

Innovations dans la lutte contre les inondations des fleuves



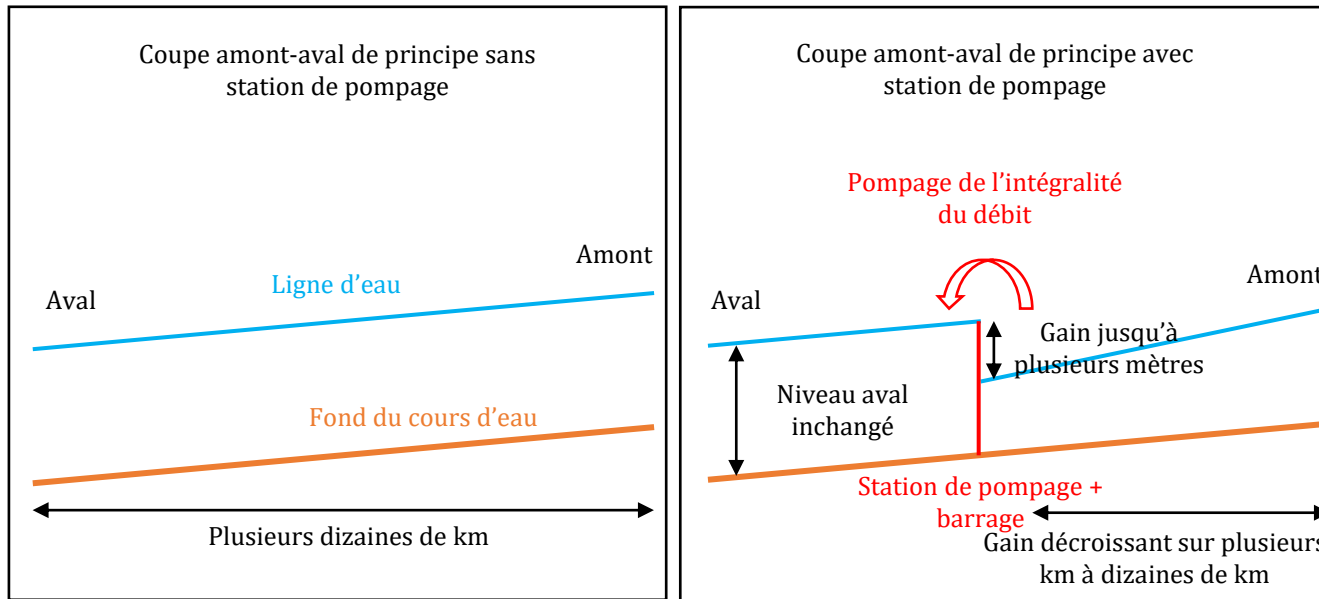
NOAA / Mark Moran

Crue de 2005 à la Nouvelle Orléans

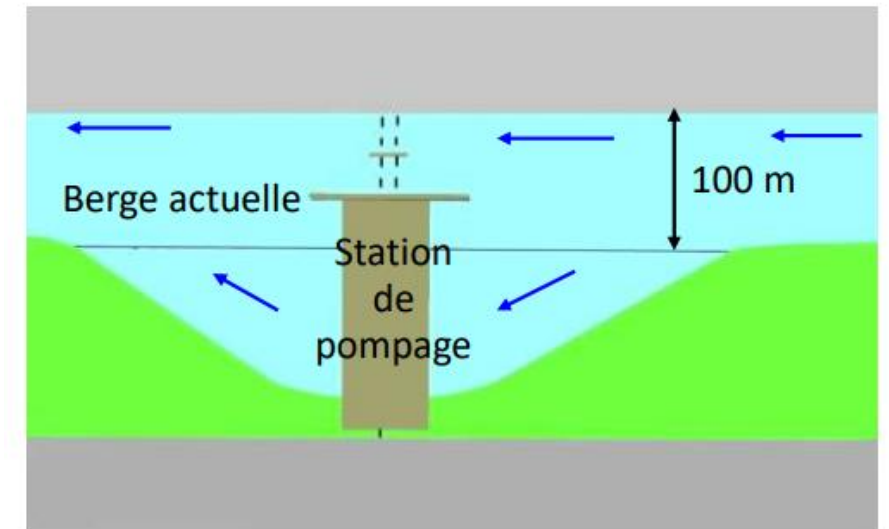
François Lempérière
Luc Deroo
Pierre Kraemer
Symposium du CFBR - 27 janvier 2022

Introduction : rappel du concept présenté en 2018

- Idée présentée par Messieurs Deroo et Lempérière en 2018 : **fournir de l'énergie à un fleuve (à faible pente) en crue, pour augmenter la vitesse de son écoulement et donc baisser son niveau**
- Dans les faits, un barrage du cours d'eau est associé à une station de pompage en berge. **La station de pompage (placée à terre) pompe l'intégralité du débit de crue de l'amont vers l'aval du barrage, permettant ainsi une baisse de niveau sensible à l'amont du barrage**



Vue en coupe de principe du fonctionnement d'une station de pompage

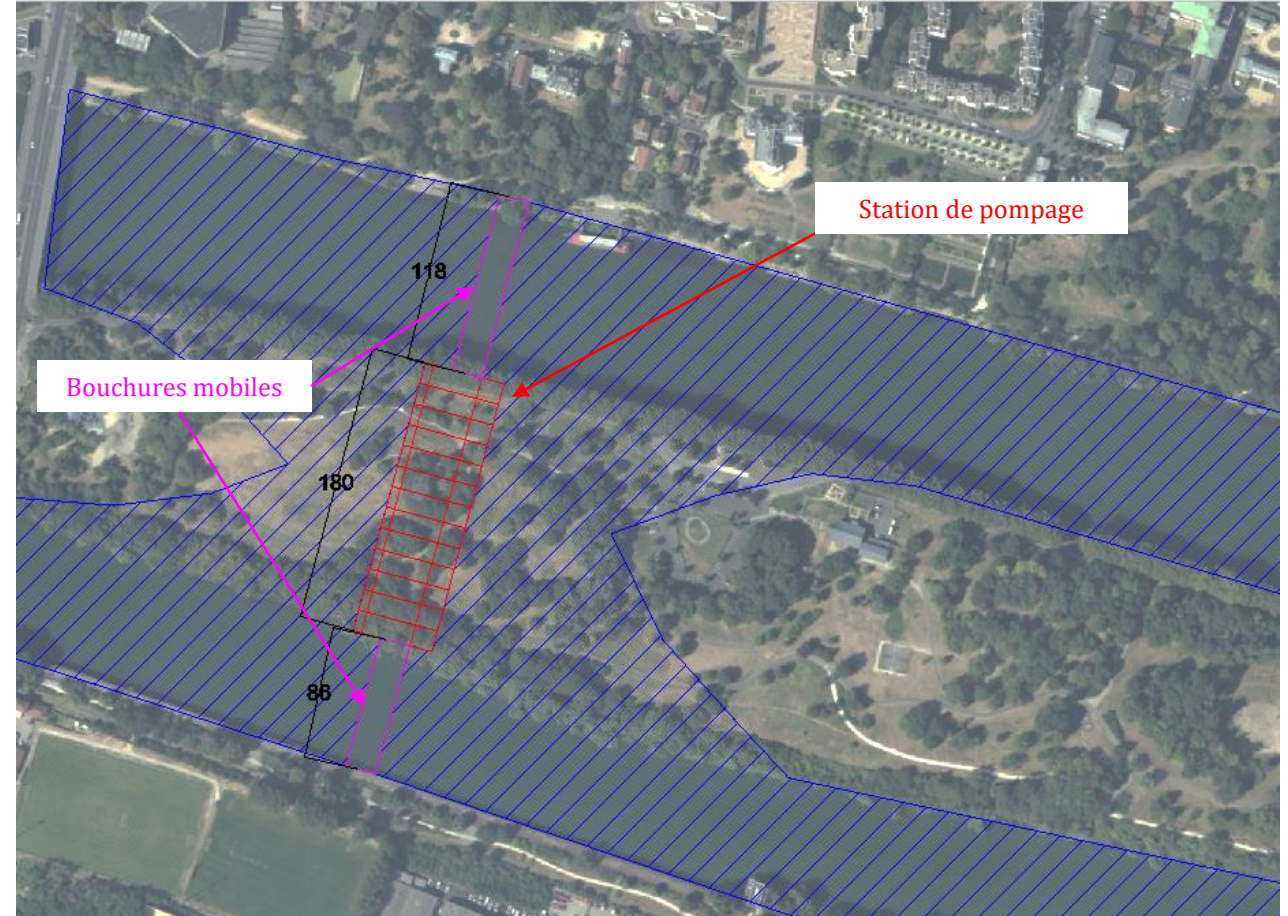


Vue en plan de principe présentée en 2018

- Plusieurs problématiques (fiabilité de l'alimentation électrique, gestion des corps flottants, etc.) se posent mais **semblent pouvoir être réglées par des moyens assez classiques** (redondance de l'alimentation, ouverture automatique du barrage en cas de coupure d'alimentation, mise en place de drome ou de grilles à l'amont de la station, etc.)
- Par exemple, dans le cas de la Seine à Paris, l'effet d'une station de pompage de 60 MW pourrait être **une baisse de 2 m à l'amont, se propageant en s'amenuisant sur 10 à 20 km**, pour une crue centennale ou supérieure

Avantages et inconvénients de la solution et améliorations apportées

- Les avantages de cette solution sont nombreux : **peu ou pas d'impact à l'aval**, **faible coût**, **faible impact au sol** comparé à des barrages réservoirs, les **effets de plusieurs stations s'additionnent**, etc.
- L'inconvénient principal de la solution proposée est **l'impact foncier / urbanistique / paysager** qu'elle représente, même si des solutions peuvent être trouvées (enterrement des ouvrages de pompage, placement à proximité d'ouvrages existants, etc.) et que cette conception s'adapte très bien à certaines zones (estuaires, zones à l'aval de grandes villes, etc.)
- Deux questions se posent pour optimiser le concept :
 - Peut-on lier la fonction pompage et la fonction barrage dans le même ouvrage ?
 - Peut-on supprimer la fonction barrage ?
- La réponse est oui, ce qui a donné naissance à deux nouveaux concepts de **DANCE** pour **Dispositifs d'Abaissement des Niveaux en Crues Exceptionnelles** :
 - Les stations de pompage en rivière
 - Les accélérateurs



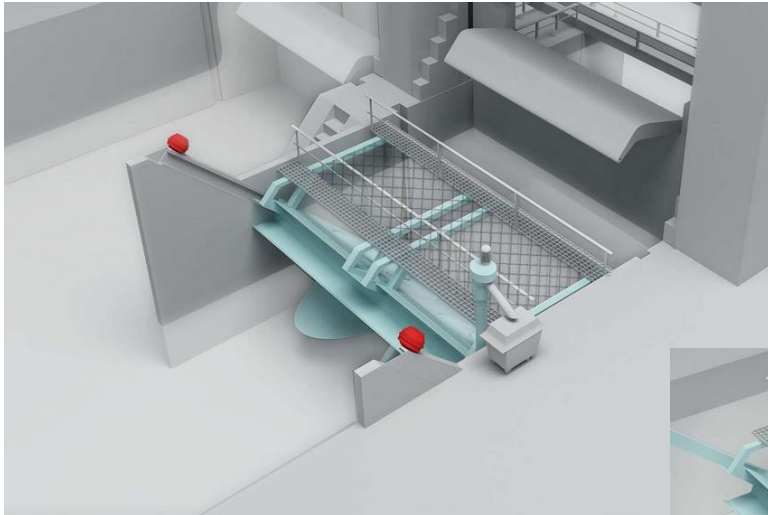
Exemple d'implantation d'une station de pompage sur l'île Saint Denis (groupes calqués sur ceux de la Rance)

DANCE : stations de pompage en rivière

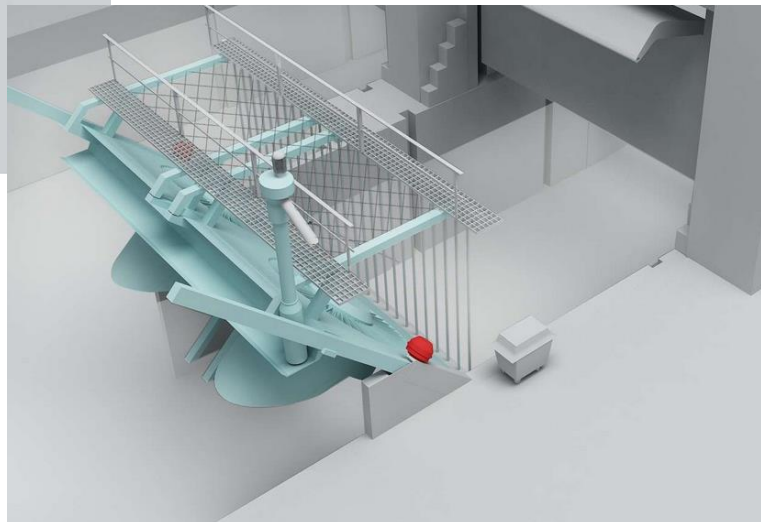
Réalisation des fonctions pompage et barrage dans un même ouvrage

Cela semble faisable de différentes manières :

- En **intégrant les pompes dans une bouchure mobile**, par exemple en rotation sur la berge (à l'image d'une porte d'écluse)
- En permettant aux pompes d'être **relevées ou abaissées**



Turbines VLH levantes sur la Sambre à Marcinelle (Belgique) – 660 kW



greisch.com

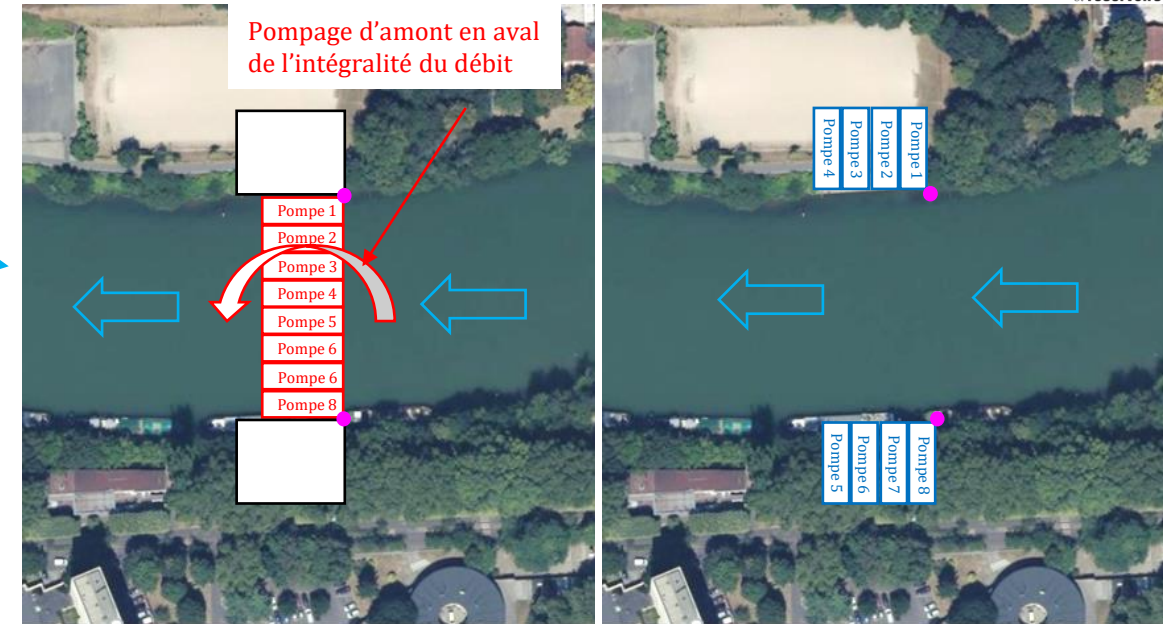


Schéma de principe d'un mode de réalisation possible d'une station de pompage DANCE **en fonctionnement (rouge à gauche)** et **à l'arrêt (bleu à droite)**. En rose, les axes de rotations de la barrière temporaire et des pompes.

Les avantages de cette solution sont nombreux : grande efficacité, faible impact foncier par rapport à la solution de stations en rivière, etc.

DANCE : accélérateurs

- Le but étant de fournir de l'énergie au cours d'eau, il semble envisageable de le faire **sans barrer le cours d'eau**, quitte à perdre un peu en rendement
- Ceci peut se faire par la mise en place **d'accélérateurs dans le cours d'eau**, afin d'accélérer le flux d'amont vers l'aval
- Fonctionnement à l'image **d'hydroliennes inversées** ou **d'hélices de bateau**
- La baisse de niveau semble se faire à l'amont et à l'aval de l'accélérateur, en s'amenuisant à mesure qu'on s'éloigne**

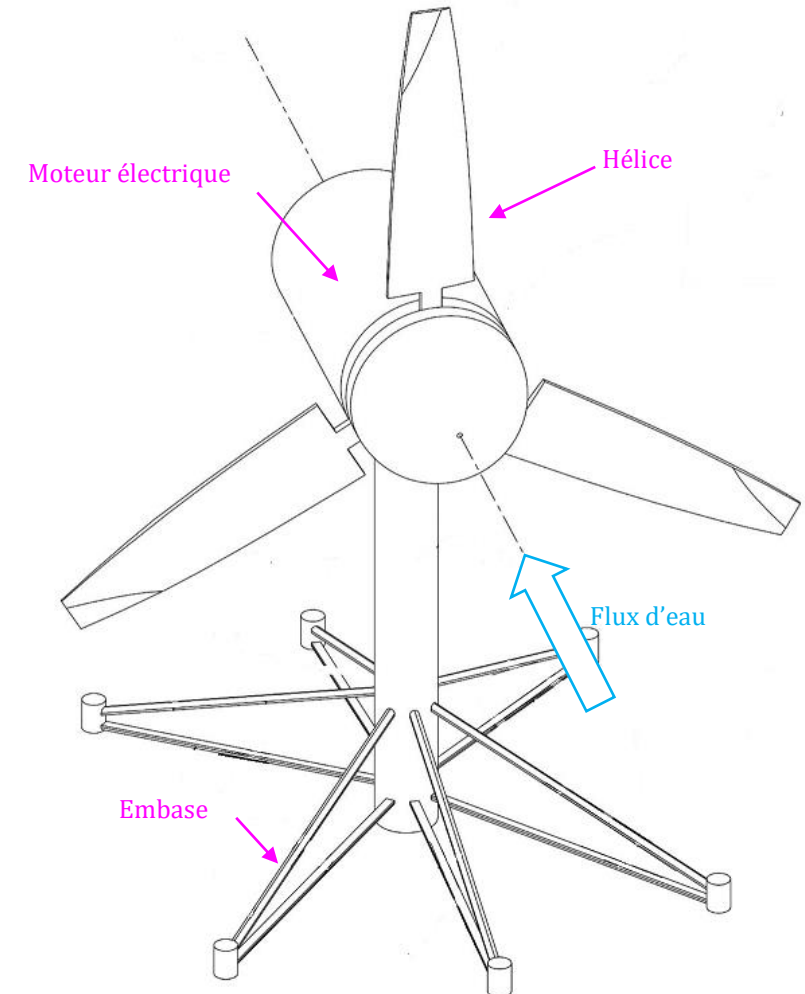
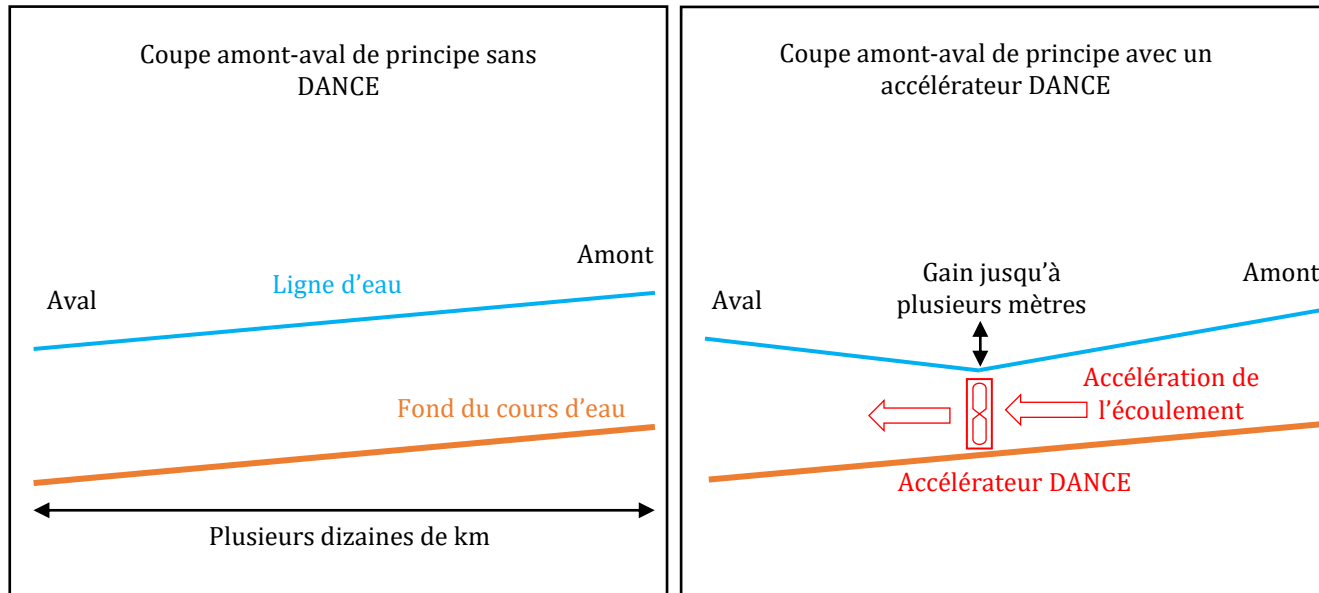
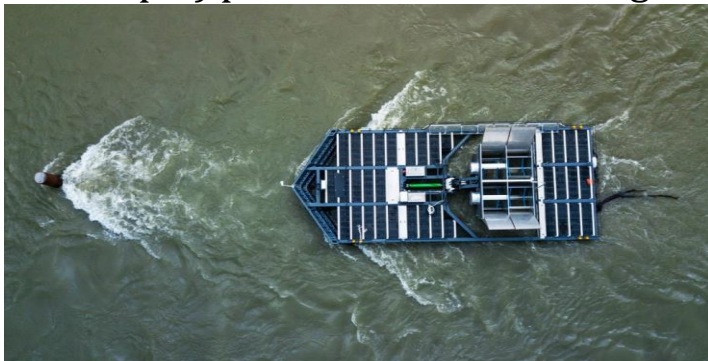


Schéma de principe d'un accélérateur DANCE posé au sol

Accélérateurs DANCE : avantages et inconvénients

- Les accélérateurs peuvent être **posés au fond du cours d'eau ou flottants**
- Leur conception se rapproche beaucoup de celle des **hydroliennes** dont ils pourront bénéficier des progrès techniques
- Les accélérateurs peuvent être **utilisés en « essaims » pour augmenter l'efficacité** : on peut envisager d'en placer **plusieurs en parallèle ou en série**, éventuellement en quinconce, pour augmenter leur effet en couvrant le plus possible de surface du cours d'eau
- Les accélérateurs peuvent être **laissés à demeure ou placés dans l'écoulement juste avant la crue** (notamment s'ils sont flottants)
- Ils peuvent **occuper toute la largeur du cours d'eau ou une partie seulement**, permettant à la navigation de se poursuivre, et l'évacuation des corps flottants
- Leurs impacts sont quasiment nuls** (paysager, foncier, sur la faune, le transit sédimentaire, la navigation, etc.)
- Leur **standardisation** peut amener de très fortes **réductions des coûts**
- Des **solutions hybrides** (accélérateurs fonctionnant en station de pompage par exemple) peuvent aussi être imaginées ...



© Grand Lyon



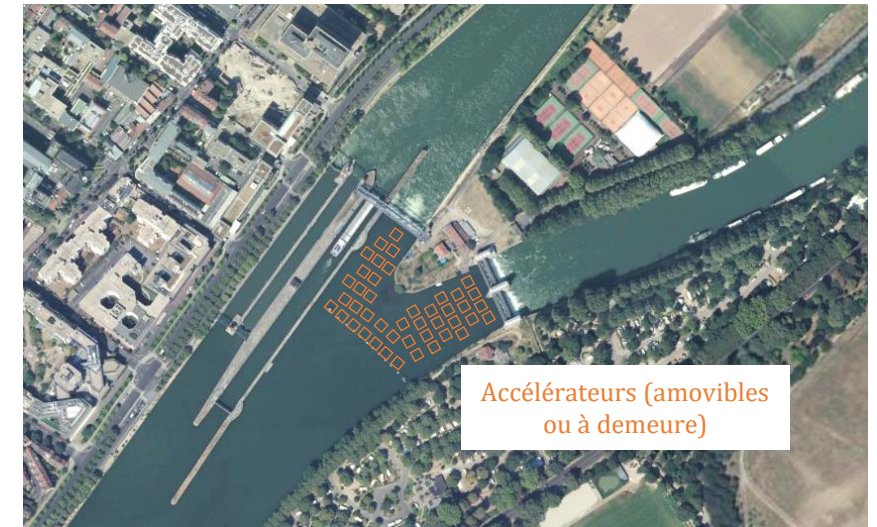
Hydroliennes fluviales flottantes HydroQuest sur le Rhône



Accélérateurs placés en situation de crue

Accélérateurs parqués en port fluvial (hors crue)

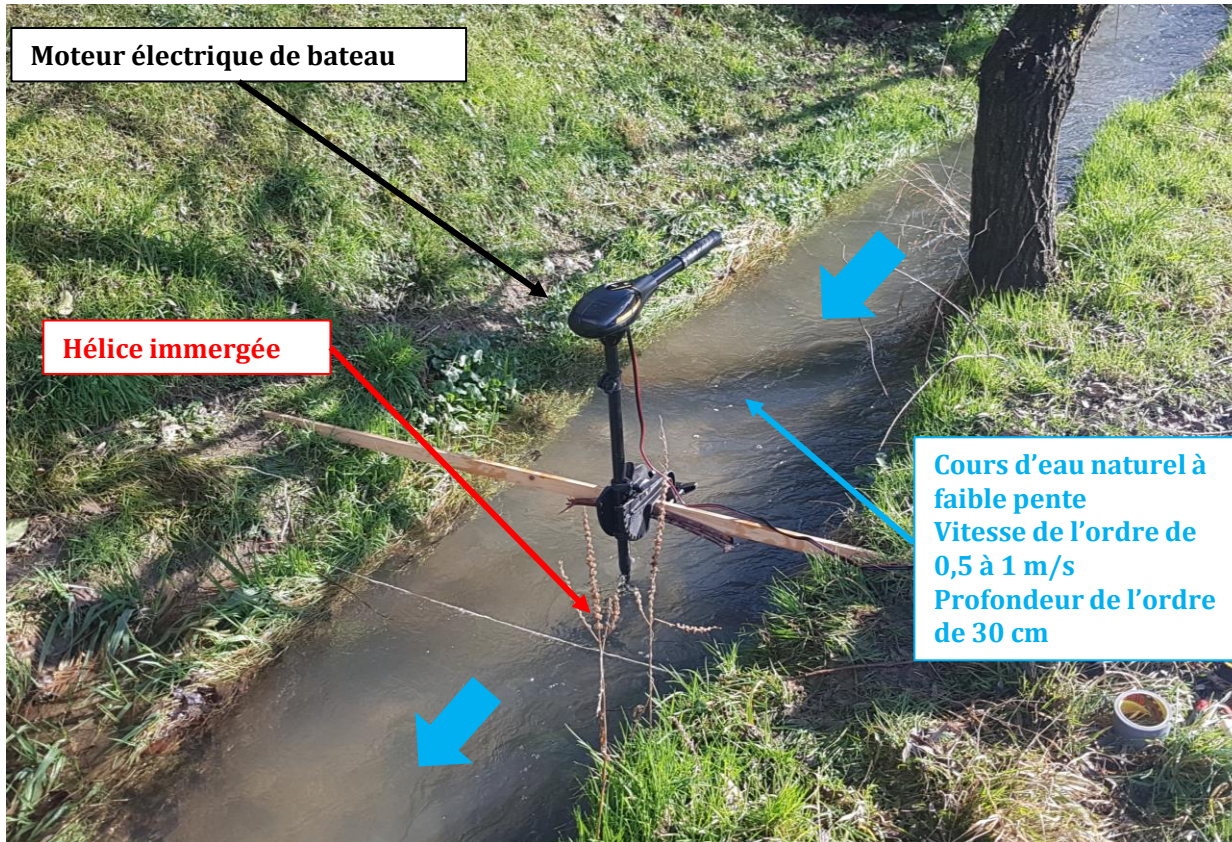
Exemple d'un essaim d'accélérateurs en position de lutte contre les crues et parqués dans un port fluvial (Gennevilliers)



Accélérateurs (amovibles ou à demeure)

Exemple d'un essaim d'accélérateurs placé en parallèle de l'écluse de Suresnes

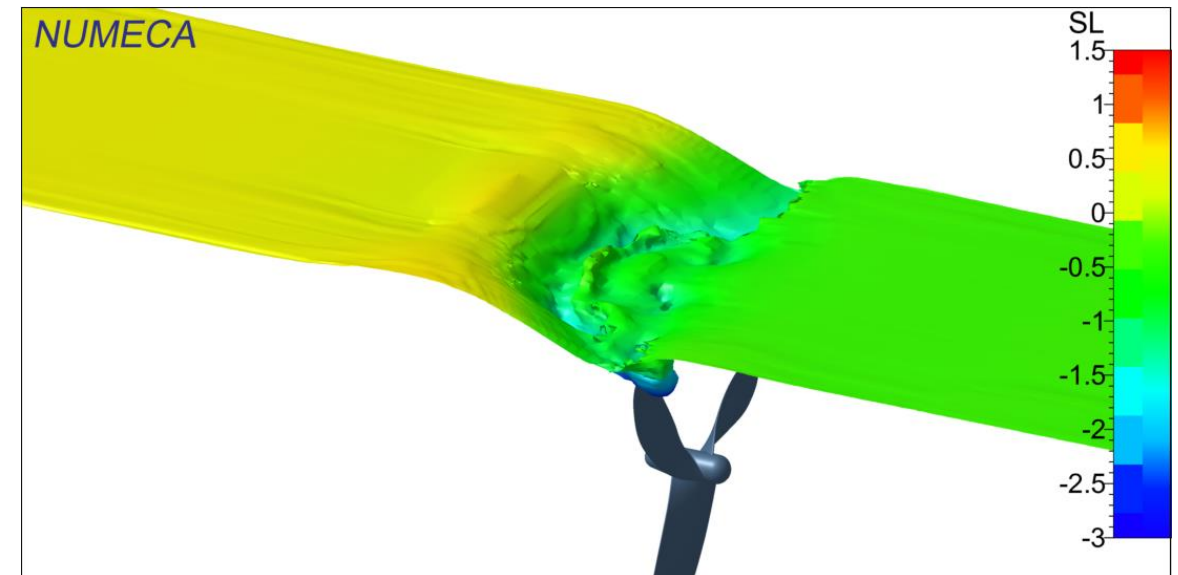
Accélérateurs DANCE : modélisations physique et numérique



Dispositif d'essai physique d'un accélérateur en rivière

Une **modélisation numérique** est en cours, dont les premiers résultats sont encourageants

- Un premier modèle physique « artisanal » a permis de **vérifier l'efficacité des accélérateurs**
- Malgré la rusticité de l'installation, **le gain de niveau est visible à l'amont et à l'aval de l'accélérateur**, lorsque celui-ci est en fonctionnement (environ 2 cm pour cet essai)
- En adaptant la puissance de l'accélérateur aux caractéristiques du cours d'eau, il est possible d'**éviter les remous et recirculations**



Exemples d'application : la Seine en région parisienne

Malgré les protections existantes, une crue de période de retour 130 ans en région parisienne aurait les effets suivants :

14 milliards d'euros de dégâts directs et 14 milliards d'euros de réduction de PIB

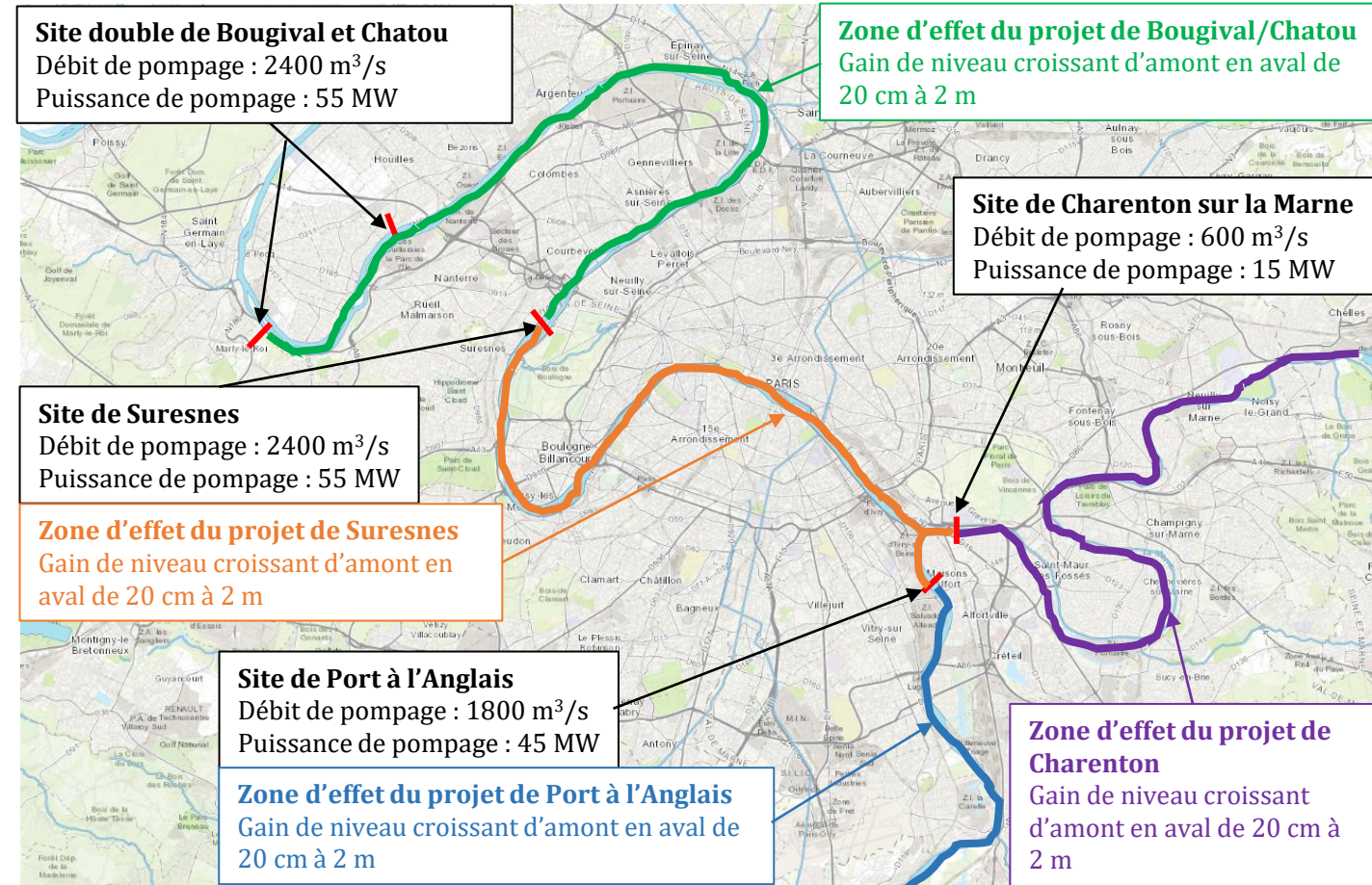
Plusieurs millions de personnes et dizaines de milliers d'entreprises impactées à des degrés divers (rupture d'alimentation en eau potable, en électricité, habitations et locaux inondés, etc.)

Le projet de **la Bassée ne permettra d'éviter qu'une partie de ces dégâts** (environ 25 %) et une **crue plus importante** viendrait encore **augmenter ces dégâts**

La mise en place de **stations de pompage ou d'accélérateurs DANCE** permettrait une **protection efficace des zones les plus critiques, pour un coût et des impacts très nettement plus faibles** que tous les autres projets actuellement envisagés

Un **dragage** à l'amont des sites augmente encore nettement l'efficacité de l'ensemble

La Marne offre un très bon **premier site d'expérimentation**



Exemple de protection de la région parisienne avec 4 stations de pompage DANCE au droit de barrages/écluses existantes

Conclusions et perspectives

🌐 Selon la Banque Mondiale, **2,2 milliards de personnes vivent dans une zone exposée à une crue centennale** (29 % de la population mondiale) et **les risques vont nettement augmenter** dans les années à venir du fait du réchauffement climatique

🌐 Les concepts DANCE semblent être très prometteurs. Ils pourraient permettre la lutte contre les crues :

- 🌐 De manière **efficace**, tant en termes de **coûts que de résultats**
- 🌐 De façon **modulable, standardisable et industrialisable**
- 🌐 Avec des **impacts extrêmement faibles** (environnementaux, paysager, urbanistiques)
- 🌐 Dans des zones où **peu ou pas d'autres solutions sont envisageables**

🌐 Les différentes variantes possibles (stations de pompage à terre, en rivière, ou accélérateurs) se complètent très bien et permettent de **s'adapter à de nombreuses configurations de sites**

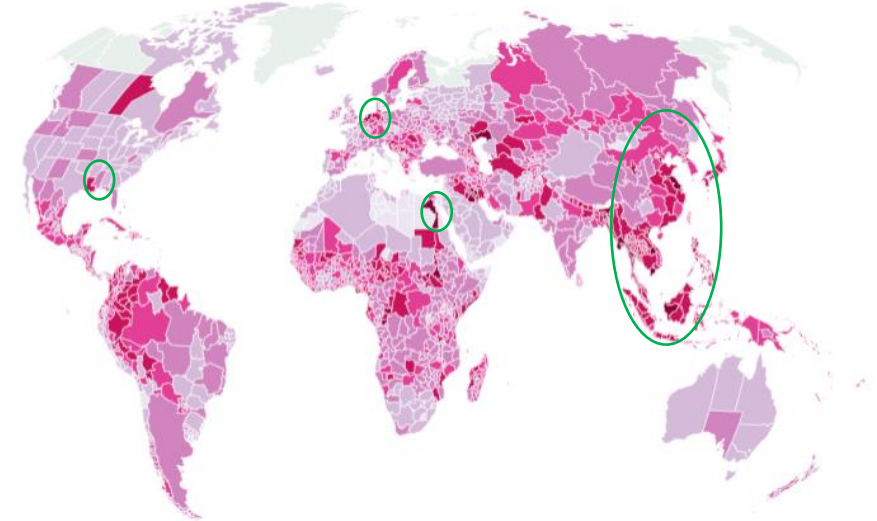
🌐 Ils peuvent être utilisés pour **protéger les agglomérations**, dont certaines très grandes (Paris, Bangkok, etc.), et peuvent permettre une **meilleure utilisation de zones actuellement souvent inondées**, notamment les deltas (Mékong, Bangladesh, etc.)

🌐 **Deux brevets ont été déposés en 2021**, et le développement de ces concepts se poursuit

🌐 Les prochaines étapes du développement incluent la réalisation de modèles numérique et physique et la recherche de financements et de partenaires pour le développement

Population exposée à un risque d'inondation (en %)

0 9 23 43 91,2



Source : J. Rentschler, M. Salhab, *People in Harm's Way: Flood Exposure and Poverty in 189 Countries*, Document de travail n° 9 447, Washington DC, Banque mondiale, 2020. • Les noms et frontières des pays ne reflètent pas nécessairement la position officielle du Groupe de la Banque mondiale.

Merci pour votre attention



VUE PRISE DE LA TOUR DE L'HORLOGE DE LA GARE DE LYON - 29 JANVIER 1910

Pour nous joindre :
francois.lemperiere@gmail.com
deroo@isl.fr
pkraemer@kindh.fr