

CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES ET COLLISIONS AVEC LA FAUNE :  
DES DONNÉES AUX SOLUTIONS  
JOURNÉE D'ÉCHANGES TECHNIQUES



## Solutions techniques pour concilier continuité aquatique et hydroélectricité

Sylvain RICHARD<sup>(1)</sup>, Dominique COURRET<sup>(2)</sup>, Pierre SAGNES<sup>(2)</sup>

(1) Pôle écohydraulique AFB-IMFT [AFB/DP/PIAT]

(2) Pôle écohydraulique AFB-IMFT [AFB/DRED]

AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



pôle recherche et développement en écohydraulique

Paris | Grande Arche | La Défense  
2 juillet 2019



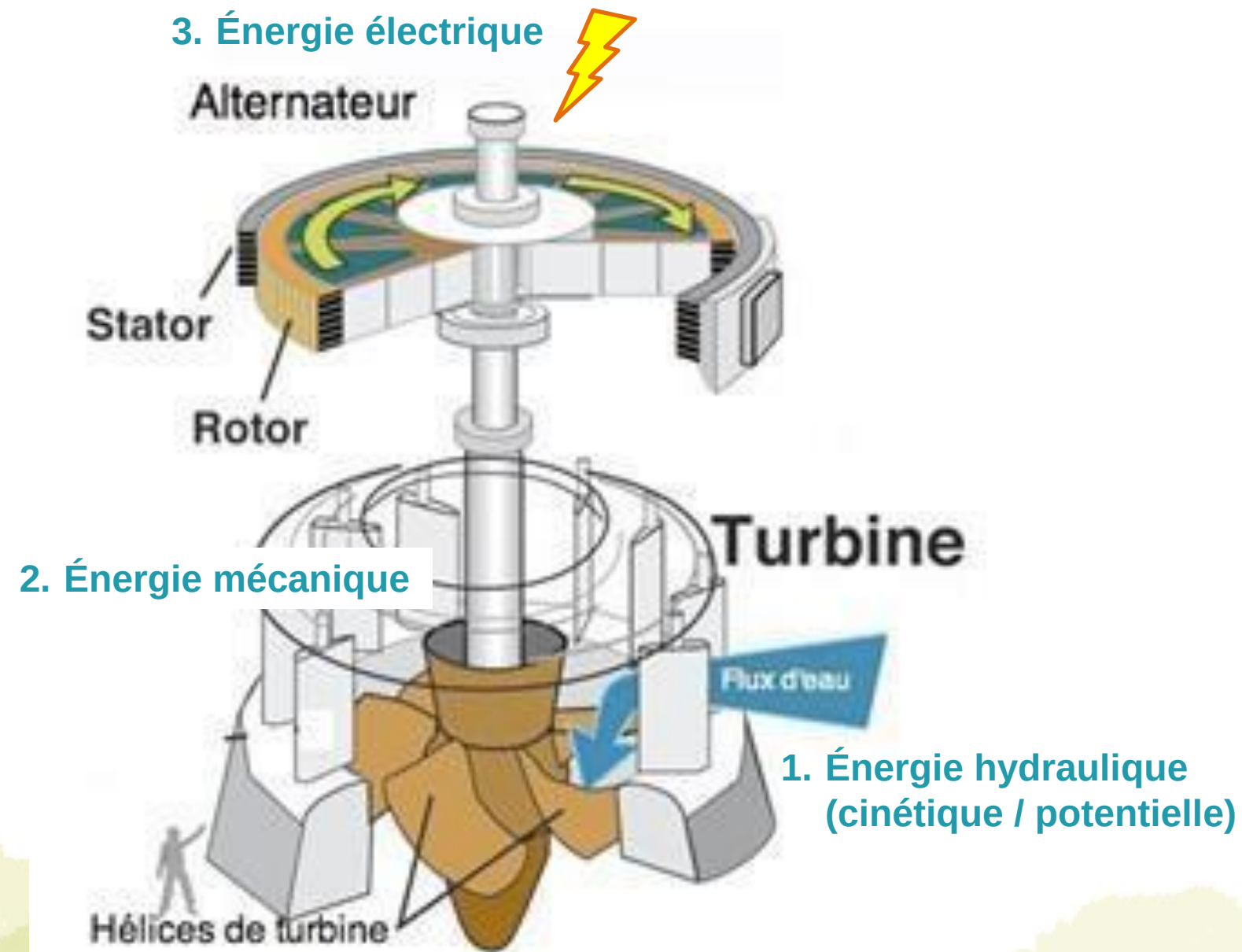
AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT





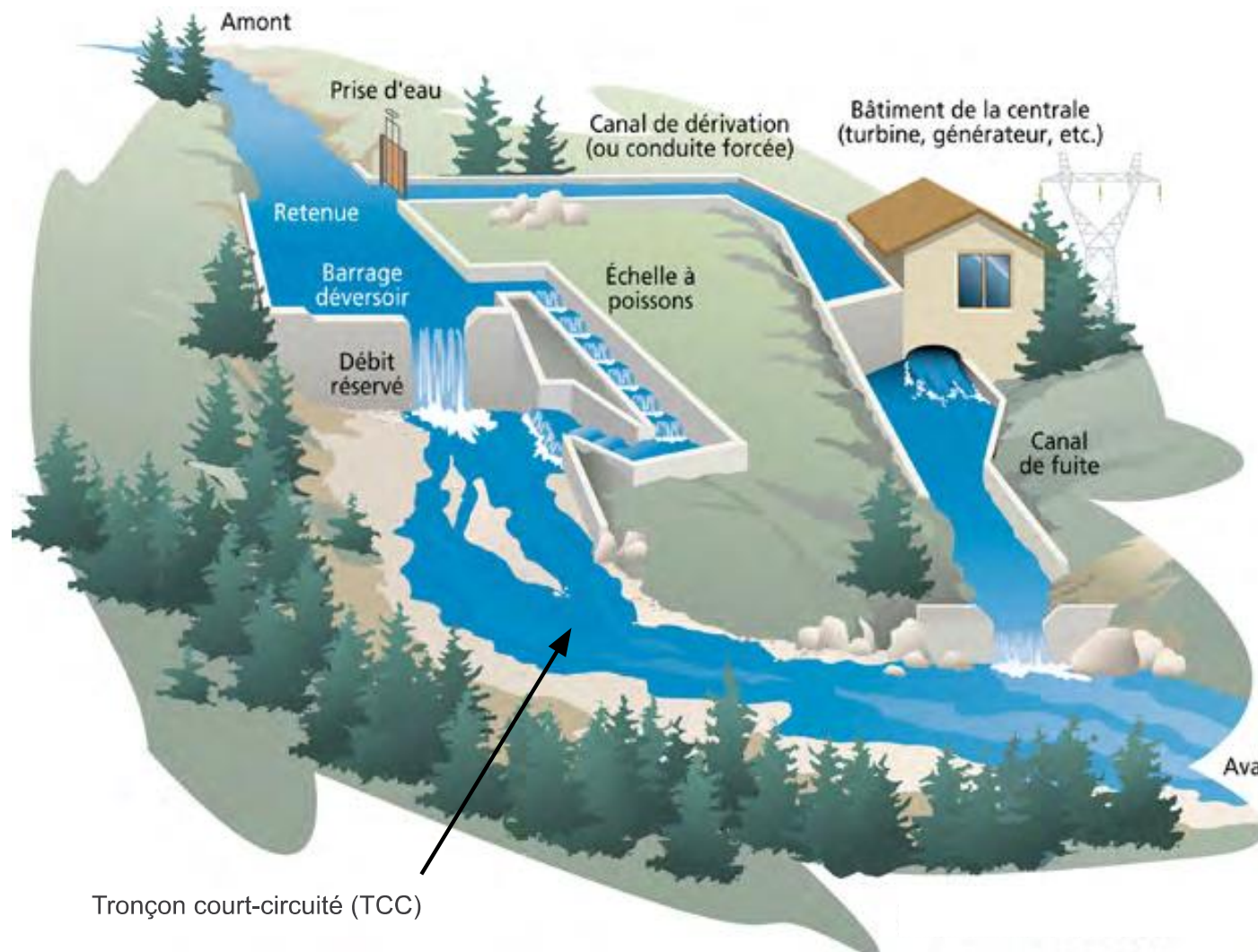
# 1. Principes et fonctionnement des aménagements hydroélectriques

## Principes de l'exploitation de l'énergie hydraulique



# 1. Principes et fonctionnement des aménagements hydroélectriques

## Différentes typologies de centrales hydroélectriques



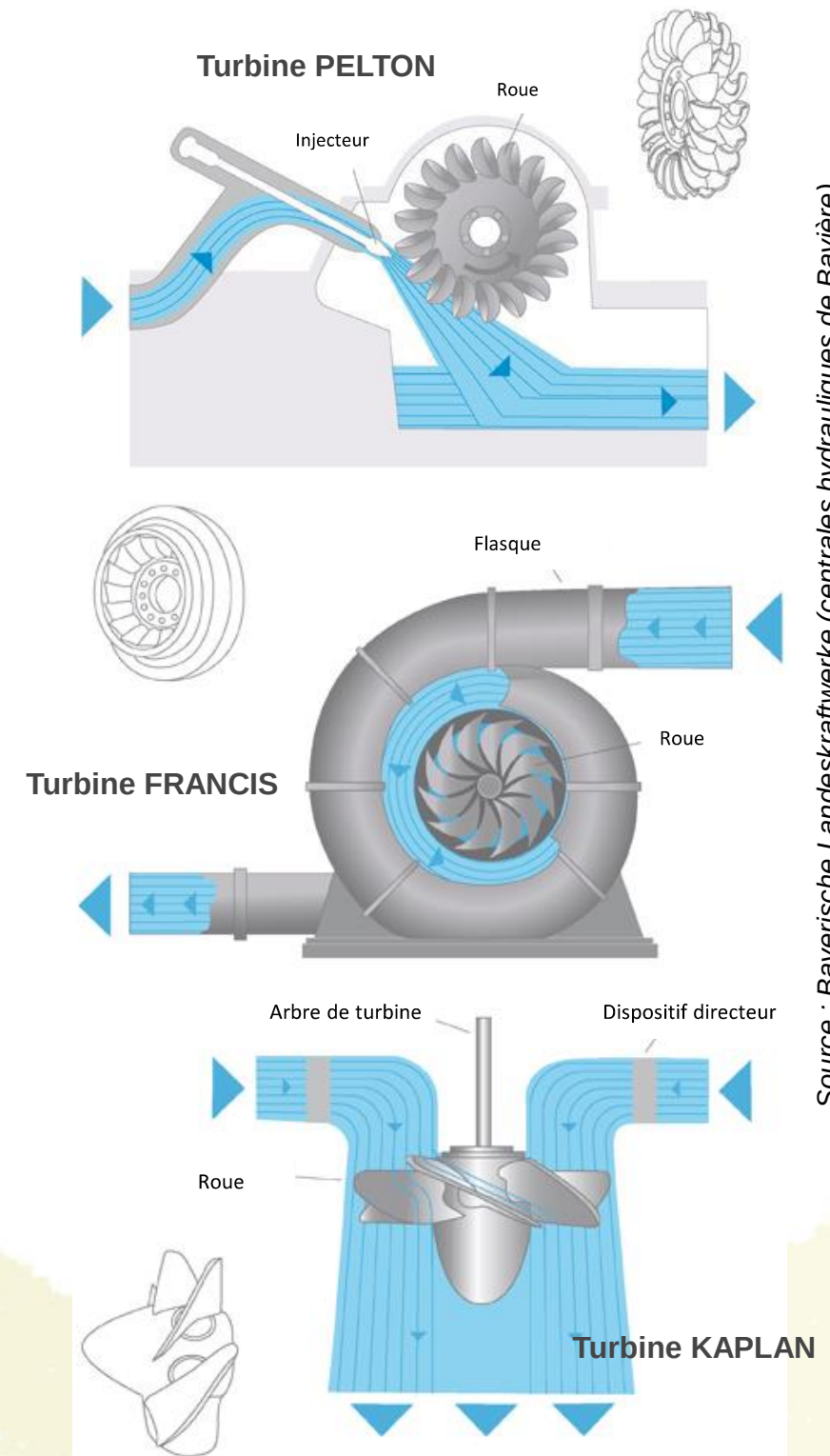
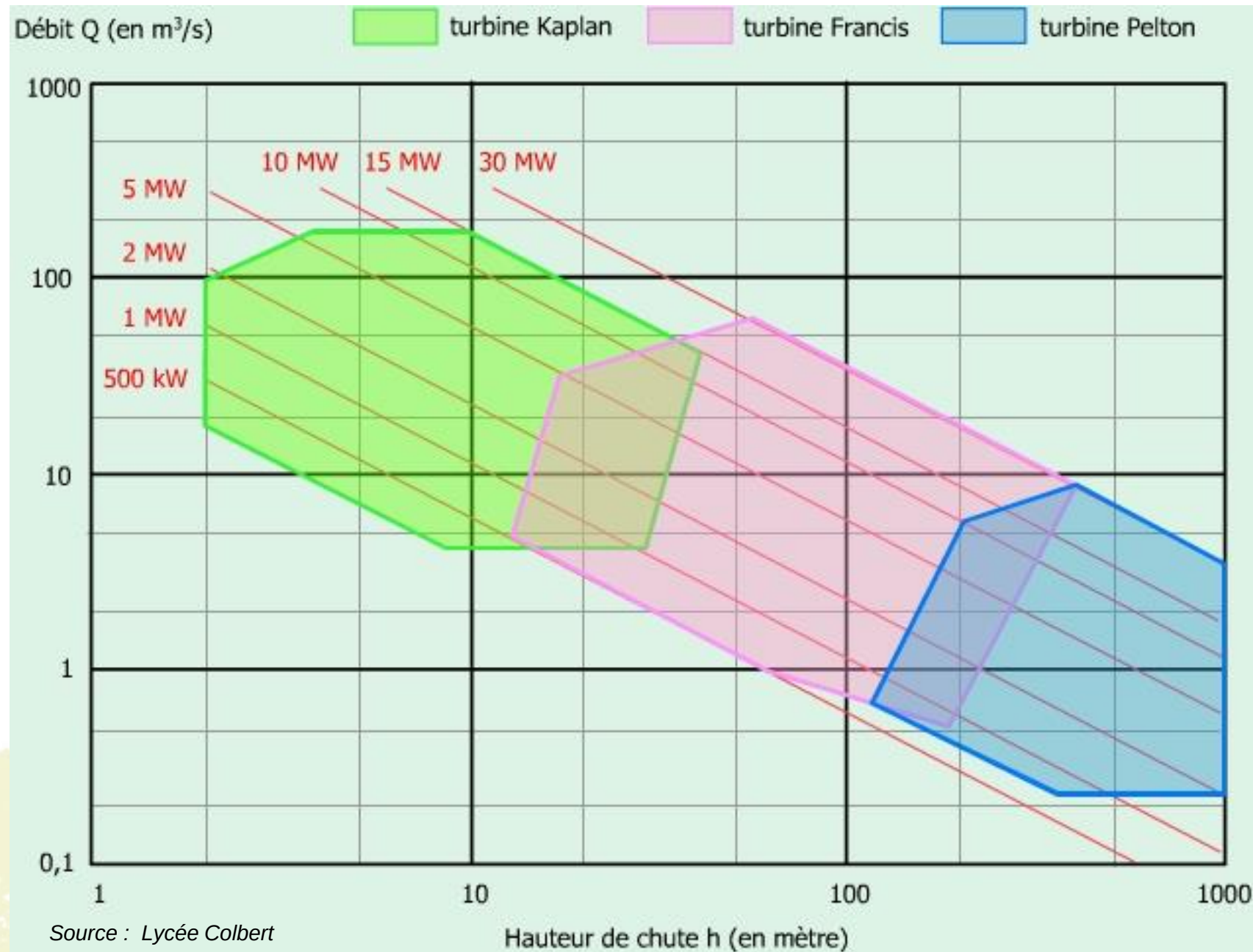
- En fonction de la **hauteur de chute** : basse ( $< 30\text{m}$ ), moyenne ( $30\text{m}$  à  $100\text{m}$ ) ou haute chute ( $> 100\text{m}$ )
- En fonction de la **configuration** : centrale en dérivation (tronçon court-circuité) ou au niveau du seuil de prise d'eau

- En fonction du **mode d'exploitation** : au fil de l'eau ou par éclusées



# 1. Principes et fonctionnement des aménagements hydroélectriques

## 3 principaux types de turbines en fonction du débit et de la hauteur de chute

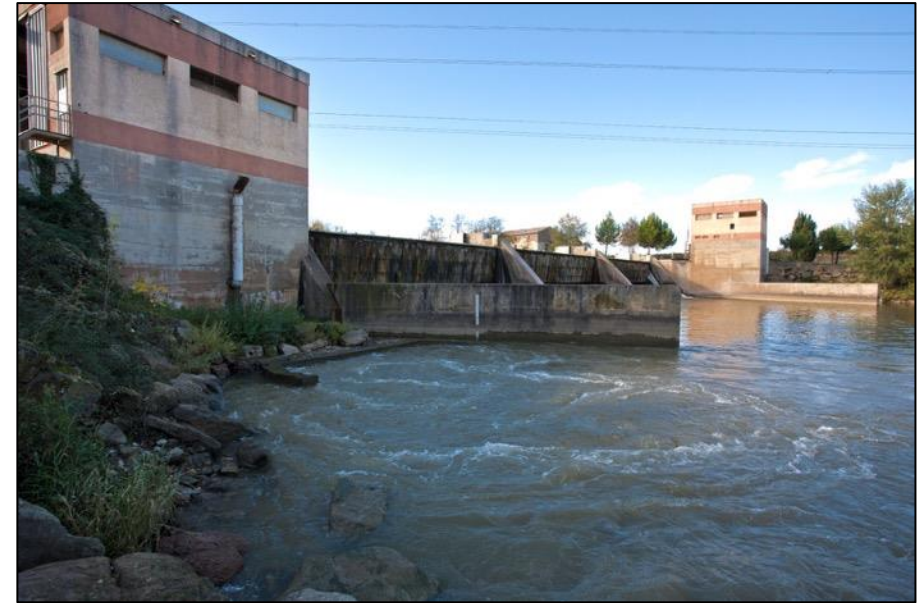




# 1. Principes et fonctionnement des aménagements hydroélectriques

## Le parc hydroélectrique français : ~2500 centrales

- Une grande majorité de petites centrales au fil de l'eau, héritage des anciens moulins
  - Débit turbiné  $< 50 \text{ m}^3/\text{s}$ , quelques unes entre  $50\text{-}100 \text{ m}^3/\text{s}$
- Quelques grosses centrales hydroélectriques
  - Rhin et Rhône ( $1000\text{-}1500 \text{ m}^3/\text{s}$  turbinés)



- Garonne et Dordogne ( $300\text{-}500 \text{ m}^3/\text{s}$  turbinés)



## 2. Principaux risques de collisions au niveau d'une centrale

Problématique importante lors de la dévalaison pour :

Truite fario (alevins, juvéniles, adultes)

*Mortalités significatives à fortes dans les centrales de moyenne et hautes chutes (prises d'eau de montagne)*



Smolts (+ adultes) de saumon atlantique et de truite de mer



Anguille argentée

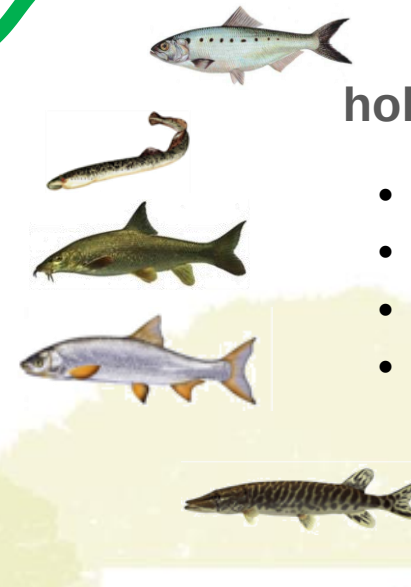
*Mortalités importantes au passage dans les turbines en raison de leur grande taille*



*Dévalaison depuis l'amont des bassins versants → de nombreuses centrales à franchir*

Aloses, lamproies et espèces holobiotiques (brochet, cyprinidés...)

- Moins de centrales à franchir
- Individus de plus petites tailles
- Besoins de connaissances
- Problématique non prise en compte à ce jour



## 2. Principaux risques de collisions au niveau d'une centrale

### Les différents risques de collisions pour les poissons en dévalaison

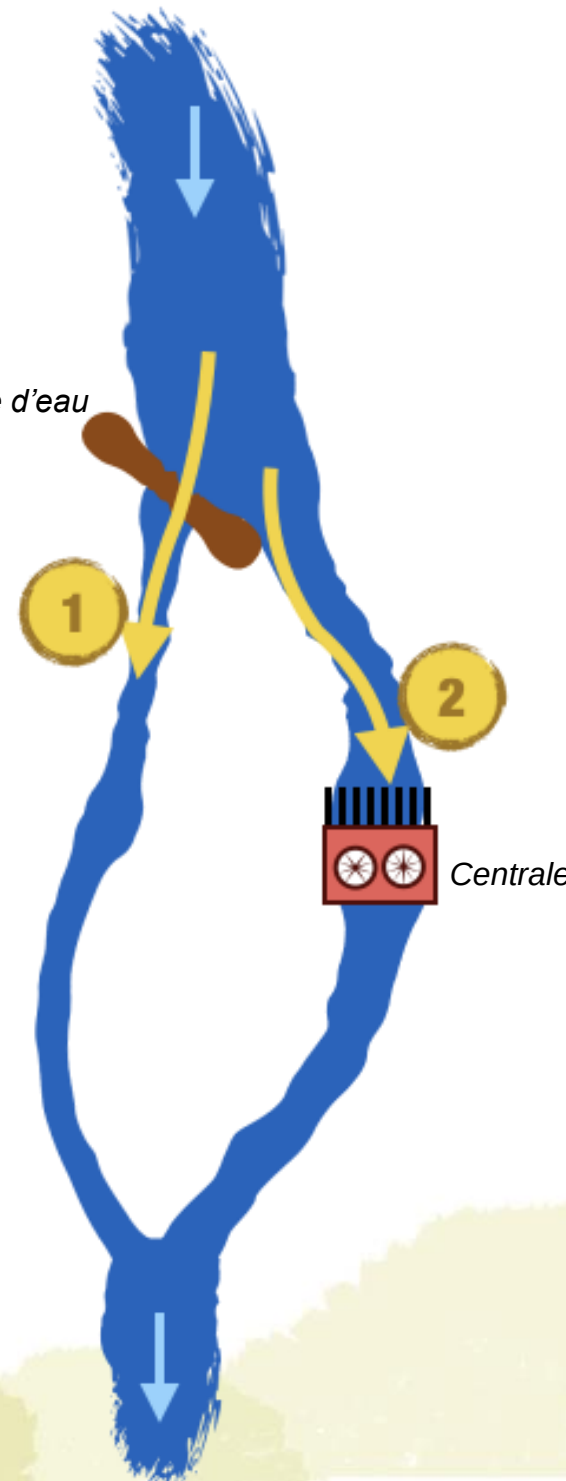
#### Passage par les ouvrages évacuateurs (déversoirs, vannes, clapets...)

- Chocs sur surface dure
- Cisaillements hydrauliques
- Impacts sur la surface de l'eau

#### Passage par les turbines

- Chocs / abrasion sur les parties mobiles ou fixes des turbines
- Pincement dans les interstices entre parties fixes et mobiles de la roue
- gradients de pressions
- Cisaillements dus aux gradients de vitesses

Seuil de prise d'eau





## 2. Principaux risques de collisions au niveau d'une centrale

### Risques de blessures / mortalités au passage par les ouvrages évacuateurs

- Expérimentations menées sur les **Salmonidés** aux USA (mortalités de 0% à 70%)
- Critères pour assurer un passage sain des **smolts** et de l'**anguille** :
  - 1) Vitesse d'impact du poisson **< 15-16 m/s**
  - 2) Présence d'une **fosse de profondeur suffisante** (1/4 de la chute et  $H_{\min}$  de 1m)



- En général, les ouvrages évacuateurs constituent le meilleur chemin pour les poissons dévalant au niveau des petites centrales hydroélectriques

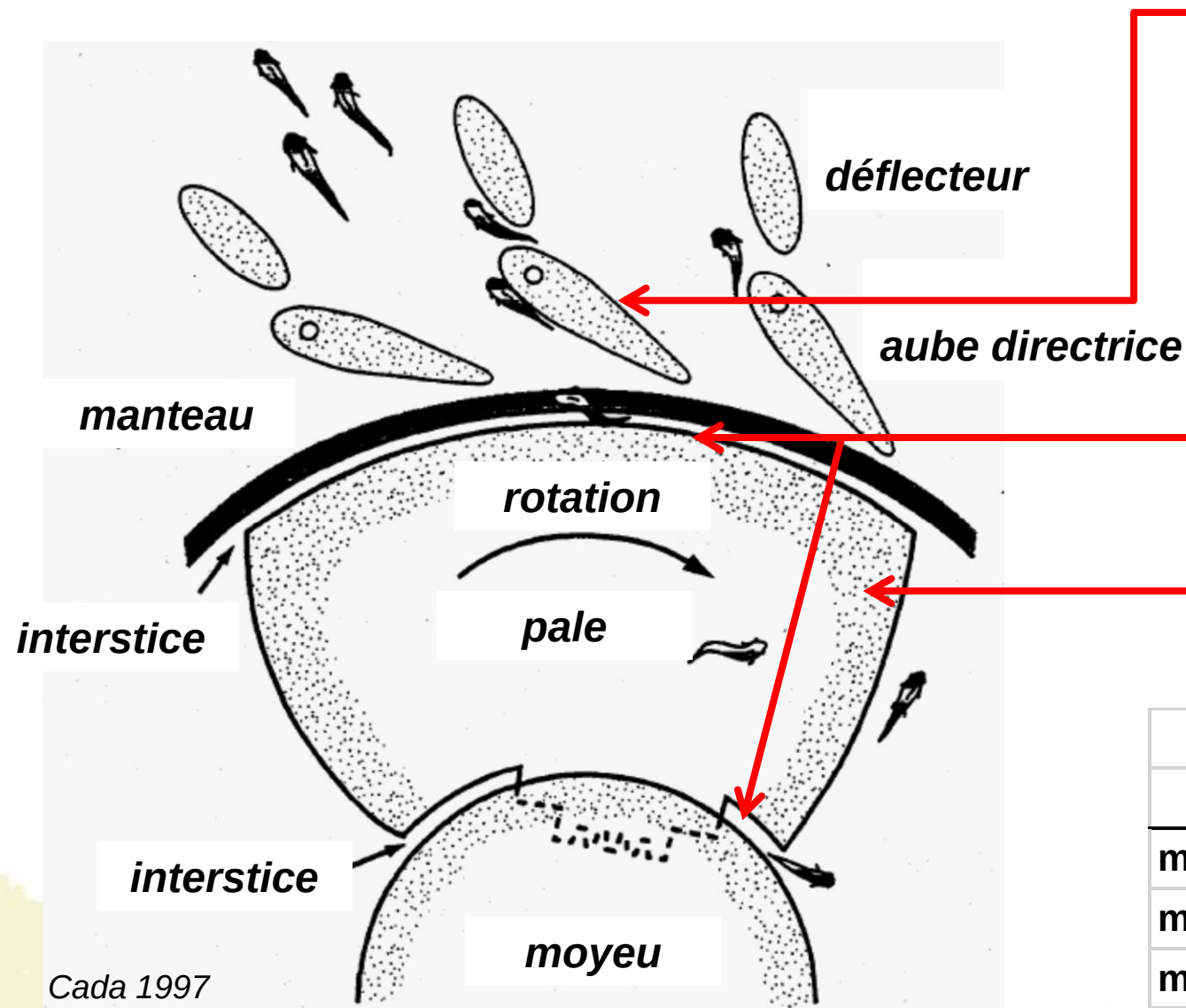




## 2. Principaux risques de collisions au niveau d'une centrale

### Risques de blessures / mortalités au passage par les turbines

Risques liés aux éléments mobiles et fixes de la turbine (chocs et pincements)



Cada 1997



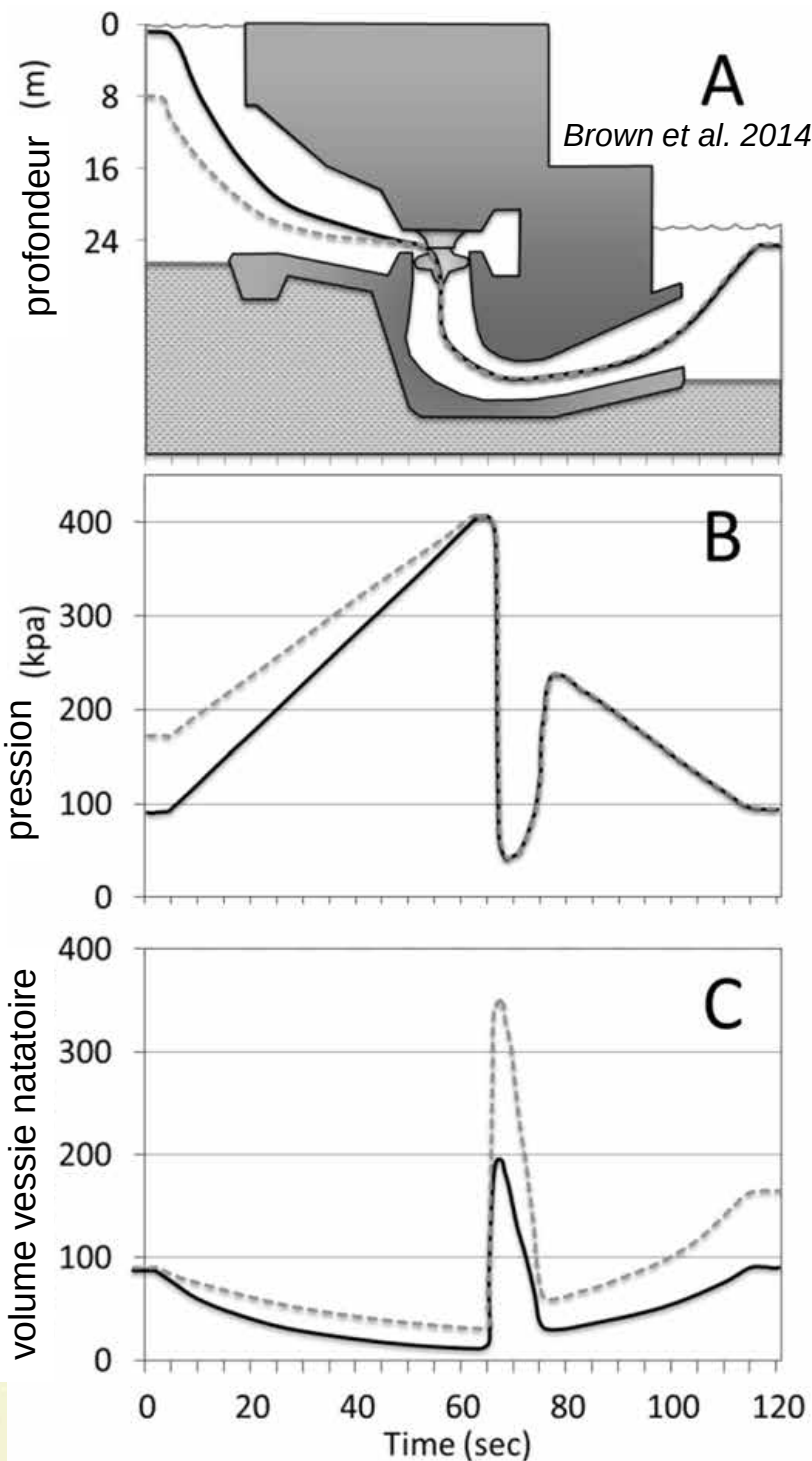
Vitesses de rotation en périphérie de la roue

|         | FRANCIS [nb : 129] |      | KAPLAN [nb : 20] |      |
|---------|--------------------|------|------------------|------|
|         | m/s                | km/h | m/s              | km/h |
| min     | 11                 | 40   | 13               | 47   |
| moyenne | 27                 | 97   | 22               | 78   |
| mediane | 29                 | 104  | 21               | 76   |
| max     | 38                 | 138  | 32               | 113  |



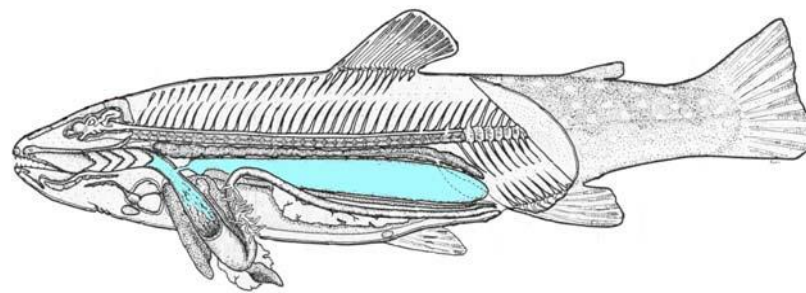
## 2. Principaux risques de collisions au niveau d'une centrale

### Risques de blessures / mortalités au passage par les turbines



#### Risques liés aux variations de pressions dans la turbine

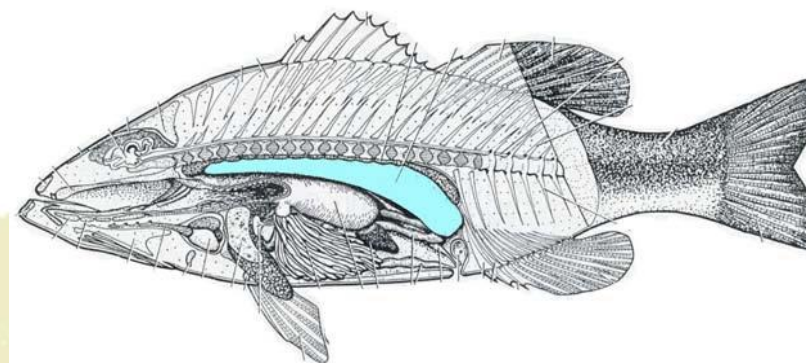
- Diminution quasi instantanée de la pression à des **valeurs sous-atmosphériques** lors du passage à travers la roue
- Risques en fonction des pressions d'acclimatation et minimale
- Conséquences : expansion rapide du gaz de la vessie natatoire et risques d'embolies



Brown et al. 2007

#### Poissons physostomes

(Salmonidés, Cyprinidés, anguille) : vessie natatoire reliée à l'œsophage permettant d'évacuer ou d'absorber les gaz



#### Poissons physoclistes (Percidés...)

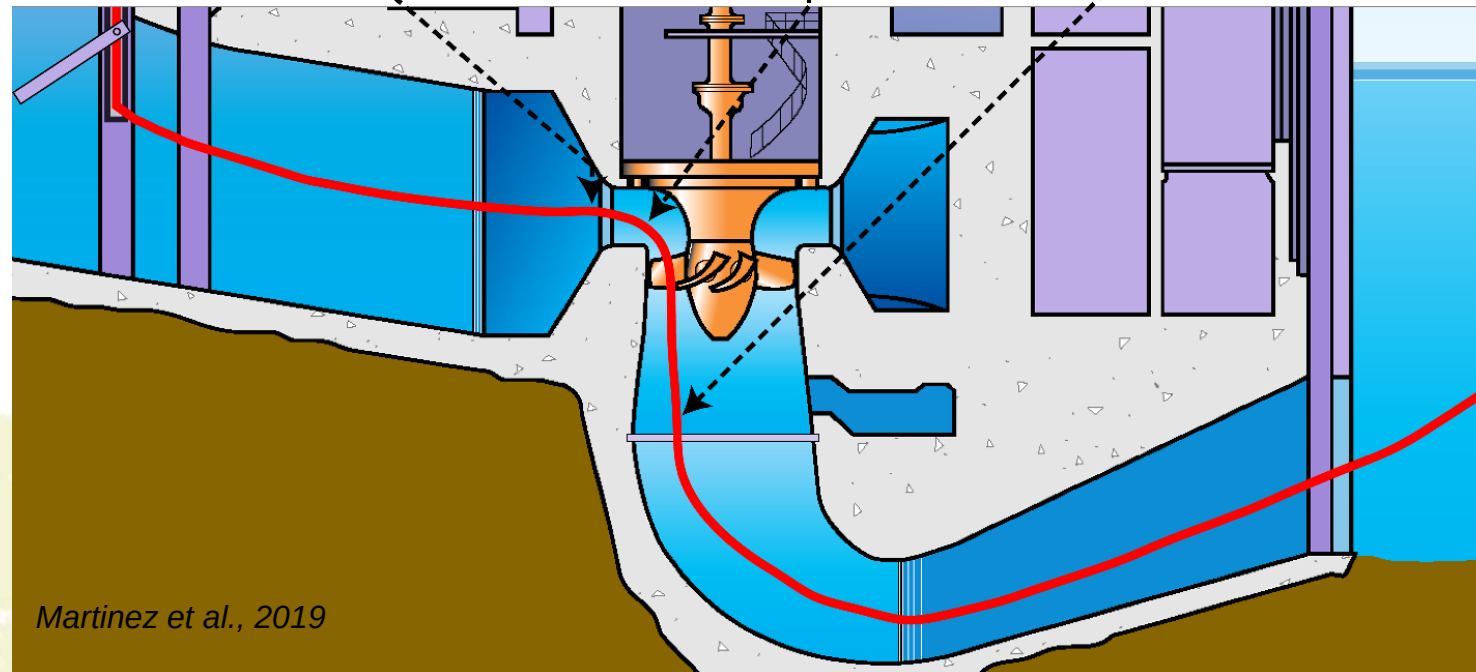
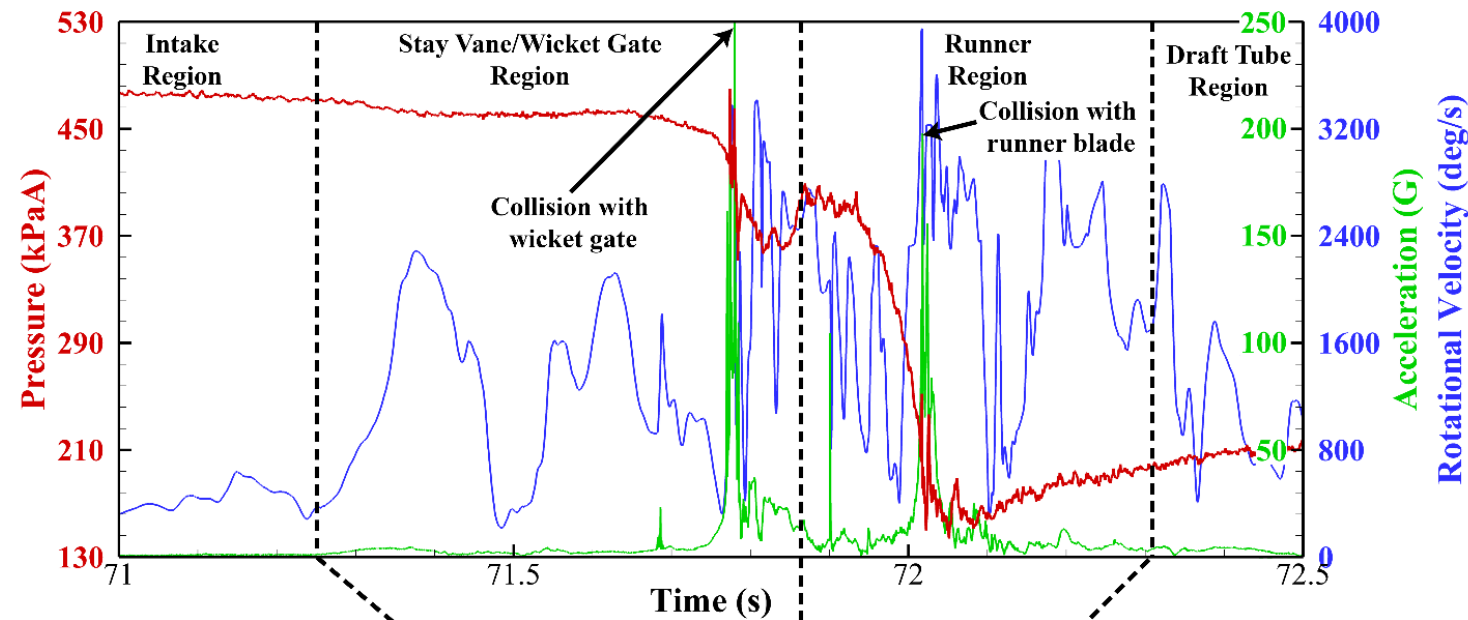
(Percidés...) : vessie natatoire non reliée à l'œsophage



## 2. Principaux risques de collisions au niveau d'une centrale

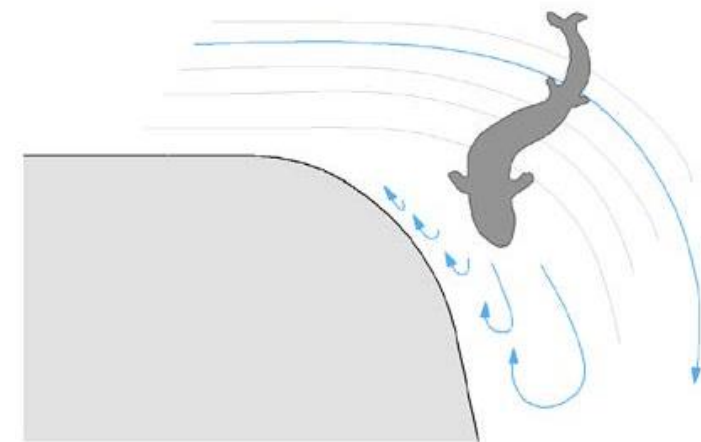
### Risques de blessures / mortalités au passage par les turbines

Risques liés aux cisaillements (accélérations et décélérations brutales) et aux turbulences

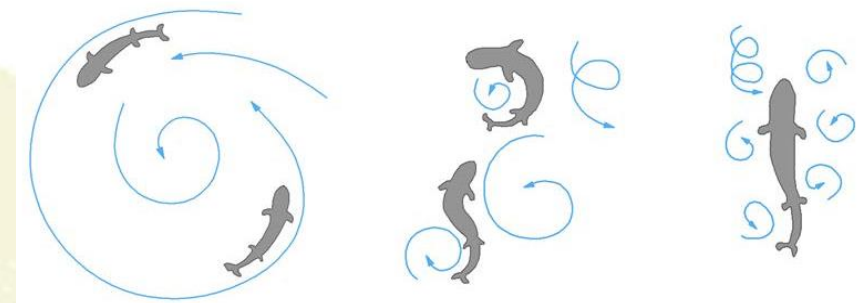


Martinez et al., 2019

- Forts gradients de vitesses dus aux écoulements curvilignes et aux turbulences au niveau de la roue
- Risques de déformations et de torsions des poissons



Stoltz & Winkler 2017



CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES ET COLLISIONS AVEC LA FAUNE :  
DES DONNÉES AUX SOLUTIONS  
JOURNÉE D'ÉCHANGES TECHNIQUES  
Paris | Grande Arche | La Défense 2 juillet 2019

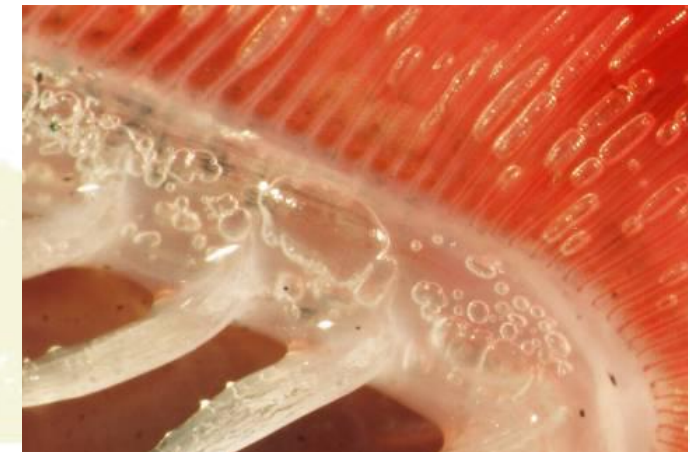


AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT





## 2. Principaux risques de collisions au niveau d'une centrale



CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES ET COLLISIONS AVEC LA FAUNE :  
DES DONNÉES AUX SOLUTIONS  
JOURNÉE D'ÉCHANGES TECHNIQUES  
Paris | Grande Arche | La Défense 2 juillet 2019



AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT





# 3. Évaluer les risques de dommage causées par les turbines

## Importance des mortalités par types de turbines

- Les mortalités lors du passage par les turbines dépendent de leurs **caractéristiques** (hauteur de chute, débit, diamètre de la roue, vitesse de rotation...) et de la **taille des individus**
- Des expérimentations *in situ* (USA, Canada, Suède, Allemagne, Pays-Bas et France) ont permis de quantifier l'importance des mortalités et d'établir des formules prédictives pour les smolts de saumon et l'anguille



© Normandeau Associates, Inc.

CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES ET COLLISIONS AVEC LA FAUNE :  
DES DONNÉES AUX SOLUTIONS  
JOURNÉE D'ÉCHANGES TECHNIQUES  
Paris | Grande Arche | La Défense 2 juillet 2019



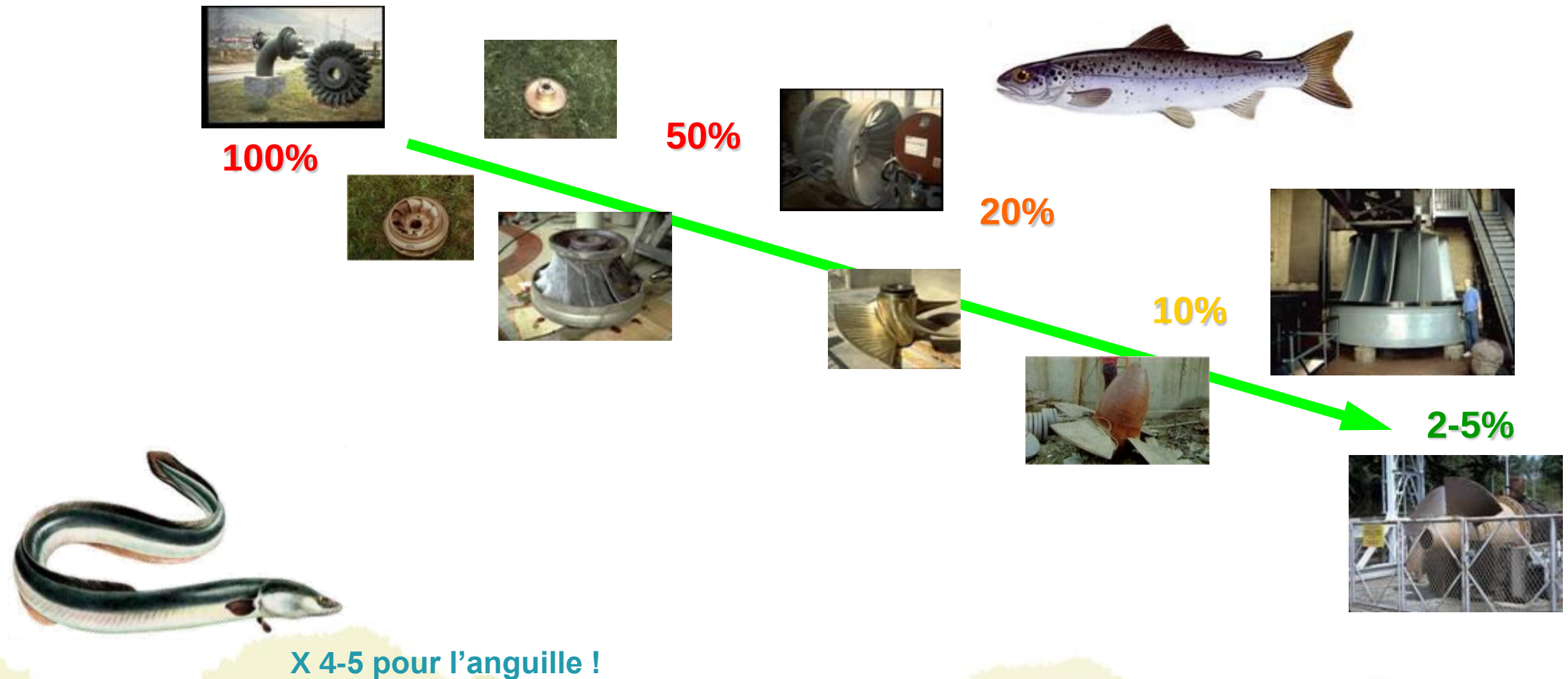
AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT





# 3. Évaluer les risques de dommage causées par les turbines

## Importance des mortalités par types de turbines





# 4. Solutions pour limiter / éviter les mortalités au passage par les turbines

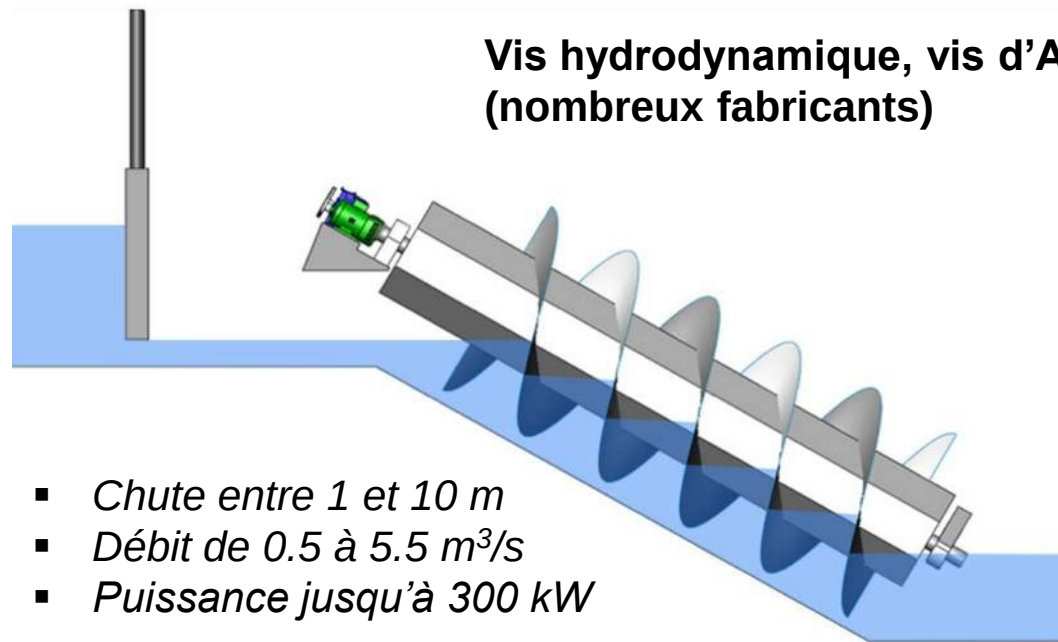
## Pour les centrales jusqu'à ~100 m³/s

Turbines ichtyocompatibles (→ 0% de mortalités)

- Le caractère « ichtyocompatible » d'une machine n'est reconnu **que suite à des tests biologiques positifs**, et en aucun cas à partir de ses caractéristiques de fonctionnement (vitesse de rotation lente ...)



Vis hydrodynamique, vis d'Archimède  
(nombreux fabricants)

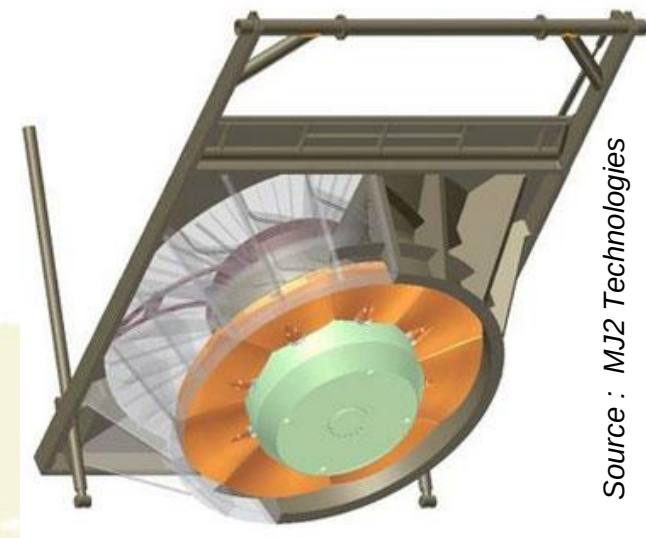


- Chute entre 1 et 10 m
- Débit de 0.5 à 5.5 m³/s
- Puissance jusqu'à 300 kW

Turbine ichtyophile® VLH  
(société MJ2 technologies)



- Chute entre 1.4 et 2.8 m
- Débit de 10 à 30 m³/s
- Puissance de 100 à 500 kW



Source : MJ2 Technologies

- Pour les centrales existantes → nécessite de changer les machines
- Intéressant pour les nouvelles installations



# 4. Solutions pour limiter / éviter les mortalités au passage par les turbines

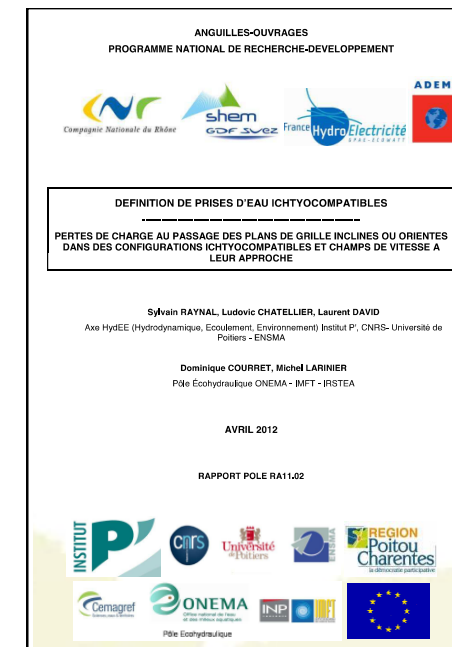
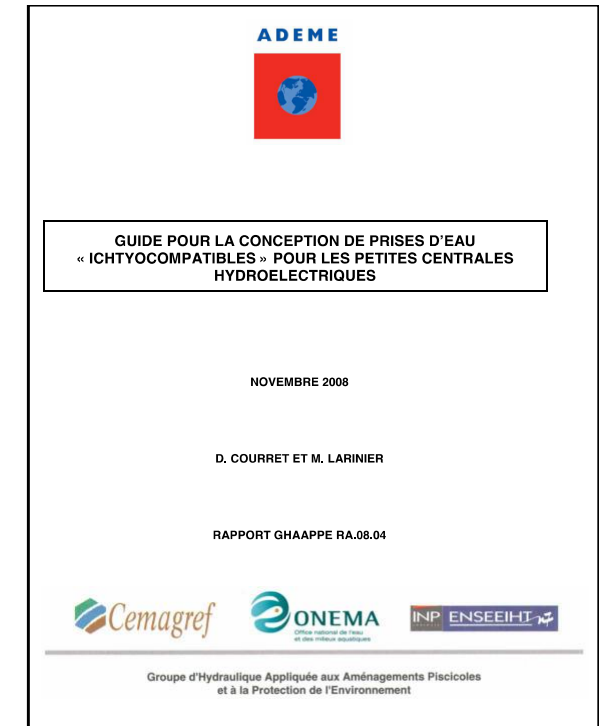
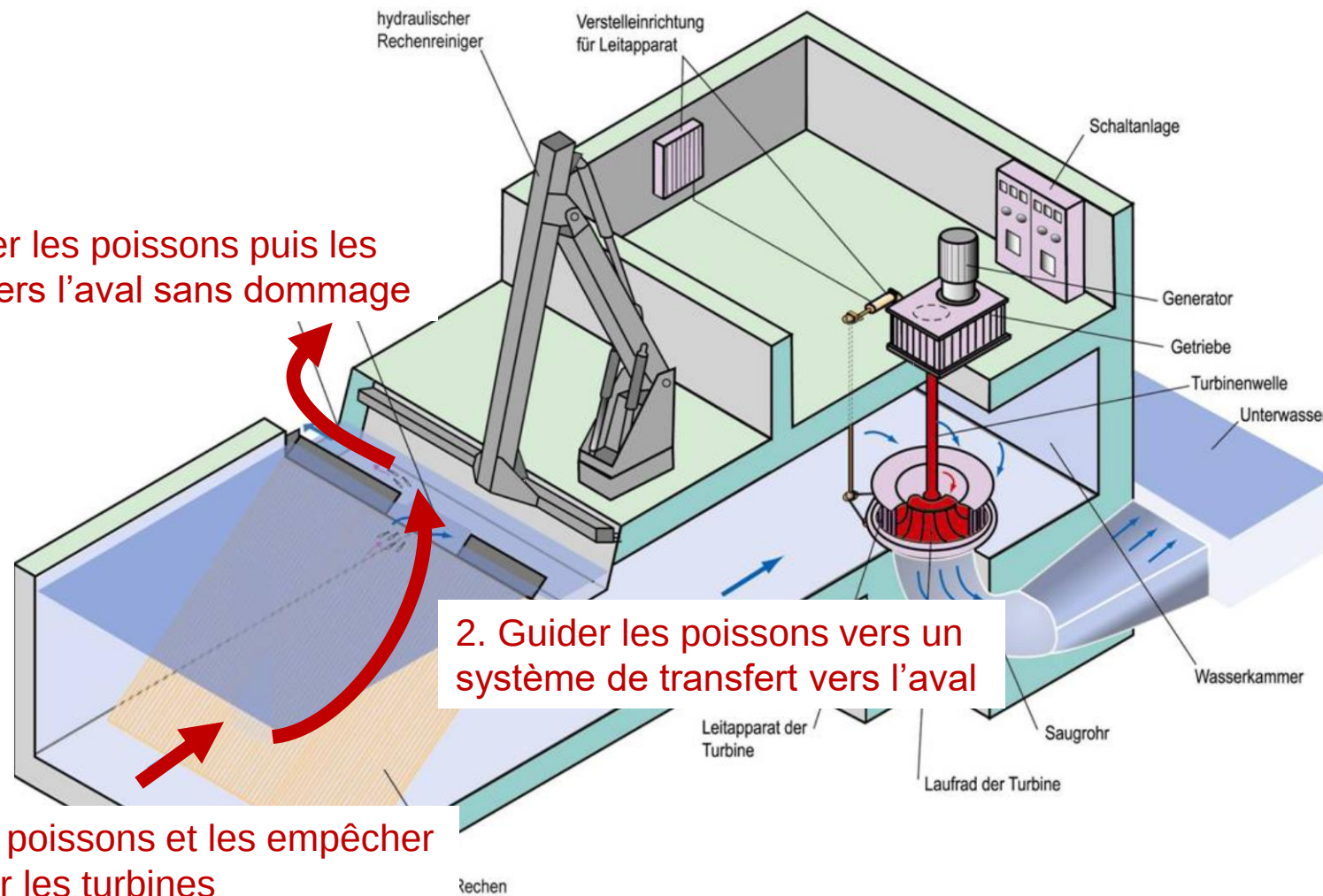
## Pour les centrales jusqu'à ~100 m³/s

Prises d'eau ichtyocompatibles : système de grilles fines inclinées ou orientées associé à des exutoires de dévalaison

3. Récupérer les poissons puis les transférer vers l'aval sans dommage

2. Guider les poissons vers un système de transfert vers l'aval

1. Arrêter les poissons et les empêcher de passer par les turbines





# 4. Solutions pour limiter / éviter les mortalités au passage par les turbines

## Pour les centrales jusqu'à ~100 m<sup>3</sup>/s

- ~350 prises d'eau ichtyocompatibles installées aujourd'hui en France



CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES ET COLLISIONS AVEC LA FAUNE :  
DES DONNÉES AUX SOLUTIONS  
JOURNÉE D'ÉCHANGES TECHNIQUES  
Paris | Grande Arche | La Défense 2 juillet 2019



AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT





# 4. Solutions pour limiter / éviter les mortalités au passage par les turbines

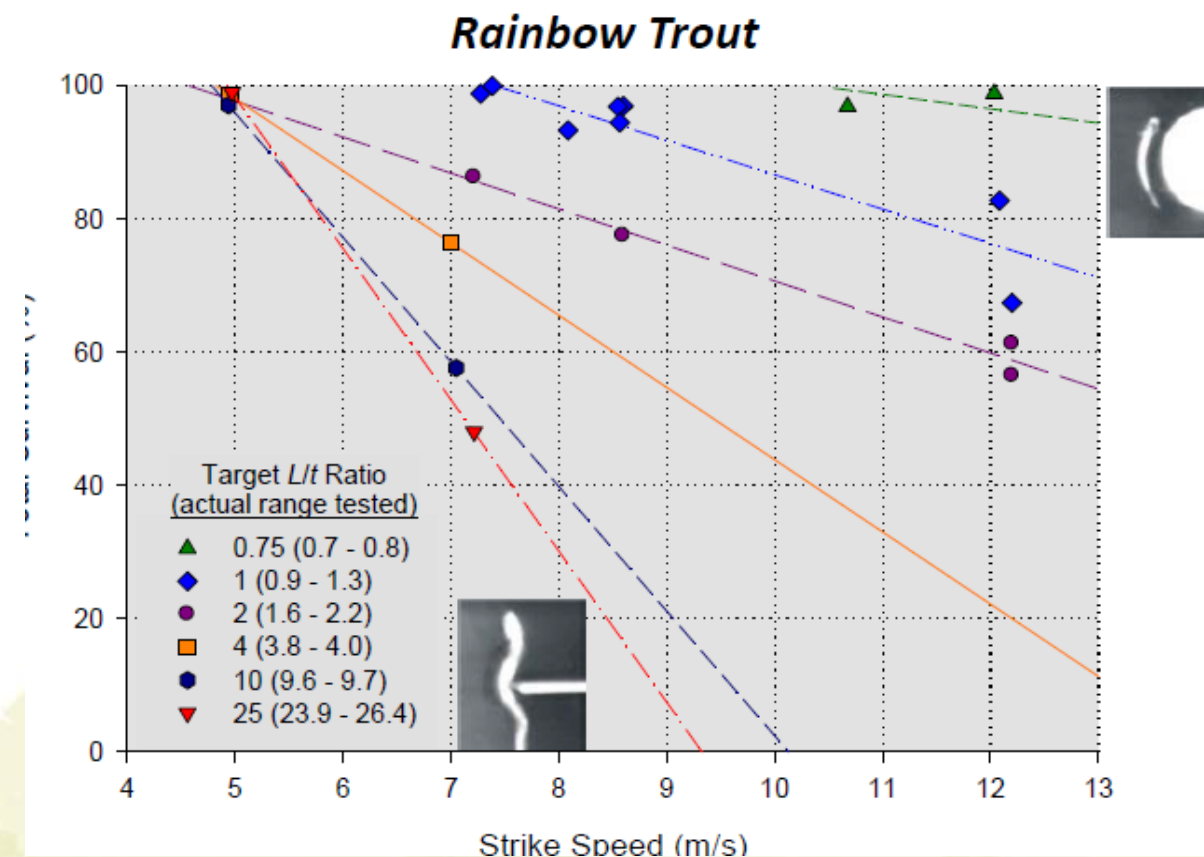
## Pour les centrales > 100 m³/s

Réflexions récentes et toujours en cours...

- Faisabilité de prises d'eau ichtyocompatibles → **problème du dégrillage**
- Arrêts ciblés de turbinage pour l'anguille ? Masques de surface pour les smolts ?
  - nécessité **d'évaluer l'efficacité biologique** des mesures
  - **Notion de coûts** à prendre en compte

Développement prometteur de grosses turbines générant de (très) faibles mortalités

- Travaux de recherche en cours pour les centrales de la côte ouest des USA
- Démarche d'étude conjointe entre EDF R&D et pôle écohydraulique AFB-IMFT
- Modification du design des roues pour :
  - réduire la dangerosité des impacts : bords des pales arrondis et épais
  - Limiter les risques de pincement : interstices entre pales et moyeu / manteau limités à 2 mm





# 5. Evaluation de l'efficacité des prises d'eau ichtyocompatibles

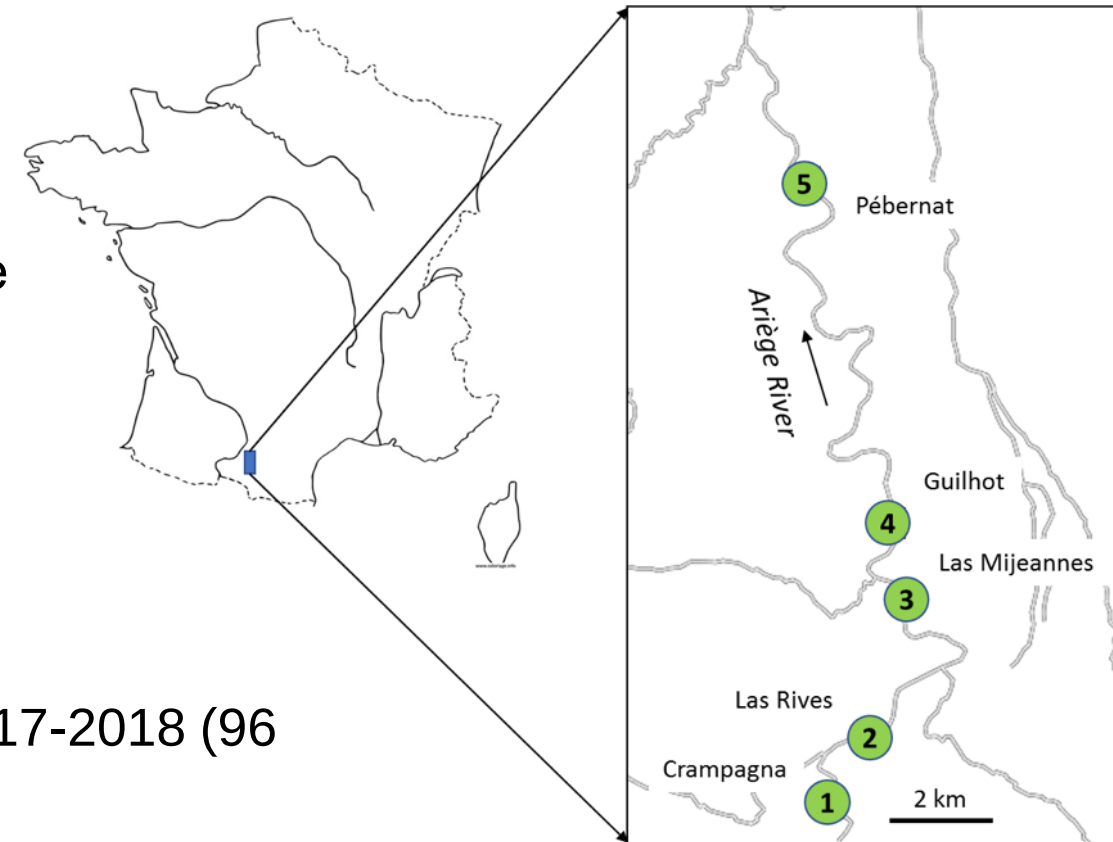
AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



pôle recherche et développement en écohydraulique



- 5 prises d'eau de centrales sur l'Ariège (09) : 4 plans de grille inclinée et 1 plan de grille orientée
- $Q_{\text{équipement}}$  : 32 à 50 m<sup>3</sup>/s et espacement  $e = 20$  mm
- Suivi de la dévalaison des smolts de saumon atlantique aux printemps 2017 (99 individus) et 2018 (100 individus)
- Suivi de la dévalaison des anguilles argentées aux hivers 2017-2018 (96 individus) et 2018-2019 (98 individus)
- Technique de suivi par radiotélémétrie (marquage par émetteurs radio et détection des voies de passage par antennes immergées et aériennes)



CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES ET COLLISIONS AVEC LA FAUNE :  
DES DONNÉES AUX SOLUTIONS  
JOURNÉE D'ÉCHANGES TECHNIQUES  
Paris | Grande Arche | La Défense 2 juillet 2019



AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT





# 5. Evaluation de l'efficacité des prises d'eau ichtyocompatibles



| 2017          | Nombre de franchissement par voie |              |                 |       | Efficacité prise d'eau<br>E / (E+P) |
|---------------|-----------------------------------|--------------|-----------------|-------|-------------------------------------|
|               | Barrage                           | Exutoire (E) | Prise d'eau (P) | Total |                                     |
| Crampagna     | 62                                | 15           | 0               | 77    | 100%                                |
| Las Rives     | 54                                | 20           | 0               | 74    | 100%                                |
| Las Mijeannes | 42                                | 28           | 0               | 70    | 100%                                |
| Guilhot       | 39                                | 21           | 0               | 60    | 100%                                |
| Pébernat      | 8                                 | 44           | 2               | 54    | 96%                                 |
| Global        | 205                               | 128          | 2               | 335   | 98%                                 |

| 2018          | Nombre de franchissement par voie |              |                 |       | Efficacité prise d'eau<br>E / (E+P) |
|---------------|-----------------------------------|--------------|-----------------|-------|-------------------------------------|
|               | Barrage                           | Exutoire (E) | Prise d'eau (P) | Total |                                     |
| Crampagna     | 19                                | 55           | 0               | 74    | 100%                                |
| Las Rives     | 12                                | 48           | 0               | 60    | 100%                                |
| Las Mijeannes | 6                                 | 46           | 0               | 52    | 100%                                |
| Guilhot       | 7                                 | 31           | 0               | 38    | 100%                                |
| Pébernat      | 18                                | 16           | 0               | 34    | 100%                                |
| Global        | 62                                | 196          | 0               | 258   | 100%                                |



| Las Rives | Nb de passage par   |           |          | Efficacité prise d'E |
|-----------|---------------------|-----------|----------|----------------------|
|           | barrage + prise d'E | prise d'E | exutoire |                      |
| 2017      | 46                  | 42        | 34       | 81,0                 |
| 2018      | 91                  | 60        | 54       | 90,0                 |
| Total     | 137                 | 102       | 88       | 86,3                 |

| Las Mijeannes | Nb de passage par   |           |          | Efficacité prise d'E |
|---------------|---------------------|-----------|----------|----------------------|
|               | barrage + prise d'E | prise d'E | exutoire |                      |
| 2017          | 54                  | 49        | 39       | 79,6                 |
| 2018          | 80                  | 65        | 61       | 93,8                 |
| Total         | 134                 | 114       | 100      | 87,7                 |

| Guilhot | Nb de passage par   |           |          | Efficacité prise d'E |
|---------|---------------------|-----------|----------|----------------------|
|         | barrage + prise d'E | prise d'E | exutoire |                      |
| 2017    | 41                  | 35        | 33       | 94,3                 |
| 2018    | 69                  | 18        | 18       | 100,0                |
| Total   | 110                 | 53        | 51       | 96,2                 |

| Pébernat | Nb de passage par   |           |          |               | Efficacité prise d'E |
|----------|---------------------|-----------|----------|---------------|----------------------|
|          | barrage + prise d'E | prise d'E | exutoire | vanne de toit |                      |
| 2017     | 52                  | 50        | 18       | 20            | 76,0                 |
| 2018     | 64                  | 61        | 7        | 54            | 100,0                |
| Total    | 116                 | 111       | 25       | 74            | 89,2                 |

- Ces retours d'expériences accréditent les critères de conception et de dimensionnement proposés
- Ces solutions de réduction ne traitent pas les autres impacts éventuels sur la dévalaison liés à la retenue (temps de séjour, désorientation, prédation...)



# Merci de votre attention...



CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES ET COLLISIONS AVEC LA FAUNE :  
DES DONNÉES AUX SOLUTIONS  
JOURNÉE D'ÉCHANGES TECHNIQUES  
Paris | Grande Arche | La Défense 2 juillet 2019



**AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ**  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

