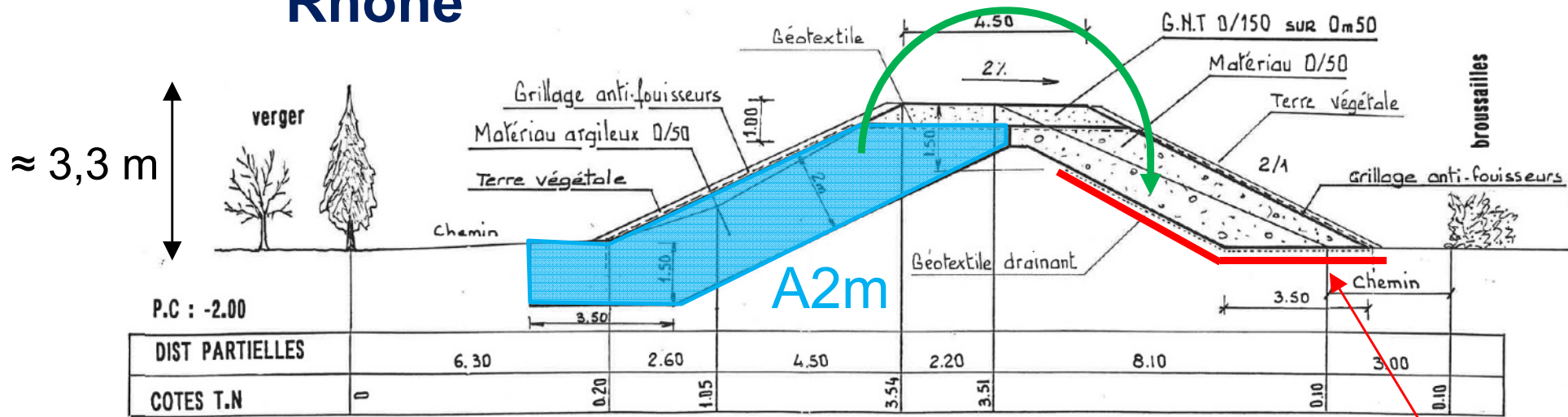
Probabilité annuelle de brèche $\leq 10^{-4}$

Tvx post-crues 1993-1994



Digue Emmaus – Passerons (1998)

Rhône



$$V = 18\,500 \text{ m}^3$$

CCTP :

Cf. guide SETRA/LCPC

$D \geq 95 \% D_{OPN}$ sur 97,5 % mesures

$0,9W_{opn} < W < 1,1W_{opn}$

3 types de contrôle mais fréquence = $\emptyset$



Digue Emmaus – Passerons (1998)

Réalisation

DOE = $\emptyset$

Compactage (V3 ; e = 0,30 m ; N = 6)

6 mesures gamma ($1/3 < \text{objectif}$)

1 mesure $\approx 3100 \text{ m}^3$

Synthèse

1 référentiel technique routier

1 objectif de compacité

$\emptyset$ Fréquence de contrôle

liberté dans la réalisation (matériel compactage) et contrôle

REX Crues

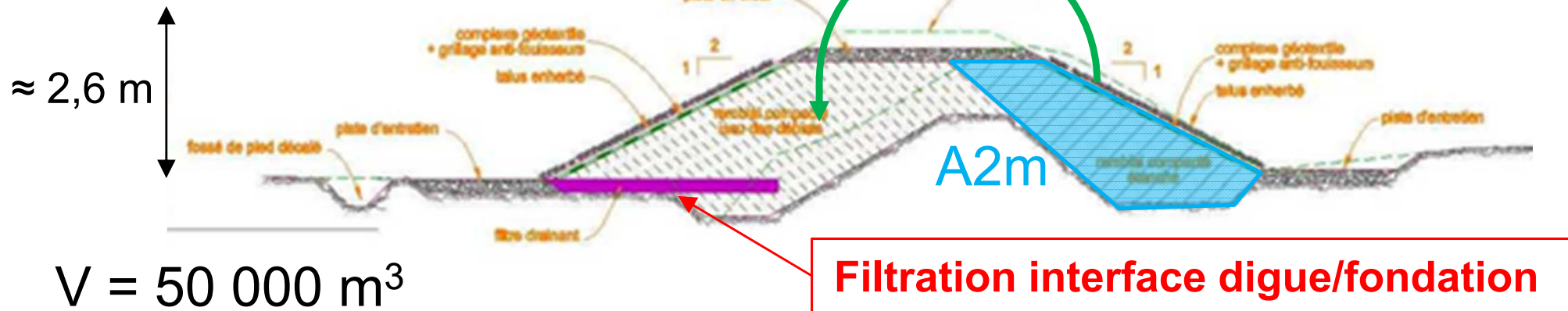
1 Q_{100} + 2 Q_{20}

Aucun désordre

Digue Barriol (2007)

Rhône

Filtration talus = $\emptyset$



CCTP (sensiblement plus détaillé) :

$D \geq 98 \% D_{OPN}$ sur 90 % mesures et $\geq 95 \% D_{OPN}$ sur 100 %

$0,9W_{opn} < W < 1,1W_{opn}$

Essais de convenance :

- 1 identification simplifiée (granulo + VBS) tous les 500 m³
- 2 mesures quotidiennes de W
- 1 identification complète (IP) + sédimento + essai OPN tous les 1500 m³

Digue Barriol (2007)

CCTP suite

moyens matériels :

Compacteur lisse proscrit et

Scarification entre couche sur au moins 5 cm

Modalités de compactage laissées à l'initiative de l'entreprise

Avec valeurs plancher ou plafond $e = 0,30$ m ; $N = 6$

Essais de contrôle : gamma quotidien avec 1 essai mini tous les 100 ml

Digue Barriol (2007)

Réalisation :

Utilisation d'un compacteur VP5 pied dameur

Phase préparation : 2 essais OPN + 12 identifications (Gr, W, Vbs)

Phase réalisation : 4 essais OPN + 32 mesures gamma, dont
14 pour la planche d'essai et 18 contrôle en continu, soit
1 mesure tous les 2700 m³



Sur les 18 contrôles :

Densification : $98 \% < D < 110 \%$

Teneur en eau : 20 % conformes et pour 80 %

$8,7 \% < W < 15,6 \%$ pour $18 \% < W_{opn} < 19,5 \%$

Digue Barriol (2007)

Synthèse

Amélioration sensible du cahier des charges

Écart sensible entre les prescriptions et la mise en œuvre effectives des contrôles externes (expliqué partiellement par l'homogénéité du gisement)

Objectif de densification privilégié à la teneur en eau

Mise en œuvre des matériaux trop secs (après avoir mis beaucoup de moyens pour assécher les matériaux, l'entreprise a limité des moyens pour les ré-humidifier)

Digue Barriol (2007) – 10 ans après

Investigations menées dans le cadre des EDD :

- 6 sondages carottés inclinés dans le masque étanche avec EI
- identification pour confirmer la classification A2
- densité sèche et essais OPN pour évaluer a posteriori la compacité
- mesures HET pour évaluer la résistance à l'érosion de conduit

Résultats

$13,5 \% < W_{OPN} < 17,7 \%$ contre $18 \% < W_{OPN} < 19,5 \%$

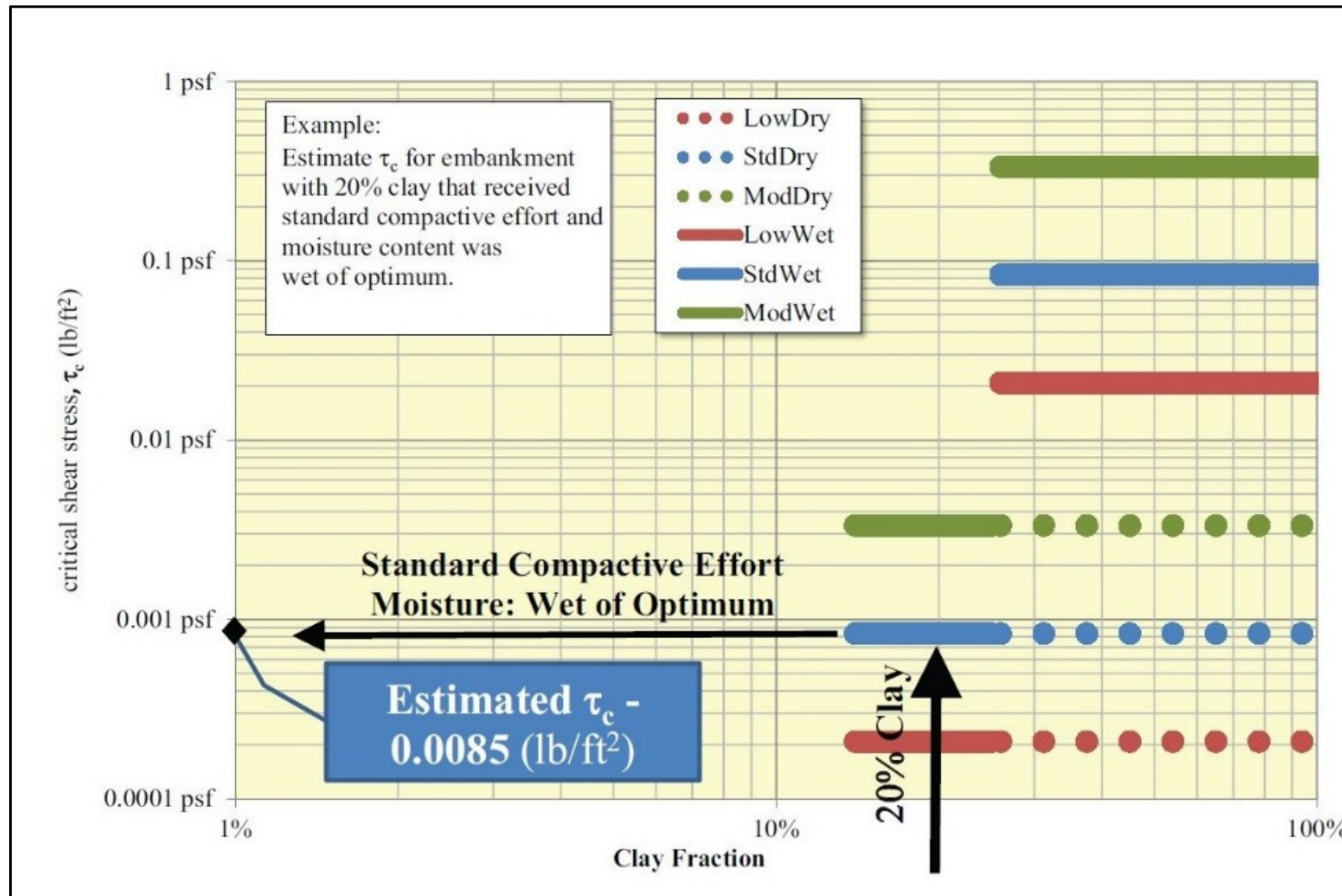
3 prélèvements :

- $10 < \tau_c < 40$ Pa et $2,8 < I_e < 3,6$ pour $19 < 2\mu < 25 \%$
- $0,88D_{OPN} < D < 0,94D_{OPN}$

3 prélèvements :

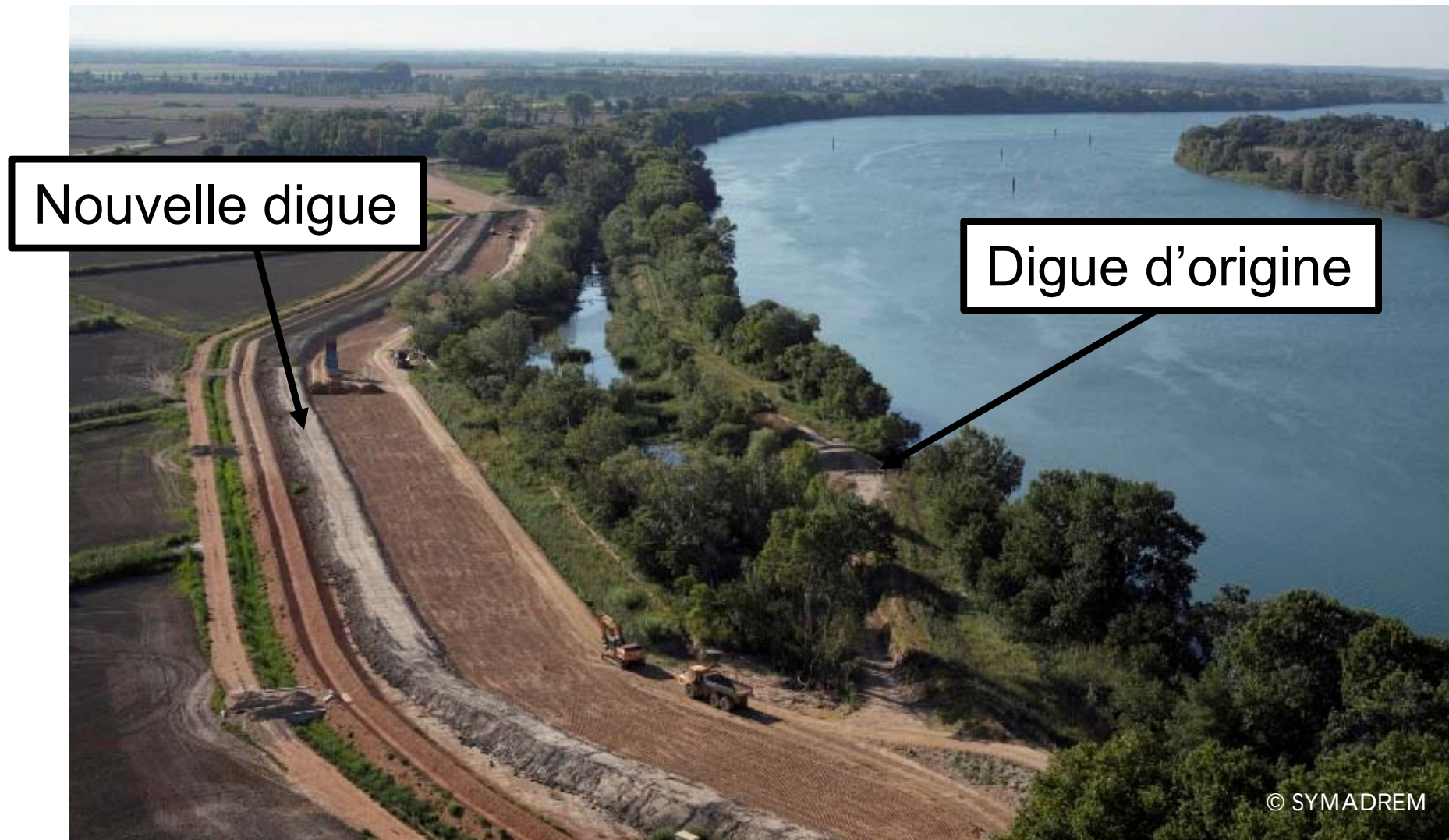
- $160 < \tau_c < 350$ Pa et $3,8 < I_e < 4,2$ pour $30 < 2\mu < 40 \%$
- $1,02D_{OPN} < D < 1,12D_{OPN}$

Digue Barriol (2007) – 10 ans après



Hanson, G. J., D. M. Temple, S. L. Hunt, R. D. Tejral. 2011. Development and Characterization of Soil Material Parameters for Embankment Breach Applied Engineering in Agriculture. 27(4): 587-595.

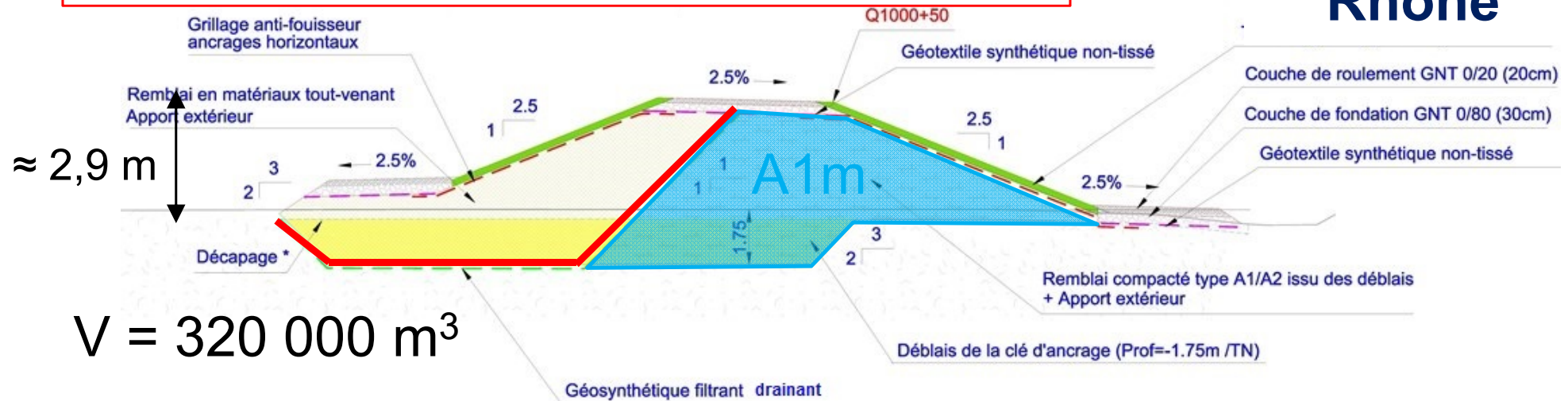
Digue Sud d'Arles (2016)



Digue Sud d'Arles (2016)

Filtration digue et fondation = géocomposite

Rhône



$$V = 320\,000 \text{ m}^3$$



Digue Sud d'Arles (2016)

CCTP $\approx$ CCTP Barriol + compacteur pied d'ameurs

DOE $\approx 1 \text{ m}^3$

Programme G3

- 1 identification simplifiée (granulo + Vbs) tous les 1500 m^3
- 1 identification complète (granulo + IP) + sédimento + OPN tous les 4500 m^3
- Mesures quotidiennes au gamma-densimètre tous les 50 ml de digue
- Teneurs en eau quotidienne

BE en charge des études d'exécution : agrément OH

MOE titulaire d'une mission G4 + recours contrôle extérieur

Synthèse : réalisation $\approx$ prescriptions CCTP

Digue Beaucaire-Fourques (2018)

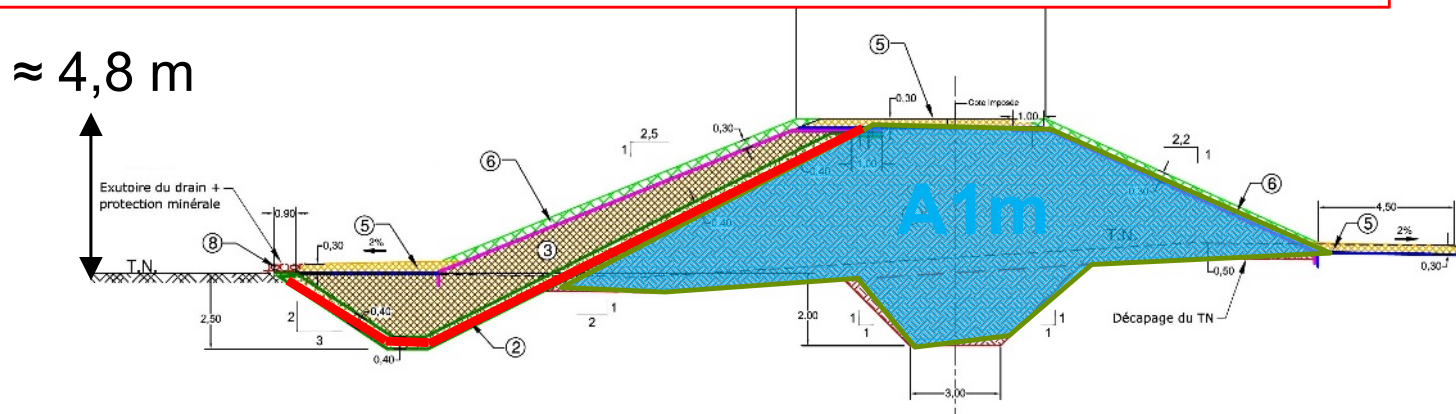


Digue Beaucaire-Fourques (2018)

Filtration digue et fondation = géotextile + graviers

Rhône

$$V = 540\,000 \text{ m}^3$$



Digue Beaucaire-Fourques (2018)

CCTP $\approx$ CCTP digue sud

DOE $\approx 1 \text{ m}^3$

BE en charge des études d'exécution : agrément OH

MOE

Prestataire externe : mission G4 + contrôle extérieur

Digue Beaucaire-Fourques (2018)

Programme G3

- 1 identification + sédimento + MO tous les 2500 m³ (1180)
- 1 essai OPN tous les 2500 m³ (1410)
- 1 teneur en eau tous les 200 m³ (115)
- 1 mesure au gamma-densimètre tous les 200 m³ (125)
- 1 panda tous les 40 ml sur 1 m (contrôle de 3 couches) (20)

Objectif de densification adapté au début du chantier

$D \geq 95 \% D_{OPN}$ sur 100 %

$W_{opn} < W < W_{opn} + 3 \%$ avec tolérance 20 % W_{opn} $W > W_{opn} - 1 \%$

Mesure W à l'étuve

Digue Beaucaire-Fourques (2018)



Conclusion

Objectif de densification

$D \geq 95 \% D_{OPN}$ sur 100 %

$W_{opn} < W < W_{opn} + 2(3) \%$ avc tolérance 20 % $W_{opn} W > W_{opn} -1 \%$

Programme G3

- 1 identification + MO + 1 OPN tous les 5000 m³ en préparation et tous les 5000 m³ en exécution
- 1 mesure au gamma-densimètre + W à l'étuve tous les 200 m³
- 1 panda tous les 50 ml tous les 3 couches (contrôle épaisseur et homogénéité (l'homogénéité est conditionnée par une chute de résistance de pointe à l'interface entre 2 couches inférieure à 20 % sur une hauteur inférieure à 10 cm)
- 1 sédimento (3 tous les 200 ml (tiers inf./méd./sup. => EDD)

Conclusion

Organisation

- EXE par entreprise et BE EXE titulaire de l'agrément OH
- MOE titulaire d'une mission G4
- Contrôle extérieur sous direction du MOE

Obligations sur le matériel

- Tombereau d'approvisionnement
- bulldozer équipé de système de guidage 3D
- Arroseuse enfouisseuse (arrosage à la carpe proscrit)
- Pulvimixeur pour malaxage et homogénéité de la teneur en eau
- Compacteur à pieds dameurs (compacteur lisse proscrit même avec scarification) équipé de GPS pour contrôle du Q/S



Merci de votre attention...