



DIRECTION REGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'AMENAGEMENT ET DU
LOGEMENT NORD - PAS-DE-CALAIS

Caractérisation des aléas d'inondation d'origine continentale sur le polder des Wateringues

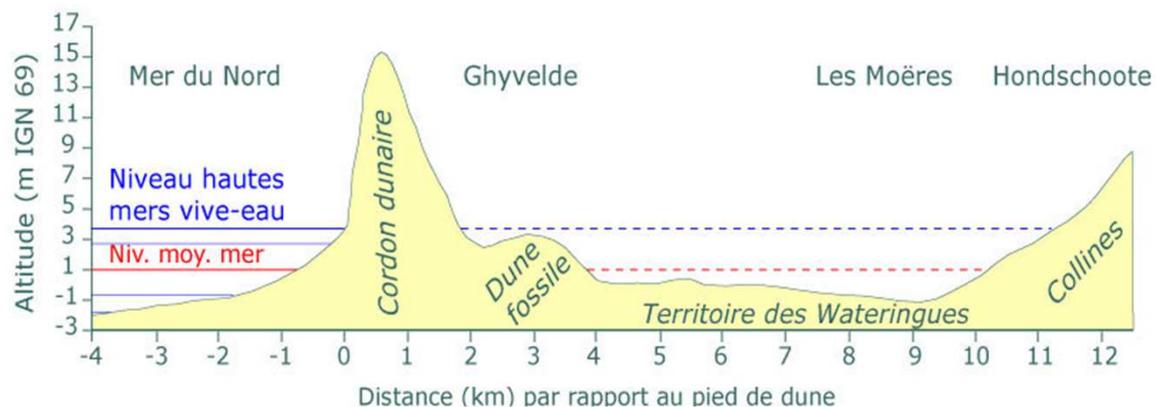
**Réunion du GT2 Wateringues
en CLE du SAGE delta de l'Aa
7 juin 2013**



- ❑ **Rappel du contexte général et de la démarche engagée**
- ❑ **Présentation des études des ruissellements DDTM 59 & 62**
- ❑ **Présentation de l'étude des débordements DREAL-HYDRATEC :**
 - Principes de modélisation
 - Hypothèses et scénarios
 - Résultats et conclusions
 - Pistes d'application
 - Prochaines étapes

Rappel du contexte général

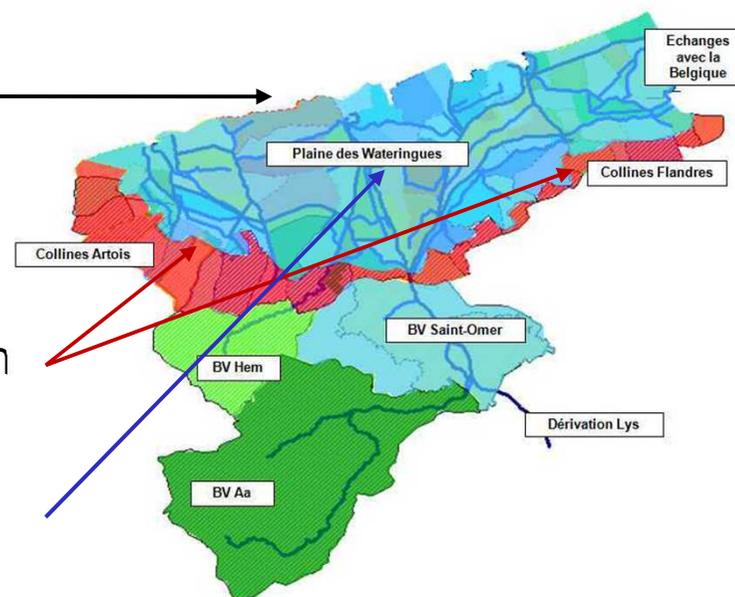
□ Un territoire soumis au risque inondation de plusieurs façons :



○ par submersion marine

○ par les eaux continentales :

- ruissellements et accumulation en pieds de coteaux
- débordement des voies d'eau





Rappel du contexte général et de la démarche engagée

Présentation de l'étude – principes de modélisation

Présentation de l'étude - hypothèses et scénarios

Présentation de l'étude – résultats et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Rappel du contexte général

- Face au risque d'inondations continentales, de nombreux ouvrages hydrauliques :

- système complexe de drainage et d'évacuation des eaux continentales, gravitaire et par pompage

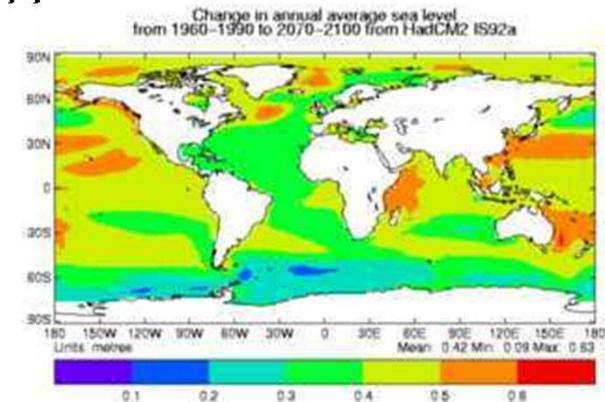


Rappel du contexte général

□ Un manque de connaissance du risque et une aggravation pressentie, en raison :

- du changement climatique :
montée du niveau de la mer
→ limite les capacités d'évacuation
→ surcoûts électriques

- du développement de l'urbanisation
en périphérie des centres urbains,
→ ruissellements & pompages accrus
→ exposition au risque accrue





Rappel du contexte général et de la démarche engagée

Présentation de l'étude – principes de modélisation

Présentation de l'étude - hypothèses et scénarios

Présentation de l'étude – résultats et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Rappel de la démarche engagée

- ❑ **Fin 2007 : Mandat des préfets du Nord et du Pas-de-Calais au sous-préfet de Dunkerque** pour accompagner les acteurs des Wateringues dans une démarche de développement durable
- ❑ **Octobre 2008 : Courrier du Ministre d'Etat Borloo « favorable au financement d'un programme de mesures global de gestion des inondations sur les wateringues. ... [il] insiste toutefois fortement sur le fait qu'un frein immédiat doit être mis à l'urbanisation de la zone qui se fait actuellement sans contrainte et qui rend ainsi plus graves les conséquences d'une inondation. »**
- ❑ **Quatre groupes de travail mis en place fin 2008** avec pour objet :
 - l'amélioration de la coordination de la gestion hydraulique (GT1)
 - **la prise en compte des risques d'inondation (GT2)**
 - l'évolution de la gouvernance et du financement (GT3)
 - l'évolution des pratiques d'entretien des voies d'eau (GT4)



Rappel du contexte général et de la démarche engagée

Présentation de l'étude – principes de modélisation

Présentation de l'étude - hypothèses et scénarios

Présentation de l'étude – résultats et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Rappel de la démarche engagée

- **Démarche engagée pour améliorer et partager la connaissance du risque inondation**, et apporter des réponses adaptées pour l'aménagement du territoire, la gestion de crise et la gestion des ouvrages hydrauliques
- **Plusieurs actions menées en parallèle** mais qui seront mises en commun :
 - étude de l'aléa inondation par submersion marine (DREAL - DHI)
 - travail sur l'aléa inondation par ruissellements et accumulation en pieds de coteaux (DDTM 59&62, à partir des constats de terrain)
 - étude de l'aléa inondation par débordement des voies d'eau (DREAL - HYDRATEC)



Rappel de la démarche engagée

•La directive inondation :

Cartographier les risques pour 3 types de crues :

- fréquentes (10 à 30 ans), correspondant au dimensionnement des ouvrages hydrauliques classiques
- moyennes (au moins 100 ans), *a priori* pour appréhender l'aménagement du territoire et la gestion de crise
- exceptionnelles, *a minima* pour sensibiliser le territoire aux inondations potentielles maximales

Rappel du contexte général et de la démarche engagée

Présentation de l'étude – principes de modélisation

Présentation de l'étude - hypothèses et scénarios

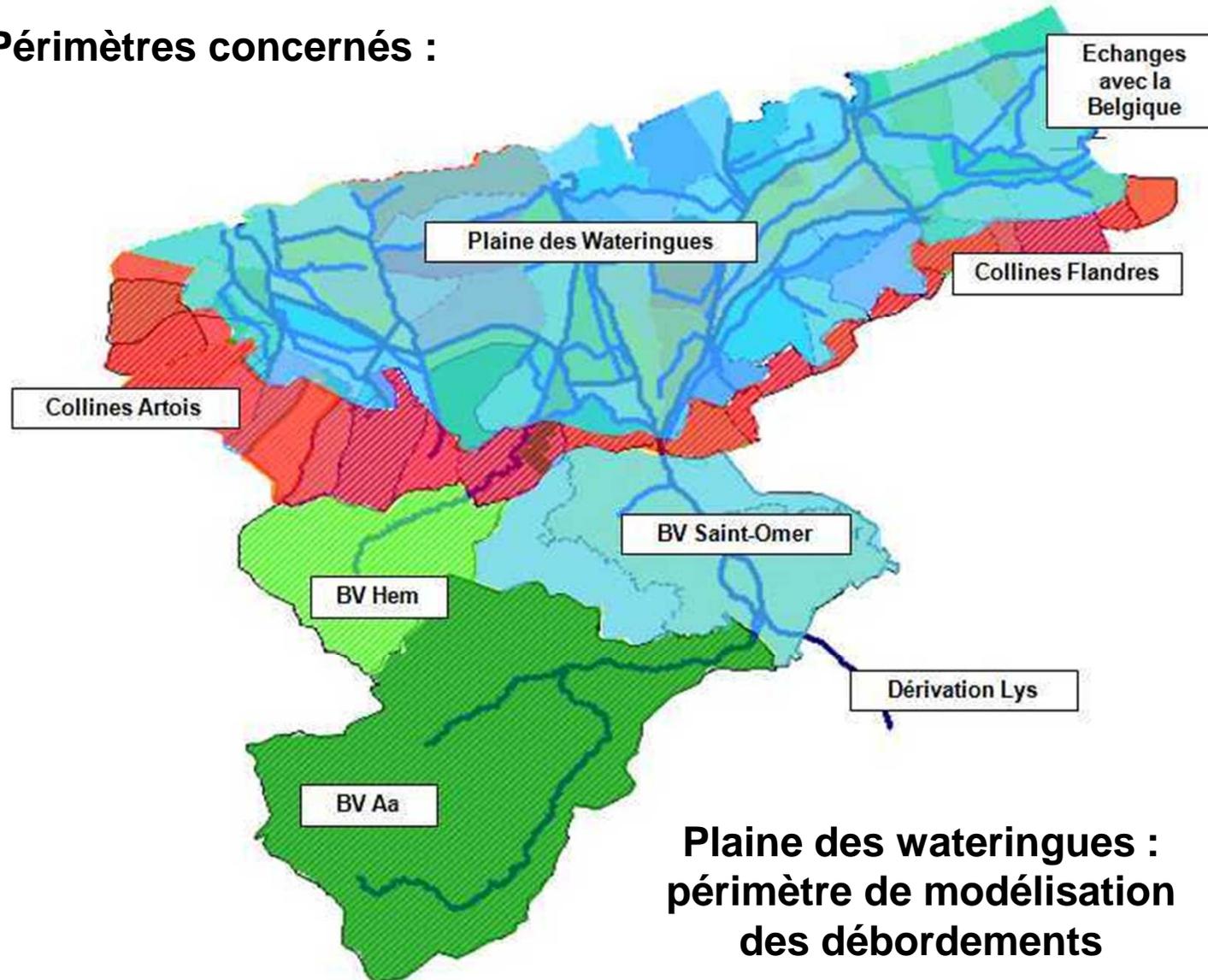
Présentation de l'étude – résultats et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Rappel de la démarche engagée

□ Périmètres concernés :



Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes



- ❑ **Rappel du contexte général et de la démarche engagée**
- ❑ **Présentation des études des ruissellements DDTM 59 & 62**
- ❑ **Présentation de l'étude des débordements DREAL-HYDRATEC :**
 - Principes de modélisation
 - Hypothèses et scénarios
 - Résultats et conclusions
 - Pistes d'application
 - Prochaines étapes



- ❑ **Rappel du contexte général et de la démarche engagée**
- ❑ **Présentation des études des ruissellements DDTM 59 & 62**
- ❑ **Présentation de l'étude des débordements DREAL-HYDRATEC :**
 - Principes de modélisation
 - Hypothèses et scénarios
 - Résultats et conclusions
 - Pistes d'application
 - Prochaines étapes

Evaluation des apports hydrauliques

□ Plusieurs types d'apports hydrauliques :

○ bassins versants amont de l'Aa et de la Hem

○ bassins versants amont des collines de l'Artois et de la Flandre

○ pluie sur les Wateringues et le bassin versant de Saint-Omer

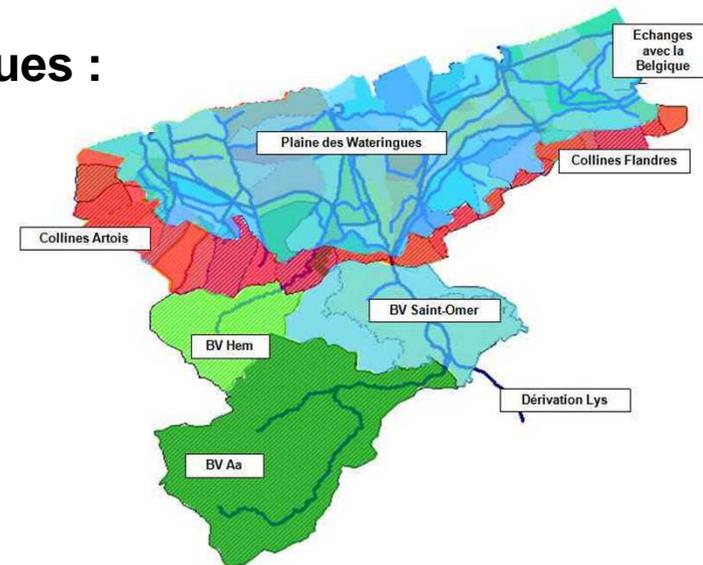
○ + apports « extérieurs » de la Belgique et par dérivation de la Lys

□ Méthode d'évaluation des apports :

○ analyses statistiques :

- des débits de crue de l'Aa et de la Hem
- des pluies à l'origine des crues (répartition spatiale et temporelle, avec prise en compte des derniers événements exceptionnels)

○ modèles de transformation pluies-débits



Modèle hydraulique

❑ Quatre types de modélisation hydraulique différents et adaptés pour représenter :

- l'accumulation des écoulements dans le marais Audomarois
- les principaux chenaux d'écoulements à l'aval de Watten (canaux et watergangs de catégorie 1)
- l'accumulation des écoulements dans les Wateringues
- les ouvrages d'évacuation à la mer

❑ Permet de simuler correctement, dans le cas de pluies de type hivernal étendues sur l'ensemble du territoire :

- Le fonctionnement hydraulique d'ensemble du système
- Les débordements généralisés des canaux et watergangs
- Les remontées de nappe généralisées liées à la saturation des watergangs





Rappel du contexte général et de la démarche engagée

Présentation de l'étude – principes de modélisation

Présentation de l'étude - hypothèses et scénarios

Présentation de l'étude – résultats et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Possibilités et limites du modèle

Ne simule pas :

- les submersions marines
- les ruissellements et l'accumulation en pieds de coteaux

Ne permet pas de simuler :

- la stagnation sur les parcelles, liée aux insuffisances des ouvrages de drainage (« fonds de champs » avec anciens watergangs remblayés)
- les débordements en zones urbaines liés aux remontées des niveaux des canaux dans les réseaux d'assainissement

Pas d'utilisation des cartographies produites à l'échelle de la parcelle



Rappel du contexte général et de la démarche engagée

Présentation de l'étude – principes de modélisation

Présentation de l'étude - hypothèses et scénarios

Présentation de l'étude – résultats et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Calage du modèle

- ❑ **Pertinence du modèle testée** en comparant avec le fonctionnement réel lors des épisodes de crues

- ❑ **Episode de novembre 2009** particulièrement intéressant en raison :
 - de la richesse des informations disponibles (débits des cours d'eau amont, hauteurs d'eau dans les canaux, fonctionnement des ouvrages, zones inondées)
 - des caractéristiques de l'événement :
 - caractère rare de la pluie (période de retour de l'ordre de 100 ans sur 8 jours)
 - conditions de marée et de surcote défavorables (période de mortes eaux moyenne à exceptionnelle et surcotes de 30 à 35 cm en moyenne)

4 Hypothèses



Rappel du contexte général et de la démarche engagée

Présentation de l'étude – principes de modélisation

Présentation de l'étude - hypothèses et scénarios

Présentation de l'étude – résultats et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Les pluies et les cours d'eau

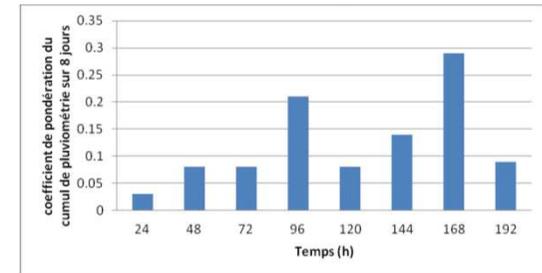
La mer et le vent

La gestion des ouvrages

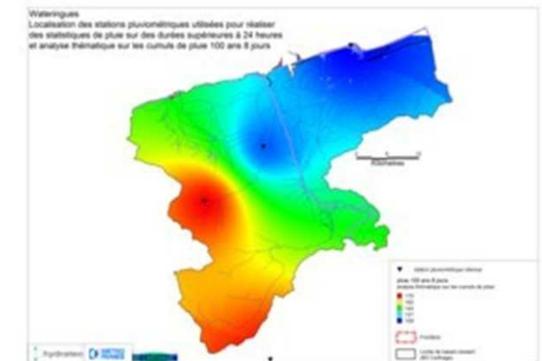
L'aléa technique (pannes)

Hypothèses – les pluies et les cours d'eau

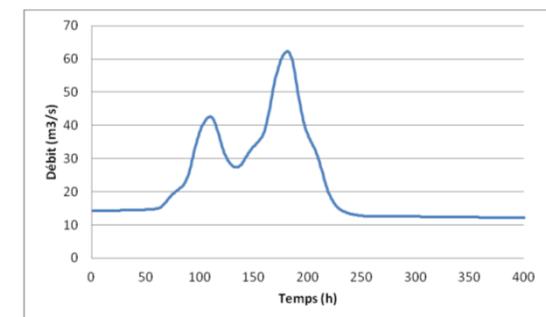
□ Pluies de type hivernal, durée totale 8 jours et durée intense 2 jours



□ Répartition spatiale de la pluie : fort contraste entre le secteur ouest et le secteur est



□ Débits des cours d'eau : hydrogrammes à deux pointes



Hypothèses – le vent et la mer

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

❑ **Le vent** : direction constante venant du sud-ouest pendant la période de pluie intense, avec pointe à 50 km/h

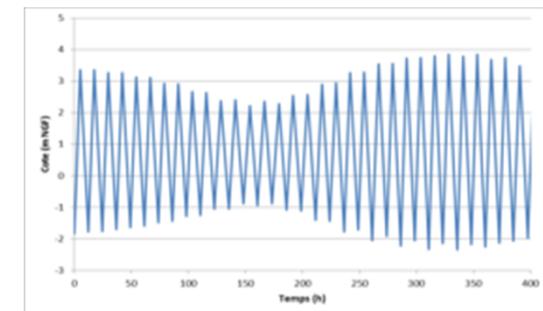
❑ **La mer** (condition limite aval) :

○ niveau moyen : deux types d'hypothèses en fonction des scénarios :

- niveau moyen actuel : +20cm par rapport au niveau de 1990 pour tenir compte de l'élévation déjà observée à ce jour, sans projection dans le futur ;
- niveau moyen futur (projection changement climatique 2100) : +60cm par rapport au niveau de 1990.



○ marée : coefficient de 48 (marée de mortes eaux moyennes - seuil à partir duquel l'évacuation gravitaire devient problématique)



Hypothèses – la gestion des ouvrages

- ❑ Reproduction des protocoles de gestion lorsqu'ils existent, y compris les échanges avec les wateringues belges (convention internationale)
- ❑ Sinon, reproduction des manœuvres réalisées pendant les crues,...
- ❑ ... dont le cas particulier de l'écluse de Watten : deux types d'hypothèses en fonction des scénarios : écluse fermée ou ouverte
- ❑ NB : Apport de la Lys à l'Aa canalisée via l'écluse des Fontinettes (2 m³/s en moyenne sur la durée de l'événement)



Hypothèses – l'aléa technique (pannes)

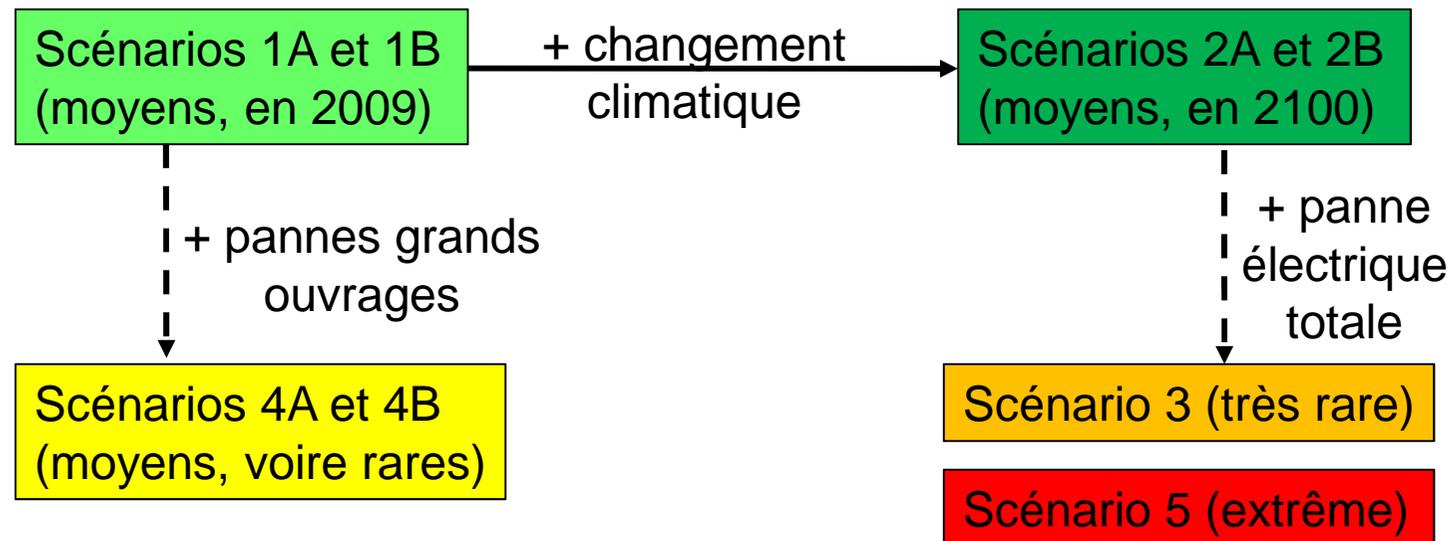


- ❑ 4 types d'hypothèses en termes de pannes de stations de pompage, en fonction des scénarios :
 - aucune panne (novembre 2009)
 - panne à 50% des ouvrages d'évacuation à la mer de l'IIW (par secteurs)
 - panne à 100% des ouvrages d'évacuation à la mer de l'IIW (par secteurs)
 - panne électrique généralisée, interruption de tous les pompages durant 15 jours (ouvrages d'évacuation à la mer de l'IIW et pompes des Sections)
- ❑ Remarque : ce risque s'accroît en période de tempêtes et de crues (sollicitation forte des ouvrages, noyage des machines, coupures de courant...)
- ❑ NB : Aucune hypothèse de dysfonctionnement des portes à la mer

Scénarios simulés

8 scénarios combinant ces différentes hypothèses ont été simulés :

- ❑ du scénario « moyen » (pluie centennale, sans panne, sans projection en termes de changement climatique) => type novembre 2009
- ❑ au scénario « extrême » (pluie millennale, panne électrique totale , projection à 2100 en termes de changement climatique)



Scénarios simulés

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

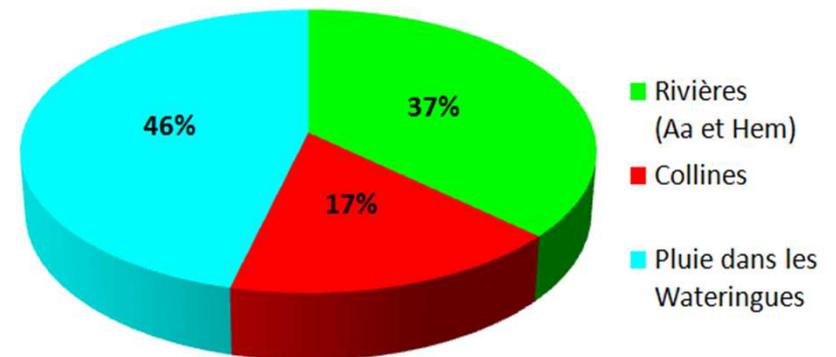
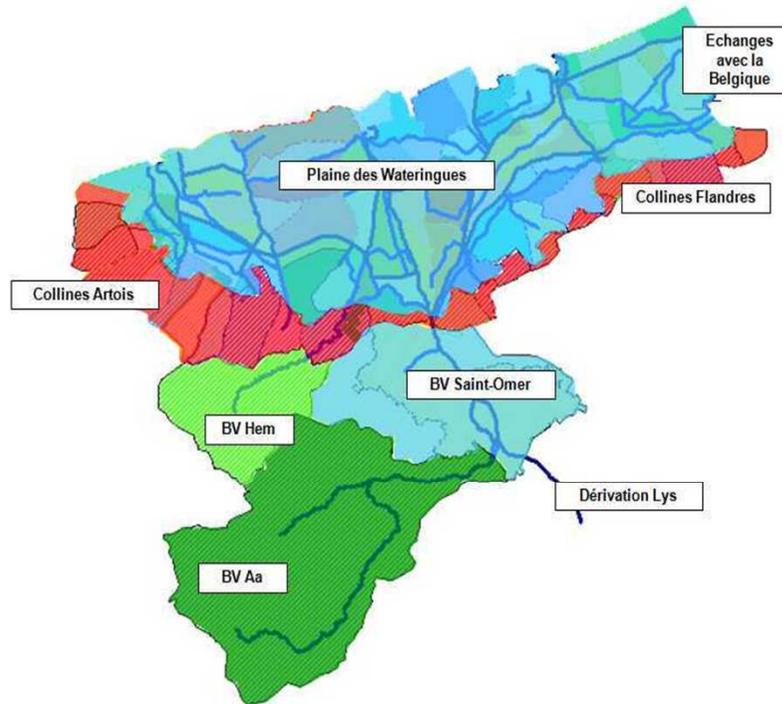
Pistes d'application

Prochaines étapes

Scénario	Pluie	Elévation niveau marin	Aléa technique	Renforcement du maillage de Watten (+20m3/s)
Scénarios de base				
1a	100 ans	+20cm	Tous les ouvrages OK	Non
1b	100 ans	+20cm	Tous les ouvrages OK	Oui
2a	100 ans	+60cm	Tous les ouvrages OK	Non
2b	100 ans	+60cm	Tous les ouvrages OK	Oui
Scénarios complémentaires				
3	100 ans	+60cm	Panne électrique totale (ouvrages IIW et sections)	Non
4a	100 ans	+20cm	Panne 50% (ouvrages IIW)	Oui/non
4b	100 ans	+20cm	Panne 100% (ouvrages IIW)	Oui/non
5	1000 ans	+60cm	Panne électrique totale (ouvrages IIW et sections)	Non

Scénario de base (1B) (type novembre 2009)

□ Répartition des volumes par types d'apport :



→ Les apports par les pluies sur les Wateringues sont prépondérants

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

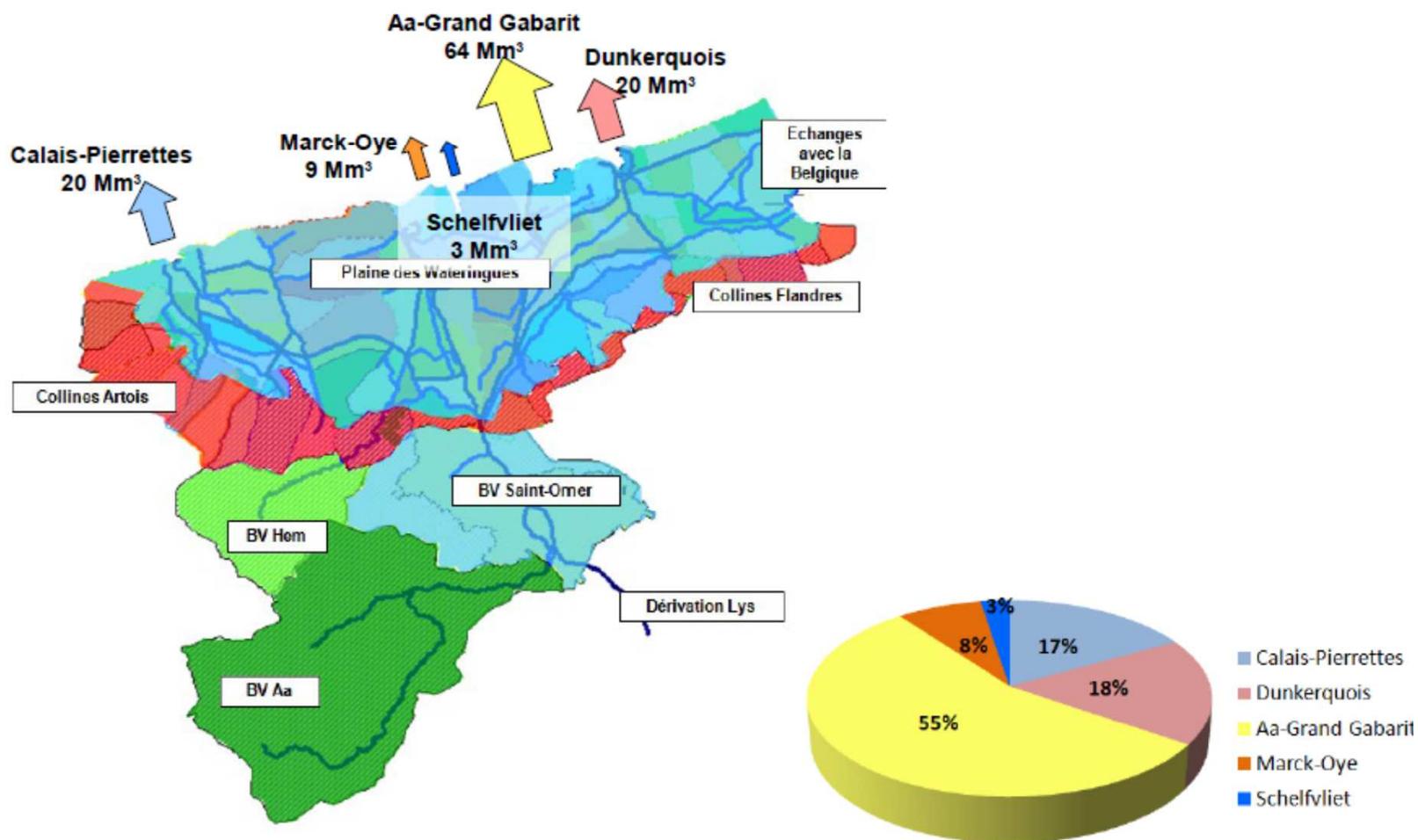
Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Scénario de base (1 B) (type novembre 2009)

❑ Répartition des volumes reçus et évacués par secteurs (sur 2 semaines) :

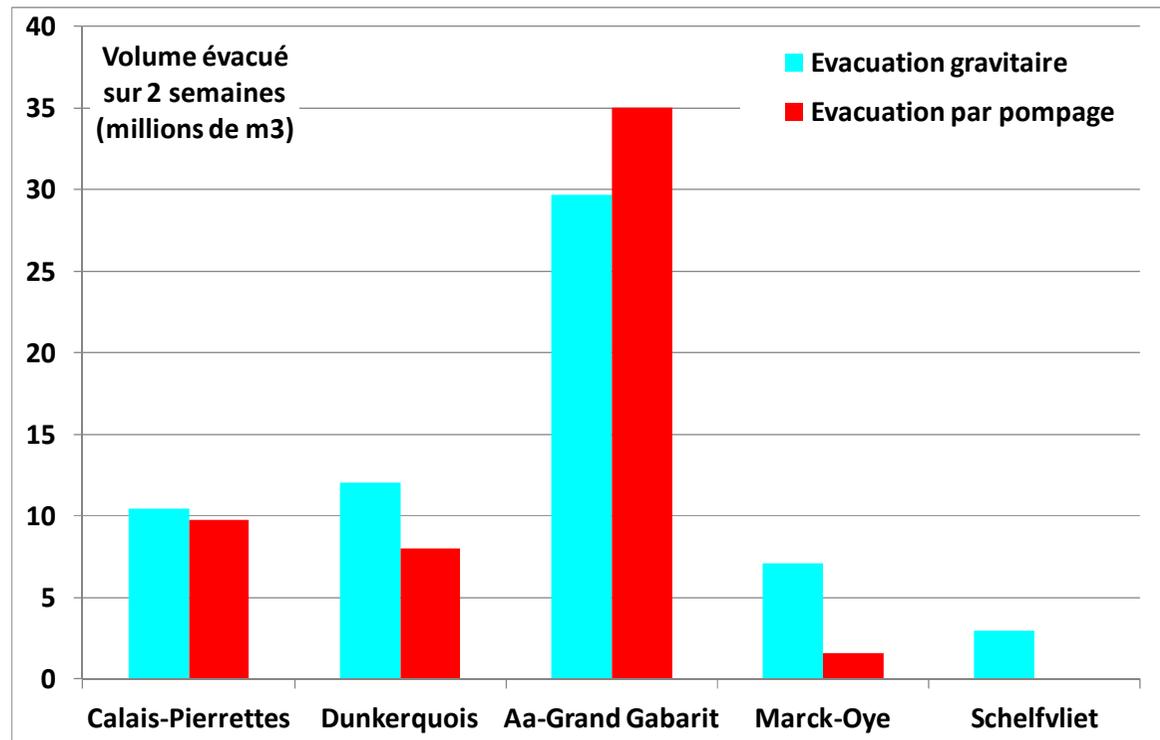


Scénario de base (1B) (type novembre 2009)

Fonctionnement des ouvrages : (116 Mm³ évacués à la mer)

53% des eaux évacuées gravitairement (62 Mm³)

47% par pompage (54 Mm³)



→ **Le système de pompage évacue près de 50% des volumes**

Rappel du contexte général et de la démarche engagée

Présentation de l'étude – principes de modélisation

Présentation de l'étude - hypothèses et scénarios

Présentation de l'étude – résultats et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

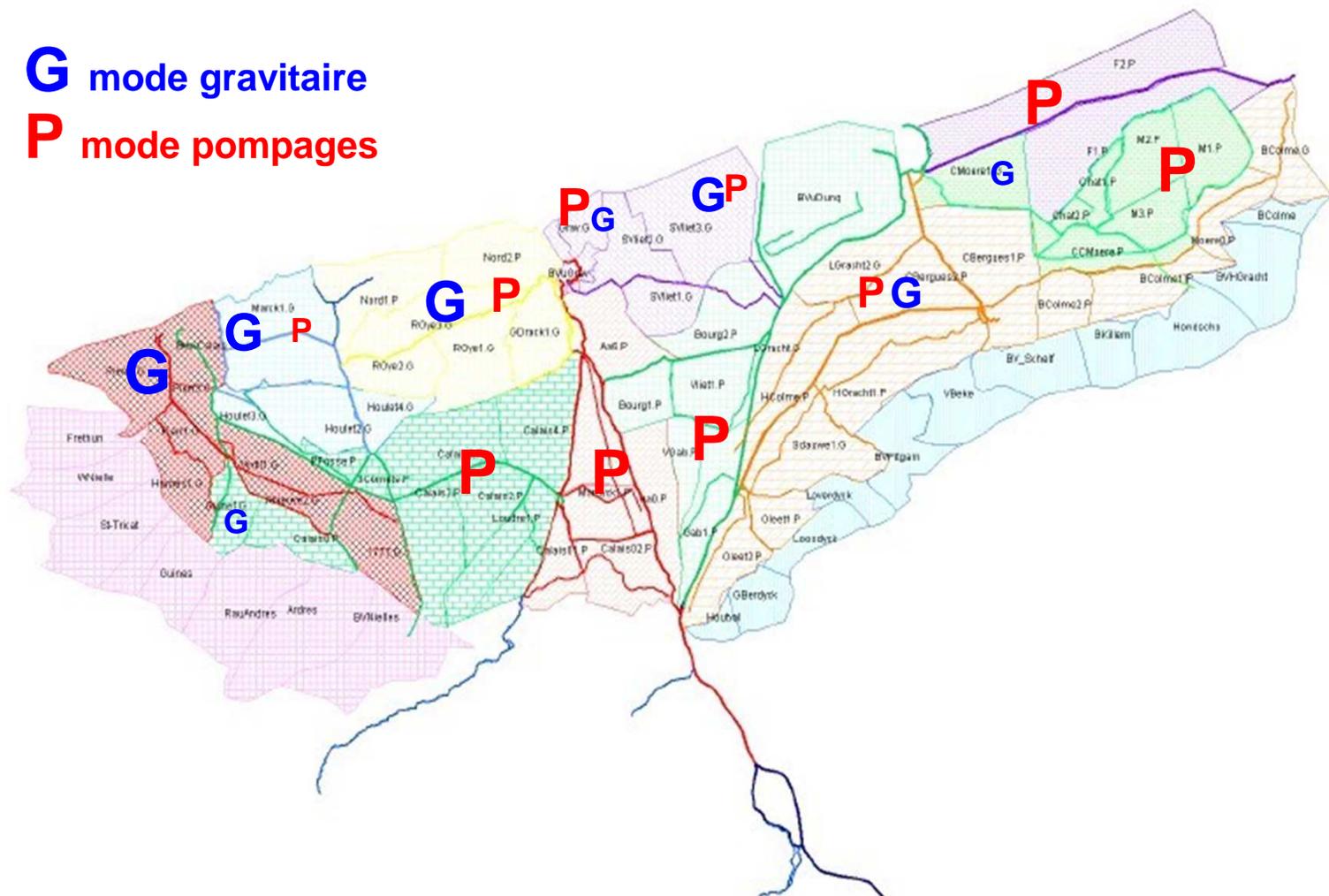
Scénario de base (1B) (type novembre 2009)

Apport des sections de wateringués

- Mode d'évacuation des eaux vers les canaux principaux :
gravitairement dans certaines zones, par pompage dans d'autres

G mode gravitaire

P mode pompages



Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes



Direction régionale
de l'Environnement,
de l'Aménagement
et du Logement
NORD-PAS-DE-CALAIS

Scénario de base (1B) (type novembre 2009)

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

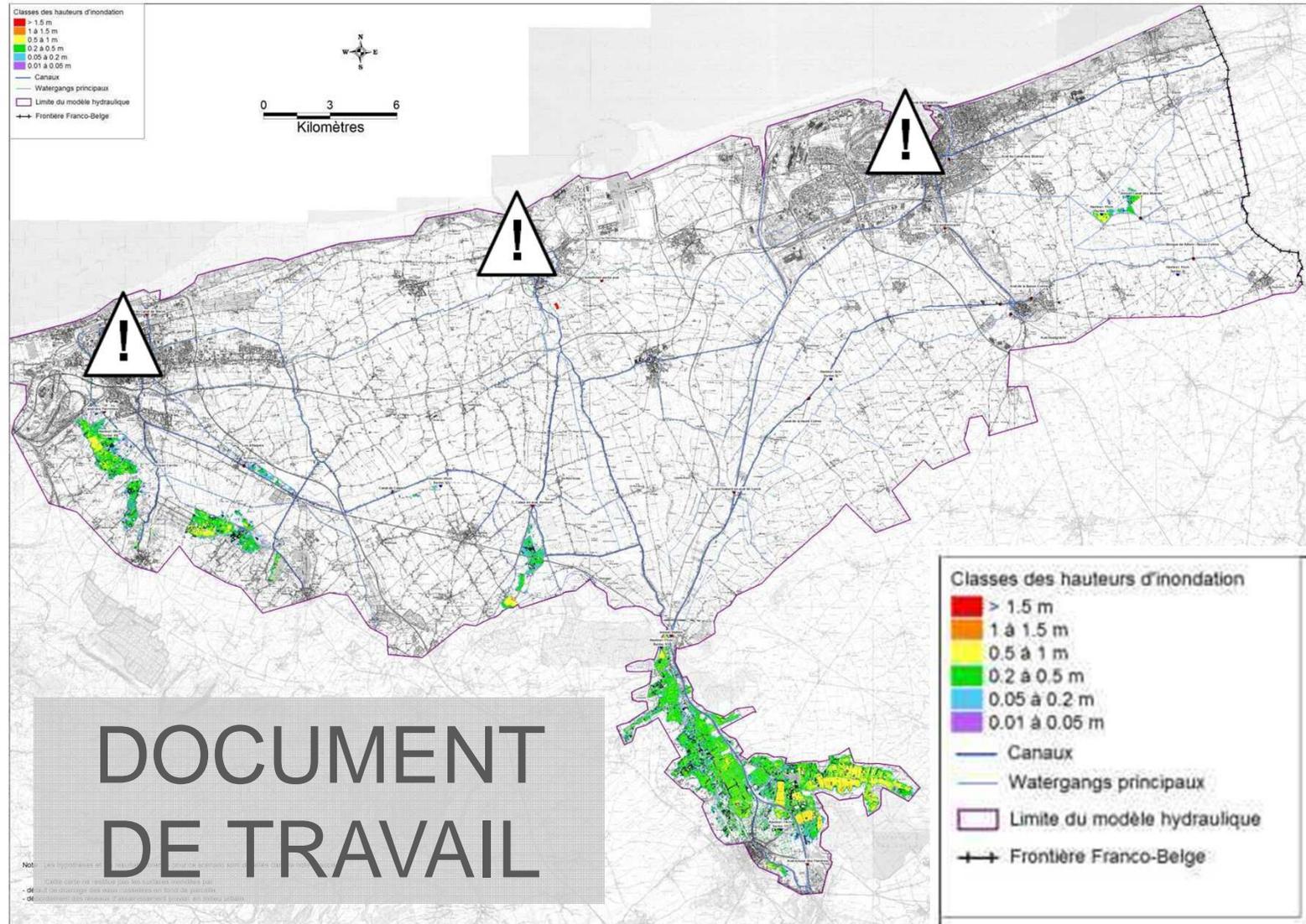
Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes



Scénario de base (1B) (type novembre 2009)

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

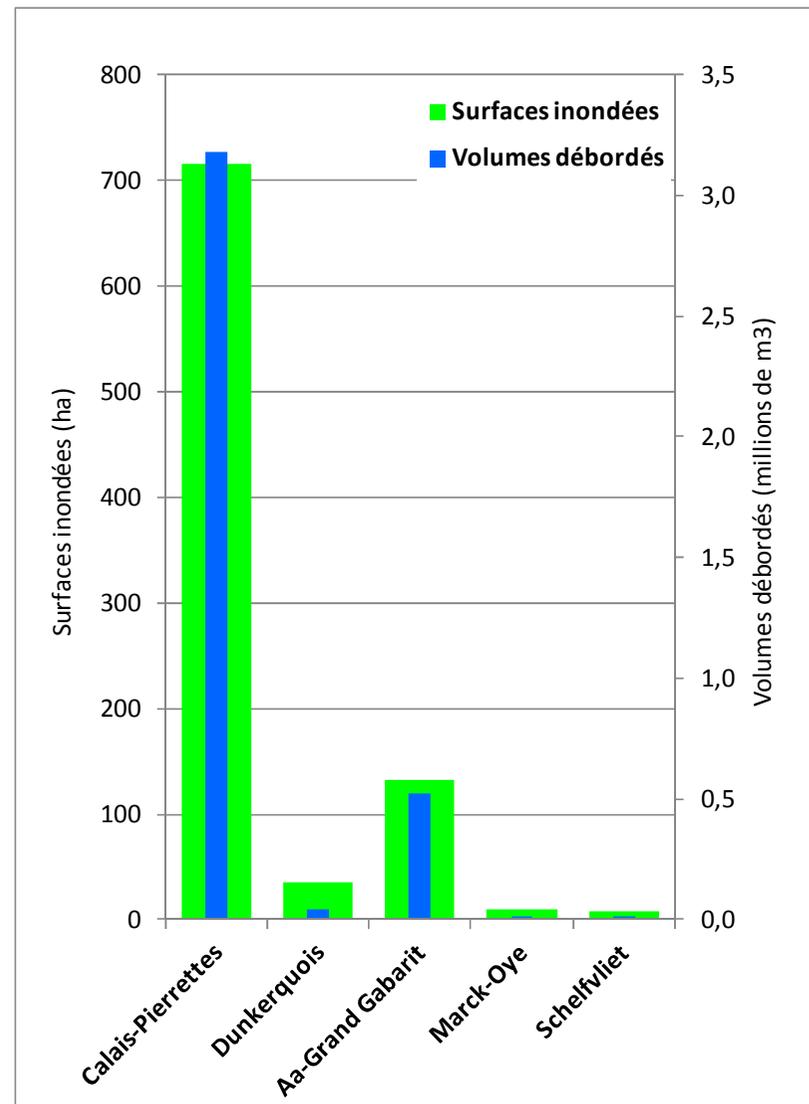
Prochaines étapes

Inondations :

Marais Audomarois :
14,36 Mm³ stockés
sur 2 312 ha

Hors marais Audomarois :
3,77 Mm³ débordés
902 ha inondés

→ **Hors marais Audomarois,
les volumes débordés et les
surfaces inondées sont
concentrés sur le secteur du
Calaisis**





Direction régionale
de l'Environnement,
de l'Aménagement
et du Logement
NORD-PAS-DE-CALAIS

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

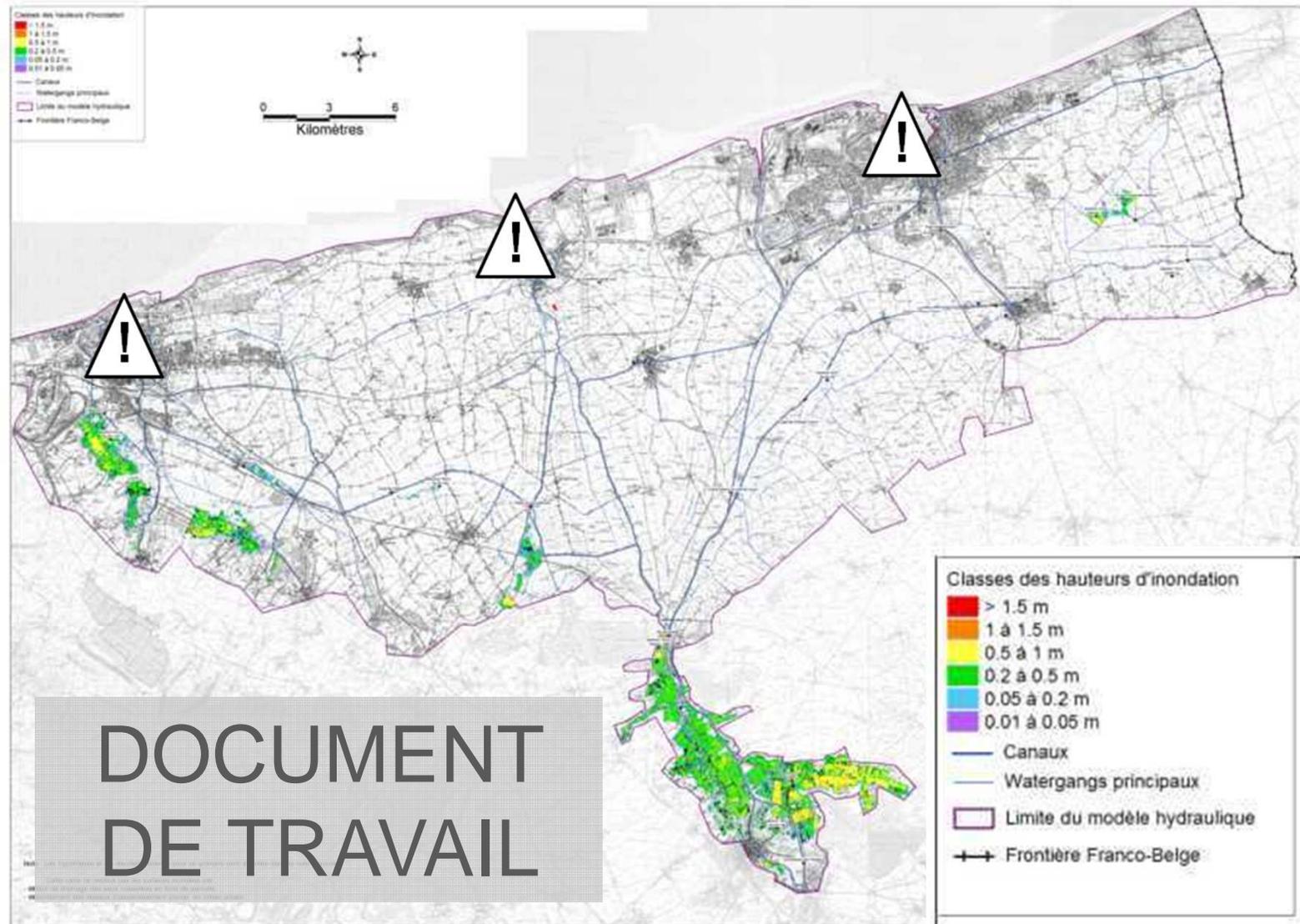
Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Impact de la hausse du niveau de la mer

Scénario 2B (hors pannes)



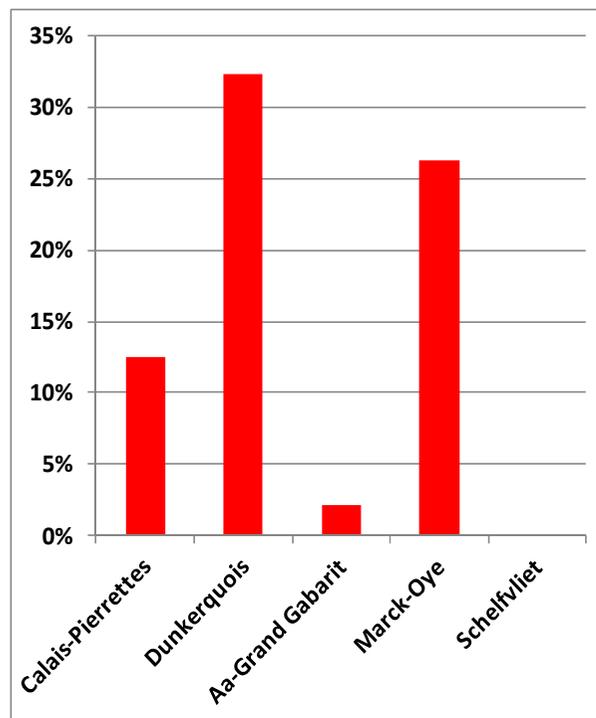
Impact de la hausse du niveau de la mer / volumes pompés

Scénario 2B (hors pannes)

Volumes pompés en+ par rapport au scénario de base (novembre 2009) :

+9,86 Mm³

soit **+18%**



→ **Impact significatif de la hausse du niveau marin sur les volumes pompés**

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Impact de la hausse du niveau de la mer / volumes et surfaces



Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

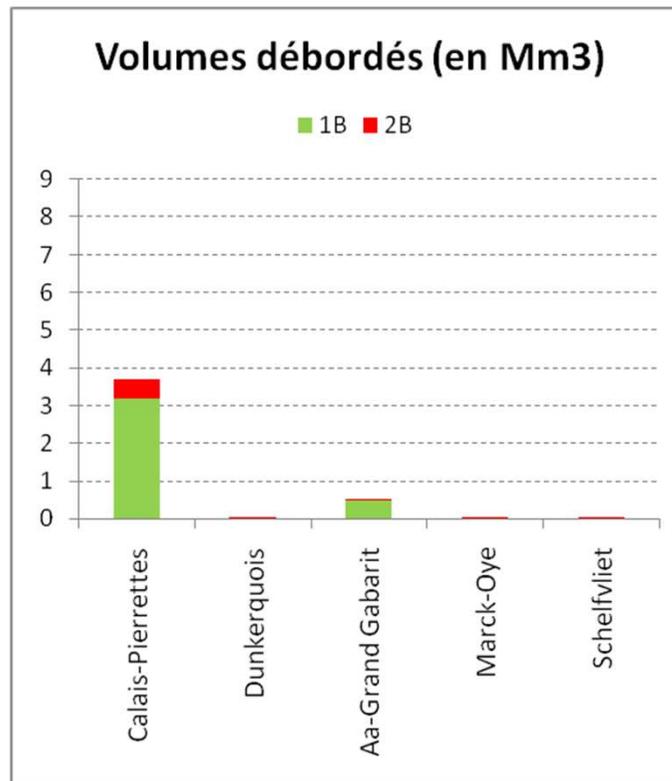
Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

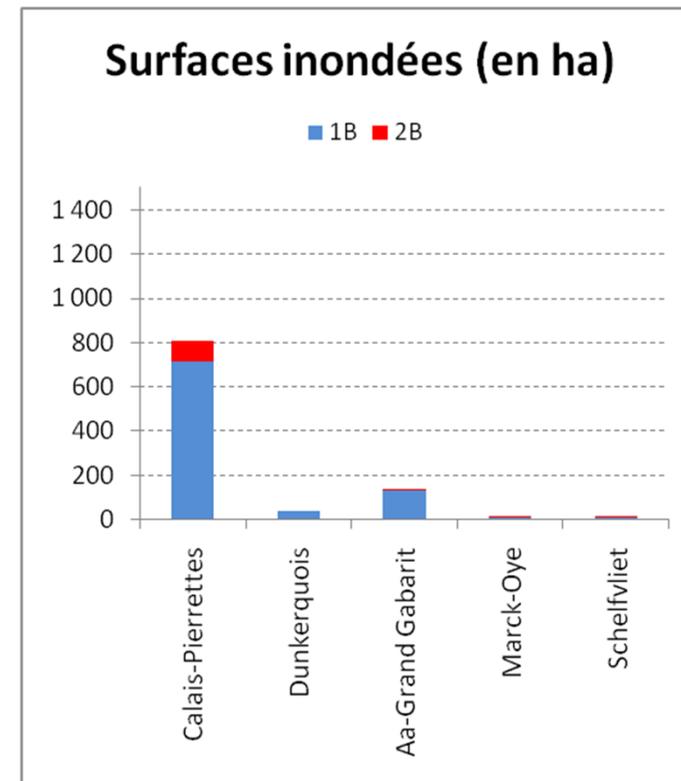
Prochaines étapes

Scénario 2B (hors pannes)

Volumes débordés en+ :
+0,57 Mm³ soit +15%



Surfaces inondées en+ :
+105 ha soit +12%



Marais Audomarois : 15,12 Mm³ stockés (+5%) sur 2 357 ha (+2%)

→ Impact significatif de la hausse du niveau marin



Direction régionale
de l'Environnement,
de l'Aménagement
et du Logement
NORD-PAS-DE-CALAIS

Impact d'une panne partielle des pompages à la mer

Scénario 4A

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

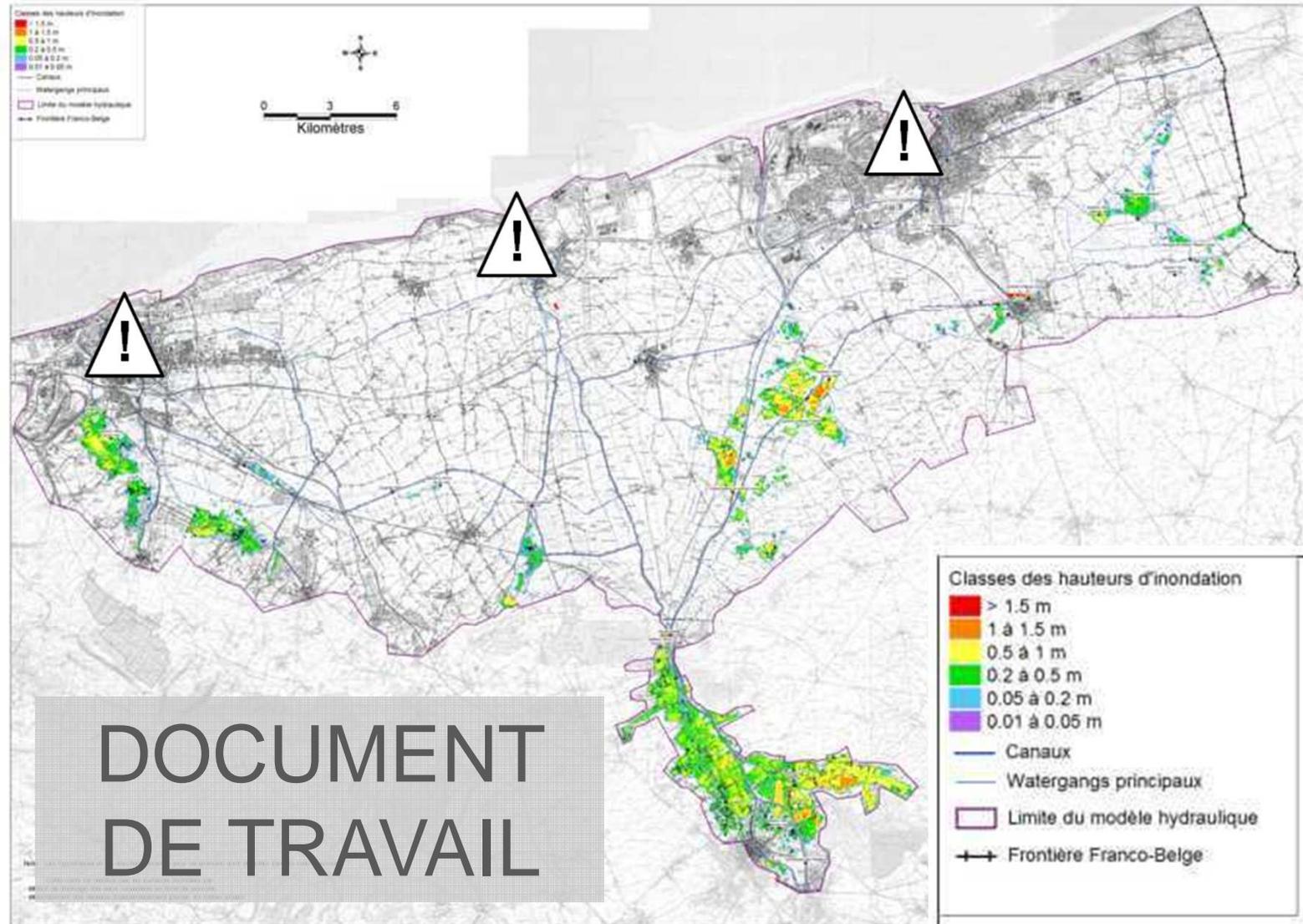
Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes



Impact d'une panne partielle des pompages à la mer

Scénario 4A

Volumes débordés en+ :
+9,1 Mm³ soit +240%

Surfaces inondées en+ :
+1 277 ha soit +140%

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

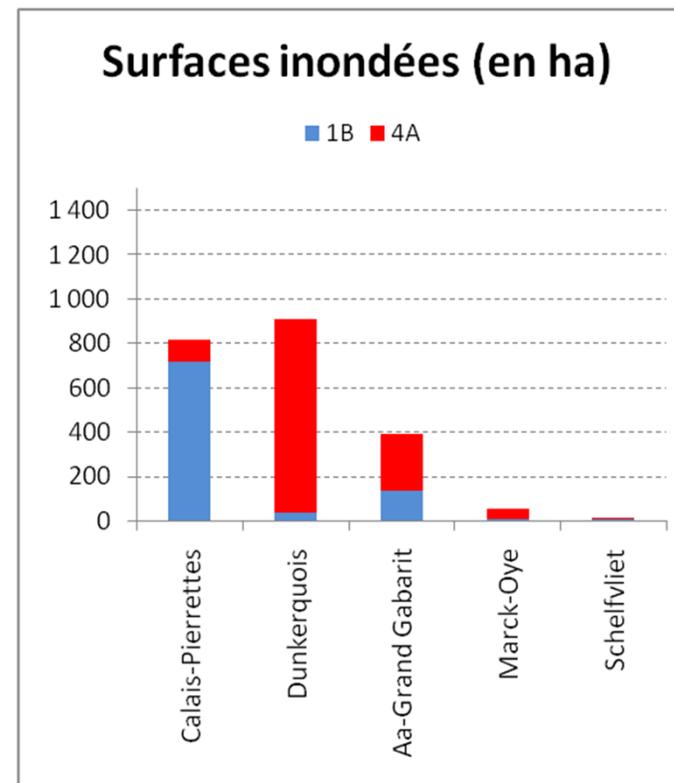
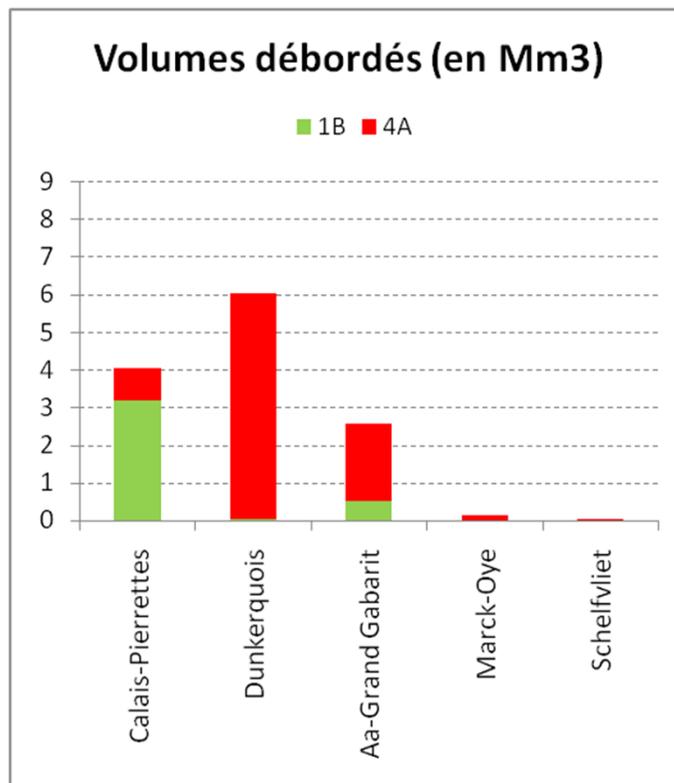
Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes



Marais Audomarois :
19,9 Mm³ stockés (+38%)
sur 2 596 ha (+12%)

→ **Fort impact des pannes partielles, surtout sur le Dunkerquois et Aa - Grand Gabarit**



Direction régionale
de l'Environnement,
de l'Aménagement
et du Logement
NORD-PAS-DE-CALAIS

Impact d'une panne totale des pompages à la mer

Scénario 4B

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

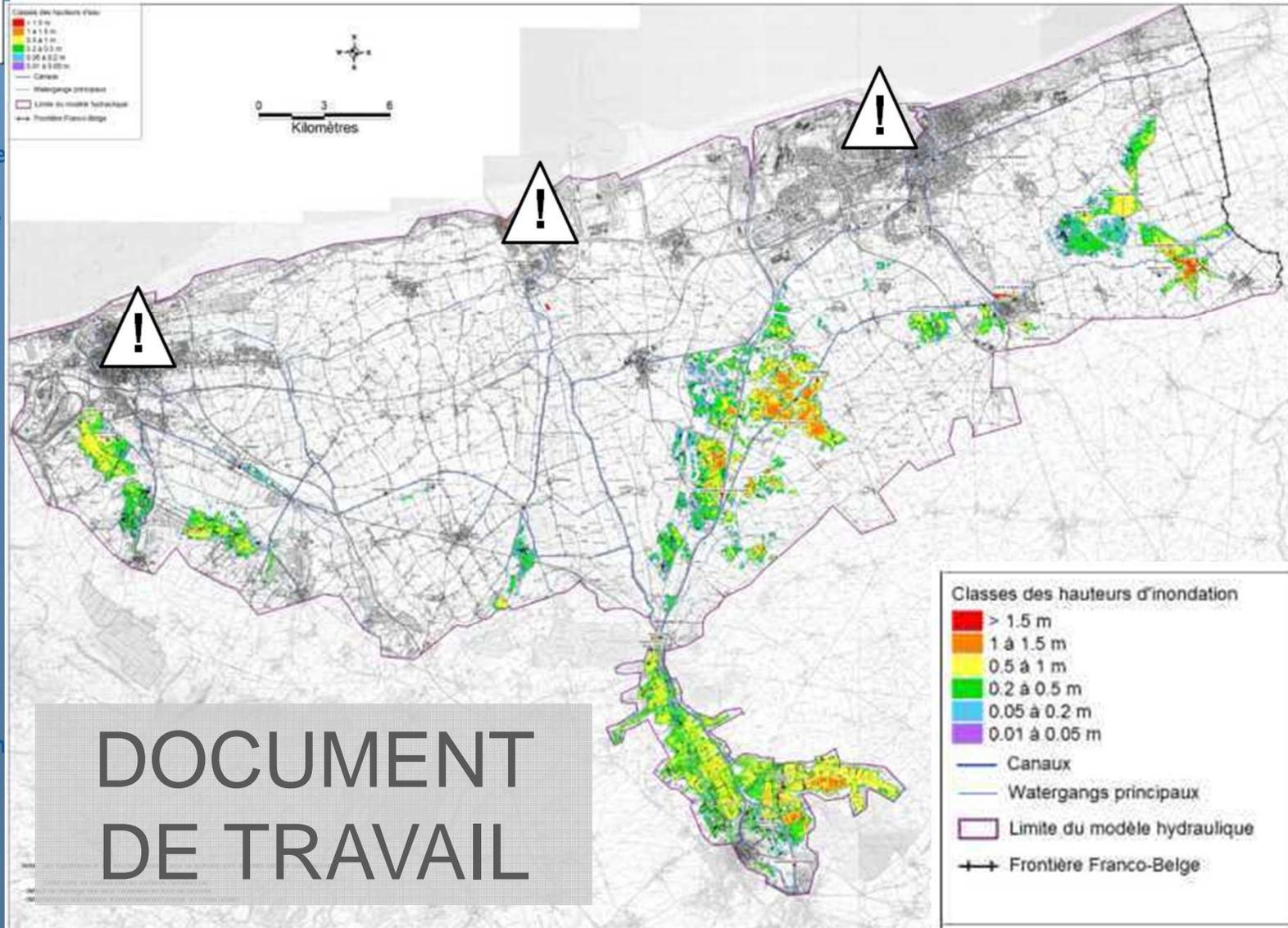
Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes



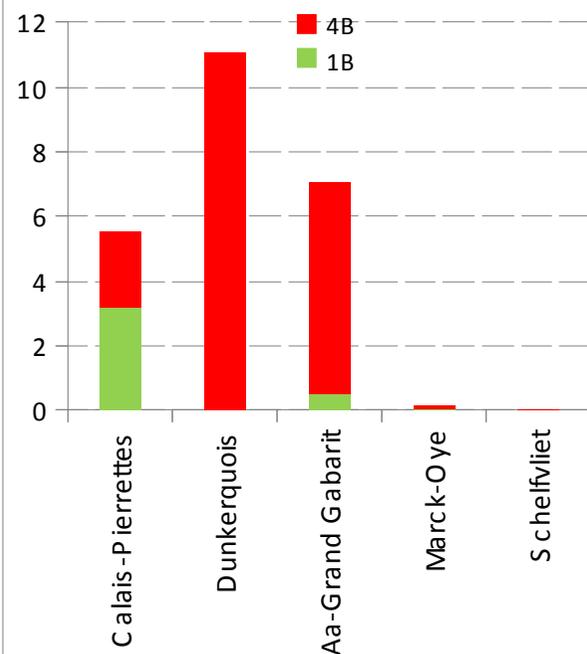
Impact d'une panne totale des pompages à la mer

Scénario 4B

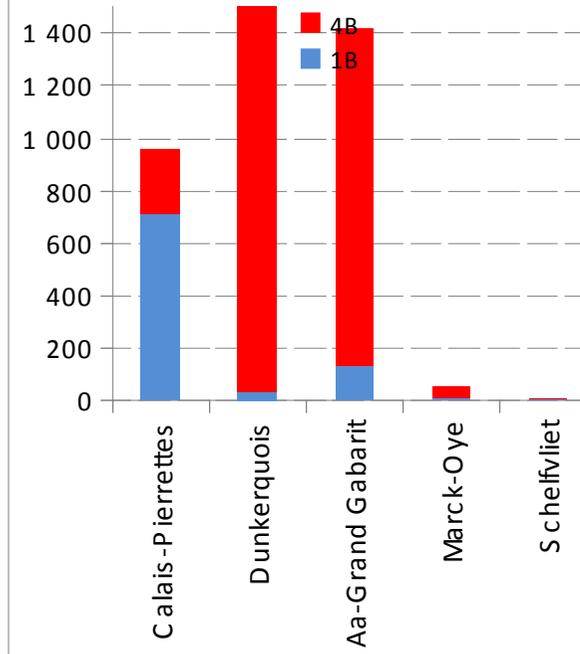
Volumes débordés en+ :
+20,1 Mm³, soit +530%

Surfaces inondées en+ :
+3 063 ha, soit +340%

Volumes débordés (en Mm³)



Surfaces inondées (en ha)



Marais Audomarois :
22,0 Mm³ stockés (+53%)
sur 2 686 ha (+16%)

→ **Très fort impact des pannes totales des pompes IIW & «Bergeron», surtout sur le Dunkerquois et Aa - Grand Gabarit**

Rappel du contexte général et de la démarche engagée

Présentation de l'étude – principes de modélisation

Présentation de l'étude - hypothèses et scénarios

Présentation de l'étude – résultats et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Impact des pannes des pompages à la mer

Conclusion sur les impacts des pannes :

- Le système est globalement efficace lorsque tout fonctionne bien
- Il présente toutefois une vulnérabilité particulière en cas de pannes, avec des impacts très forts en termes de volumes débordés et surfaces inondées
- La hausse du niveau de la mer accentue fortement cette vulnérabilité en cas de pannes
- Le tout pompage n'est pas la seule solution (capacités de stockage à préserver dans certaines zones amont du polder et dans les canaux, nécessité de compléter et coordonner les pompages par des actions de rétention...)

Rappel du contexte général et de la démarche engagée

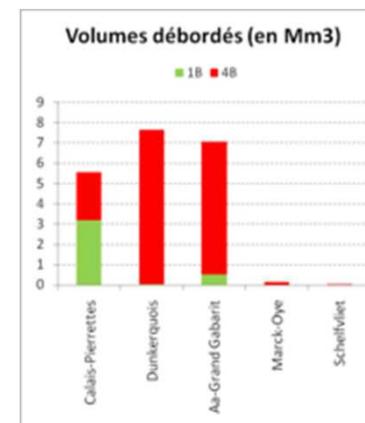
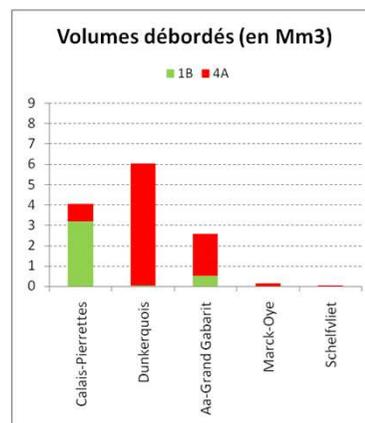
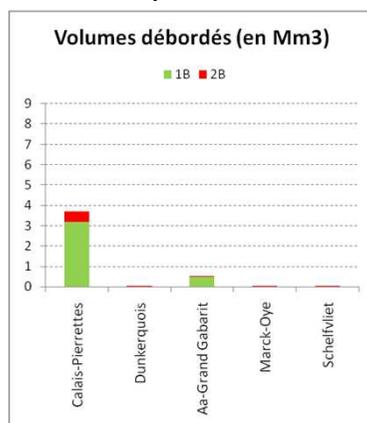
Présentation de l'étude – principes de modélisation

Présentation de l'étude - hypothèses et scénarios

Présentation de l'étude – résultats et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes



Impact d'une panne électrique totale



Direction régionale
de l'Environnement,
de l'Aménagement
et du Logement

NORD-PAS-DE-CALAIS

Scénario 3

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

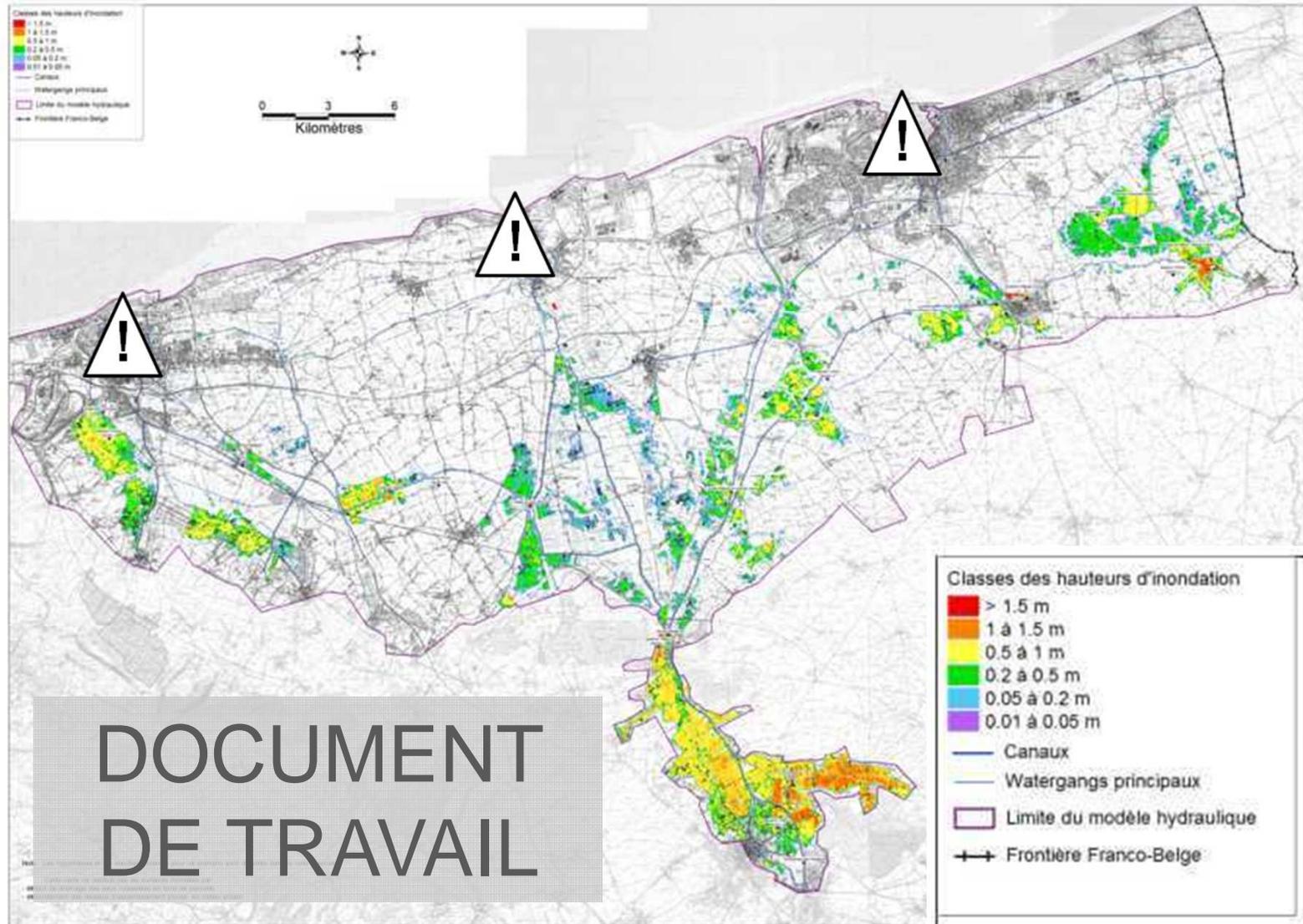
Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes



Impact d'une panne électrique totale



Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

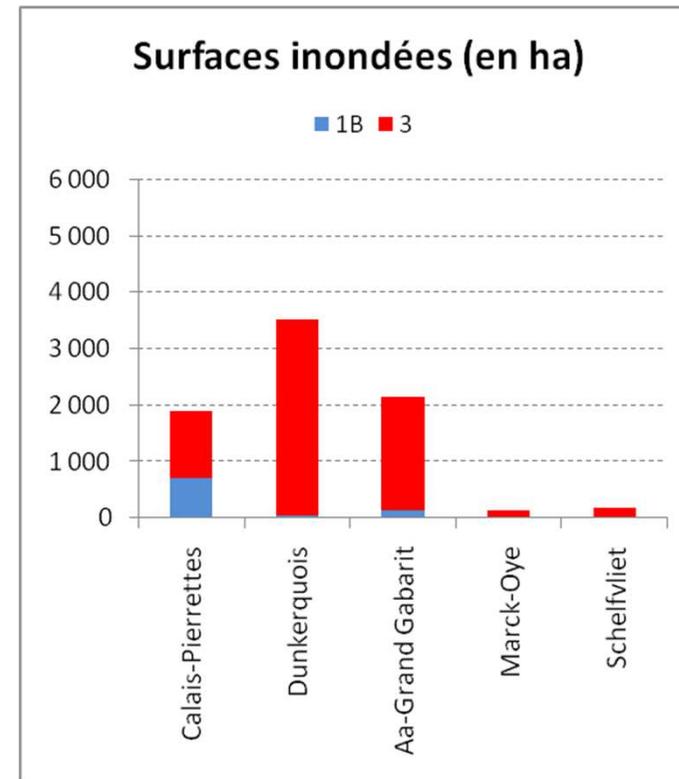
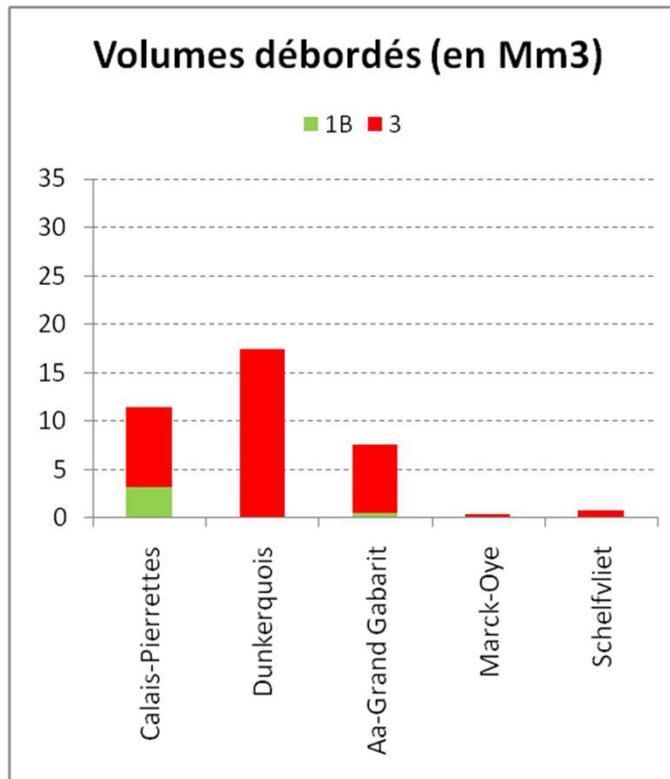
Pistes d'application

Prochaines étapes

Scénario 3

Volumes débordés en+ :
+33,7 Mm³, soit +890%

Surfaces inondées en+ :
+6 978 ha, soit +780%



Marais Audomarois :
33,2 Mm³ stockés (+120%)
sur 3 028 ha (+31%)



Direction régionale
de l'Environnement,
de l'Aménagement
et du Logement
NORD-PAS-DE-CALAIS

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

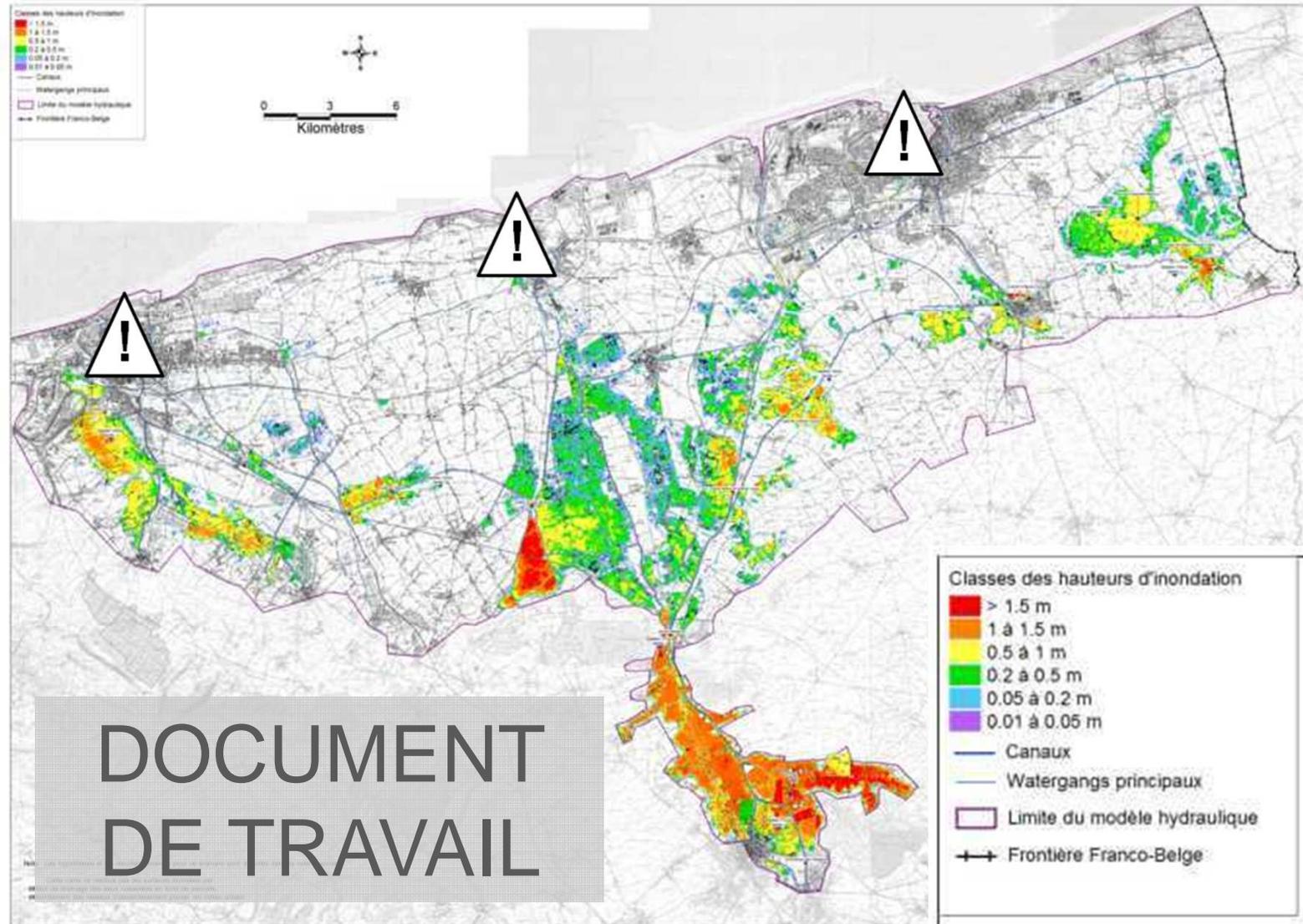
Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Impacts cumulés du scénario « extrême »

Scénario 5



Impact cumulé du scénario « extrême »

Scénario 5

Volumes débordés en+ :
+73,8 Mm³, soit +1960%

Surfaces inondées en+ :
+12 325 ha, soit +1370%

Rappel du contexte
général et de la
démarche engagée

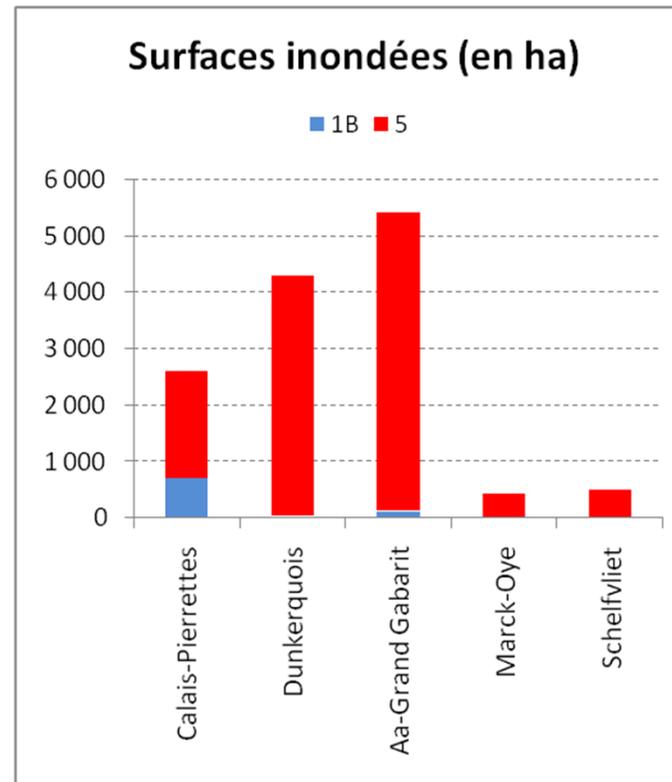
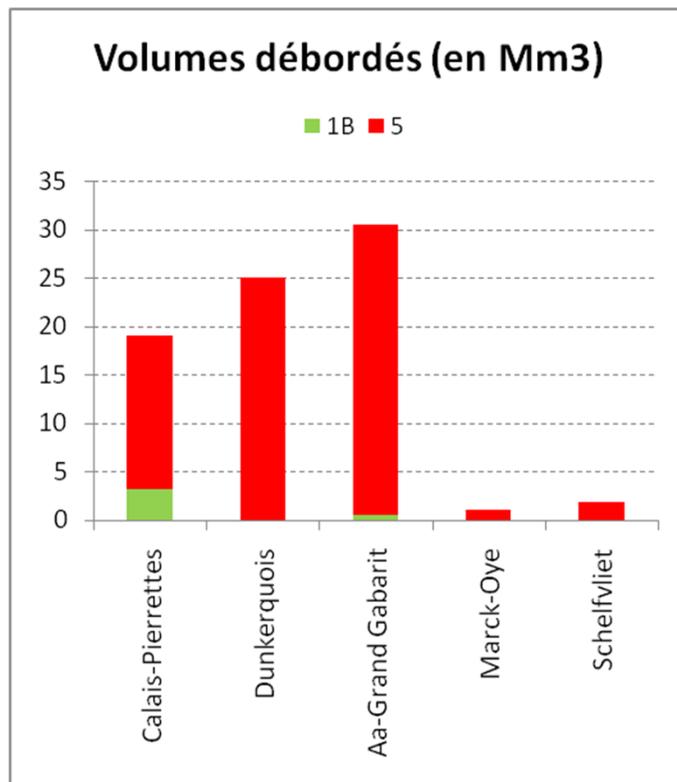
Présentation de
l'étude – principes
de modélisation

Présentation de
l'étude -
hypothèses et
scénarios

Présentation de
l'étude – résultats
et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes



Marais Audomarois :
50,0 Mm³ stockés (+250%)
sur 3 348 ha (+45%)



Rappel du contexte général et de la démarche engagée

Présentation de l'étude – principes de modélisation

Présentation de l'étude - hypothèses et scénarios

Présentation de l'étude – résultats et conclusions

Pistes d'application

Prochaines étapes

Pistes d'application – Prochaines étapes

Pistes d'application :

- Réflexions sur scénario de référence pour l'aménagement
- Réflexion sur scénario « Gestion de crise » et outils de mise en œuvre (PCS, DICRIM, outils d'information / sensibilisation des populations...)
- Document informatif de type atlas de zones inondables sur le polder des wateringues avec prise en compte dans les documents d'orientation SCOT et PLU, dans les dispositions constructives (dans le respect de l'environnement et du principe de solidarité amont-aval)....
- Réforme protocoles de gestion (aujourd'hui rien de précis à l'échelle des sections, au niveau local, en cas de situation de crise)

Prochaines étapes :

- Réunion plénière « wateringues » du 27 juin 2013 à Bourbourg sous la présidence du Préfet de région
- Portés à Connaissance (PAC) relatifs aux débordements des watergangs prévus au 2^o semestre 2013