

# La surveillance hydroécologique de l'environnement des CNPE d'EDF : vers une meilleure connaissance du fonctionnement de l'écosystème aquatique

EDF CIDEN – Isabelle JAQUELET 20 juin 2012

---

Reprise et annotée par JJ Herou avec des données  
diverses et publiques postérieures en 2022

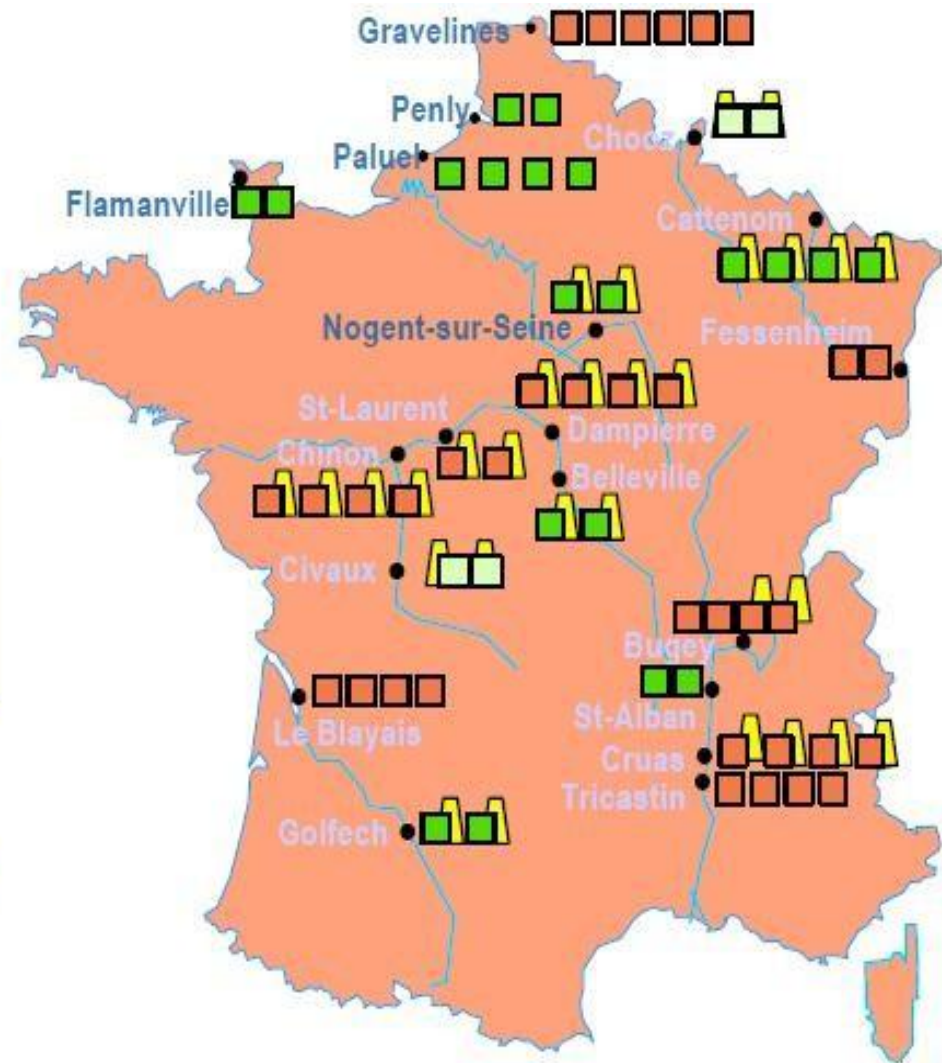


# Les centrales Nucléaire de Production d'électricité (les CNPE)

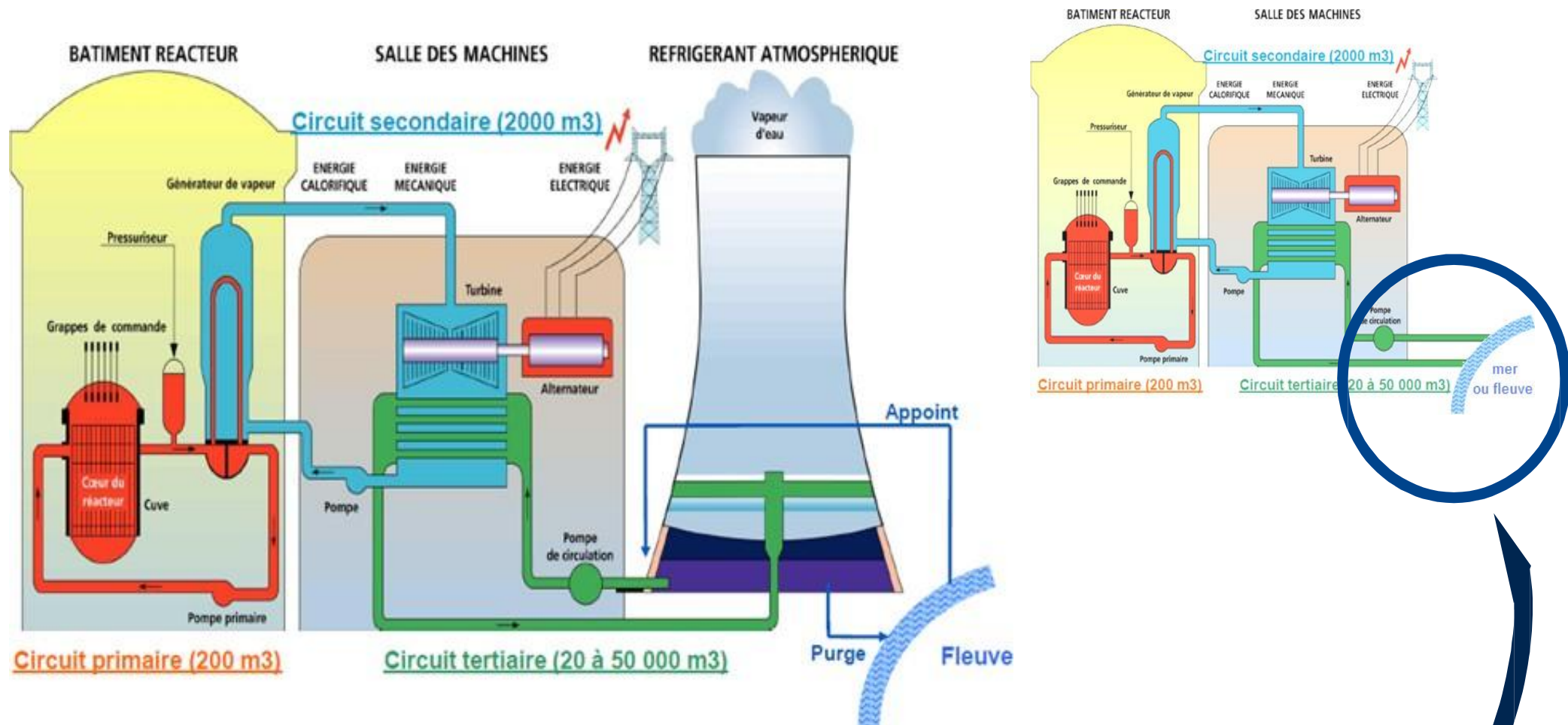
- 19 centrales
- 58 tranches en fonctionnement

Palier	REP 900 MW	REP 1300 MW	REP 1450 MW
	■	■	■

- Circuit de refroidissement fermé
- Circuit de refroidissement ouvert



# Les 3 circuits d'eau



2 types de circuits tertiaires :

- Fermé avec tour aéroréfrigérante (sur 11 CNPE).
- Ouvert avec prélèvement et rejet direct en mer ou rivière (sur 9 CNPE).

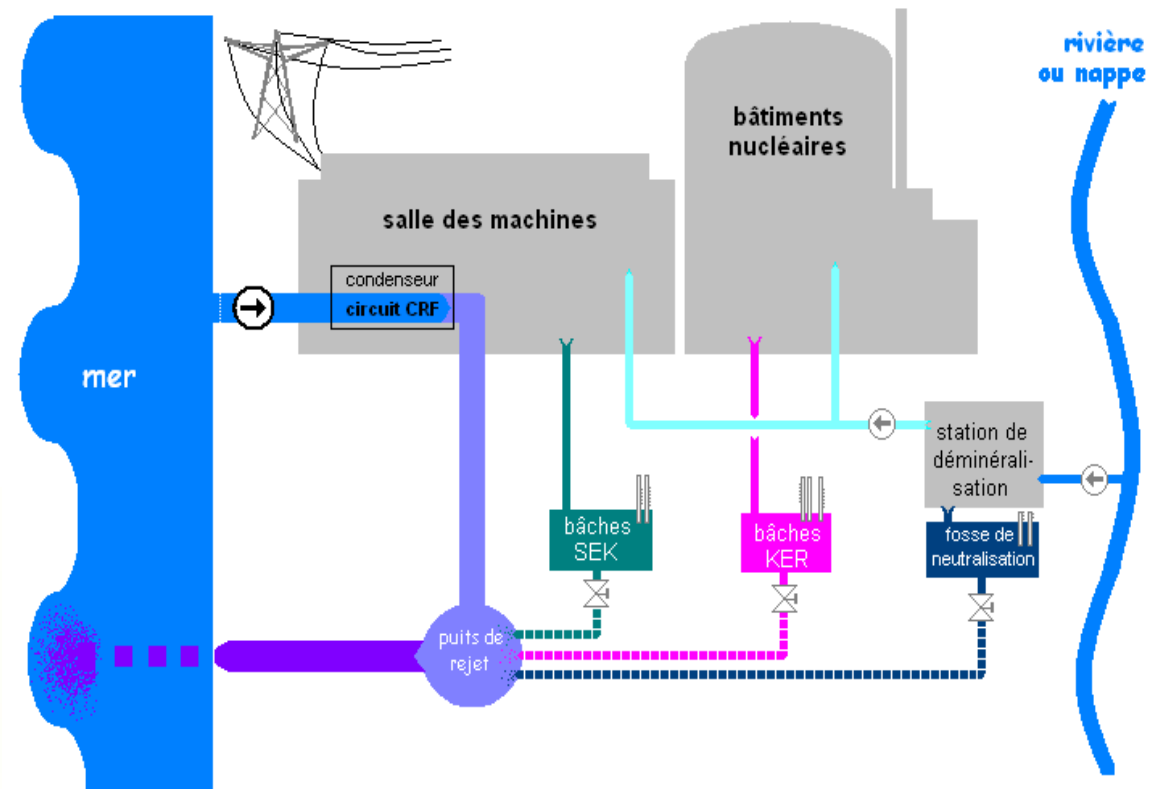
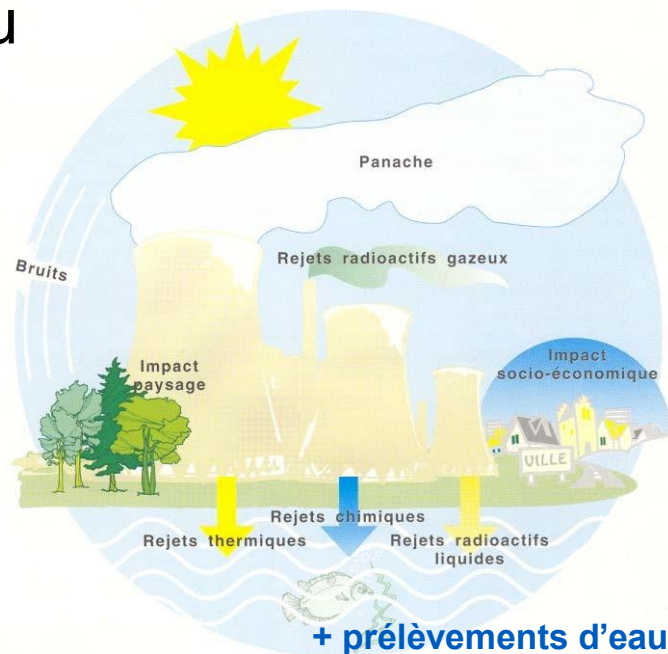
# Pourquoi une surveillance hydroécologique ?

## ► Rejets chimiques

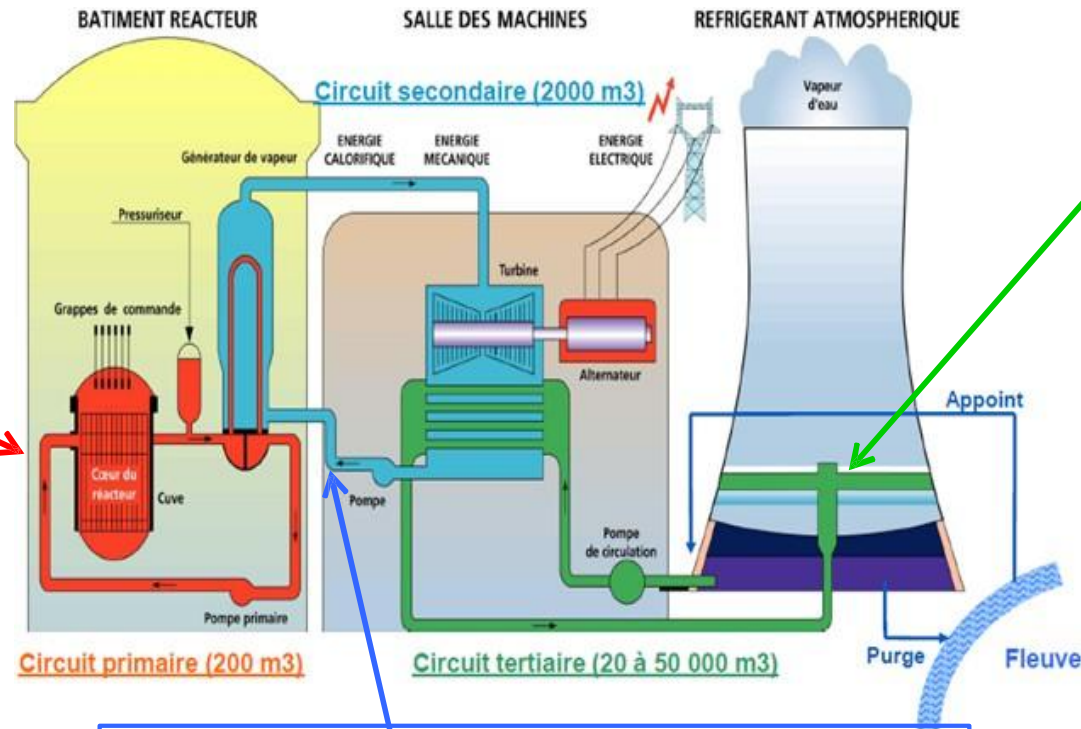
- Liés aux conditionnements des circuits
- Liés à l'usure des circuits
- Liés aux traitements biocides

## ► Rejets thermiques

## ► Ouvrages de prélèvements d'eau



# Nature des rejets chimiques dans l'eau : approche par les produits de conditionnement des circuits



**Acide borique** =  
absorbant  
neutronique (contrôle  
de la réaction)

**Lithine** = base pour  
limiter la corrosion et  
donc les dépôts actifs

**Hydrazine** =  
réducteur utilisé pour  
éliminer l'oxygène du  
circuit primaire au  
démarrage

**Traitement biocide**  
**Acide sulfurique ou**  
**chlorhydrique** =  
contre le tartre des  
tours  
aéroréfrigérantes

**Morpholine ou éthanolamine** = base pour  
limiter la corrosion et donc les dépôts actifs

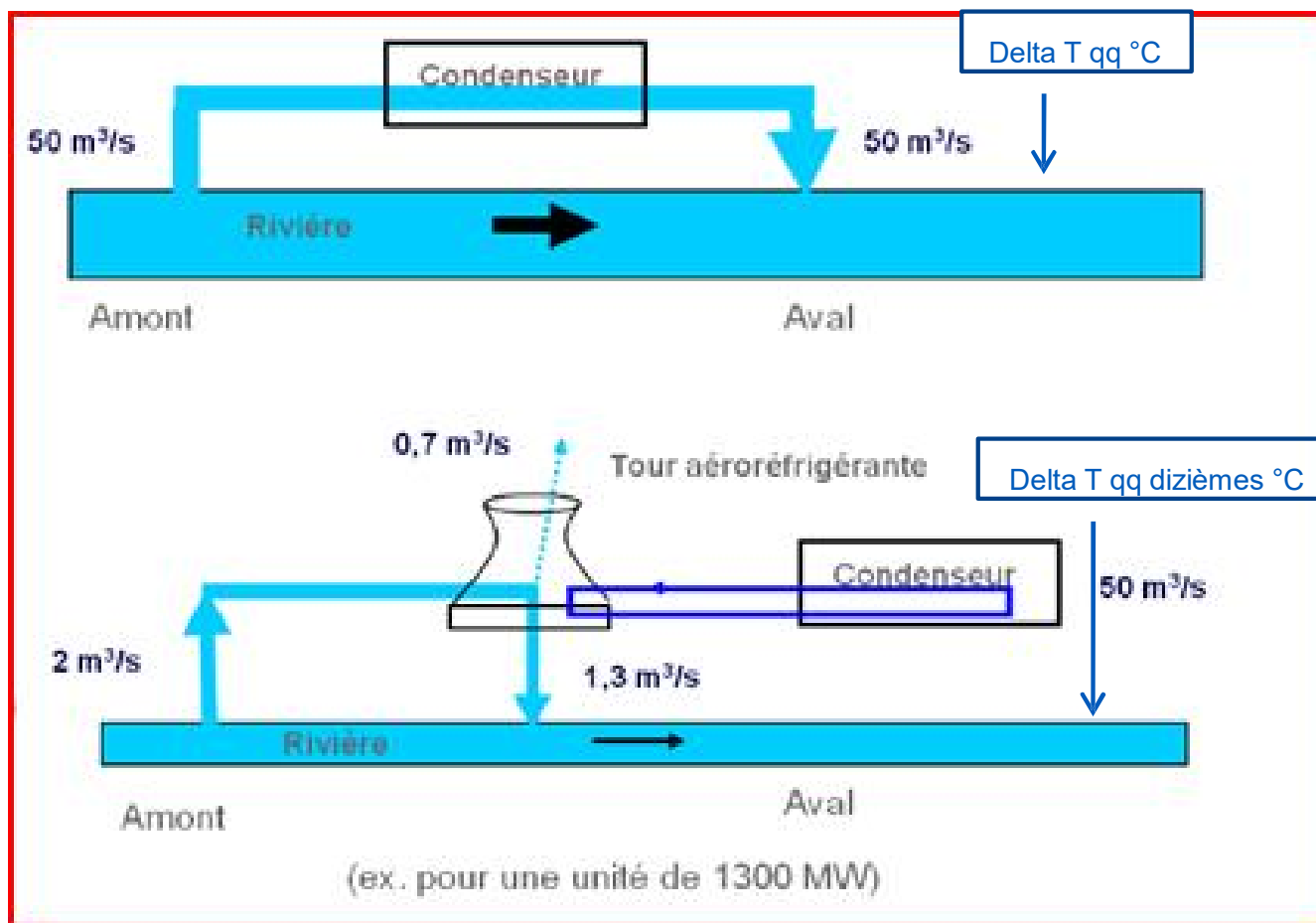
**Hydrazine** = réducteur utilisé pour éliminer  
les traces d'oxygène et réduire certains  
oxydes

**Phosphate** = base utilisée dans les circuits  
en contact avec l'air

# Nature des rejets thermiques dans l'eau

Selon les deux types de refroidissement :

Circuit « ouvert »



Circuit « fermé »

# Surveillance hydroécologique du milieu

## Contexte

- Suivi du milieu depuis la mise en service (20 à 30 ans)
- Suivi réglementaire (depuis arrêté du 26/11/1999) défini dans les prescriptions ASN relatives aux modalités de prélèvements et de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux du CNPE



## Objectifs de la surveillance

- Fournir un état des lieux annuel de l'écosystème aquatique et de son fonctionnement
- Décrire les **évolutions spatiales et temporelles** de l'écosystème aquatique,
- Mettre en évidence tout **changement du milieu** imputable au fonctionnement .

# Surveillance hydroécologique du milieu

- Suivi des compartiments biologiques et paramètres physico-chimiques,
- Complété au cas par cas selon les spécificités locales.

## Supports de la communication

- Registres réglementaires mensuels,
- Bulletin Mensuel Environnement,
- **Rapport annuel de surveillance de l'environnement (CNPE par CNPE).**
- *Communications écrites ou affichées à des congrès nationaux et internationaux.*





# La surveillance hydroécologique des CNPE bord de mer

## Programme de surveillance pérenne adapté aux spécificités de chaque site et portant sur :

- Les caractéristiques environnementales (plusieurs campagnes / an)
  - hydrologie et température
- Le domaine pélagique (en pleine eau). Ex :
  - mesures physico-chimiques,
  - microbiologie, Phyto et zoo plancton
- Le domaine benthique ( sur les fonds). Par ex :
  - phyto et zoo benthos, macrofaune
- L'halieutique (ressources liées à la pêche). Par ex :
  - Crustacés et Poissons.

## Capitalisation

Analyse long terme capitalisée dans des synthèses hydroécologiques sur plusieurs années réalisées pour certains dossiers réglementaires



# La surveillance hydroécologique des CNPE bord de rivière

## Prestataire

BE ou partenaires (IRSTEA, universités) locaux (connaissance fine du milieu), à l'amont et à l'aval

## Capitalisation

Analyse long terme capitalisée dans des synthèses hydroécologiques sur plusieurs années réalisées pour certains dossiers réglementaires



# Surveillance hydroécologique des CNPE bord de rivière

## Programme de surveillance pérenne adapté aux spécificités de chaque site et portant sur :

La physico-chimie, les micropolluants

Les compartiments : poissons, phytoplancton, organismes benthiques...

Par exemple :

- Analyses physico-chimique (dont paramètres physico-chimiques soutenant la biologie)
- Suivi des micropolluants métalliques
- Suivi de la biomasse phytoplanctonique (chlorophylle a)
- Suivi des macroinvertébrés benthiques (richesse taxonomique, liste faunistique, indice de qualité DCE lorsque pertinent et applicable)
- Campagnes de suivi piscicole (biomasse, densité, effectif, richesse taxonomique...)



Pour certains CNPE, programme de surveillance exceptionnelle (conditions climatiques) : CIV, TRI, BUG, NOG, GOL, CRU

# Les apports de la surveillance hydrobiologique dans la compréhension de l'état de l'écosystème aquatique

## Exemple :

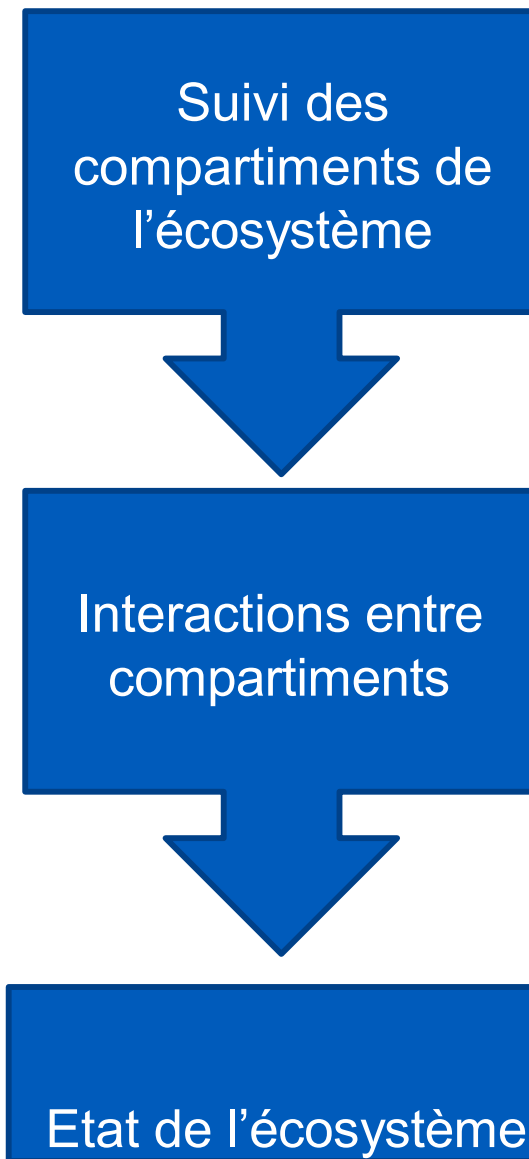
### La mise en évidence des phénomènes écologiques

Influence du changement climatique sur la structuration temporelle des peuplements piscicoles

Déplacement vers l'amont des poissons thermophiles

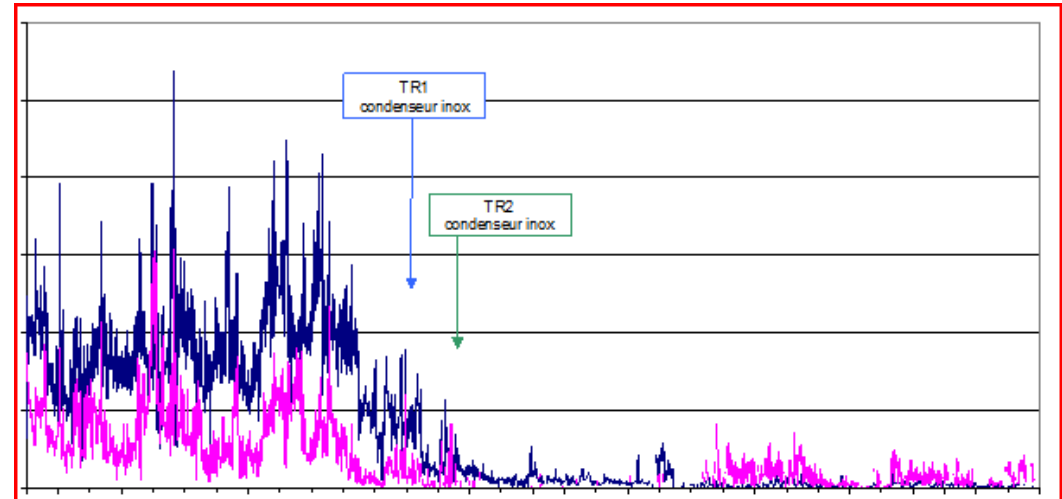
Concurrence pour une niche écologique entre spirulin et ablette sur le Haut Rhône

Arrivée d'espèces invasives : ex. de la moule zébrée (*Dreissena bugensis*) dans la Moselle (eaux de ballast)

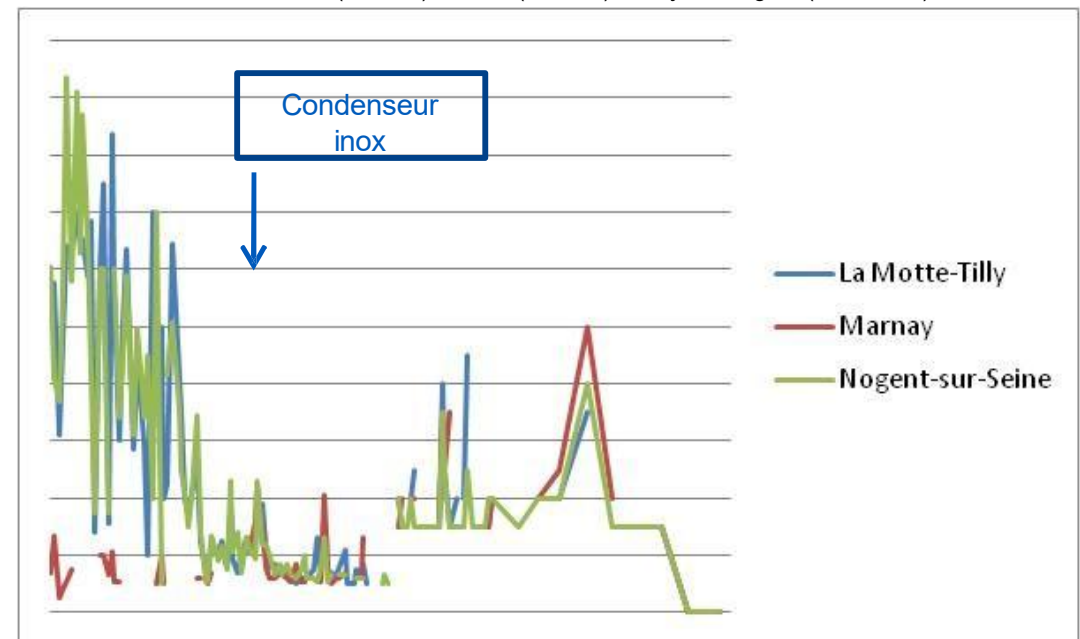


# Les apports de la surveillance hydrobiologique dans la compréhension de l'état de l'écosystème aquatique

- Exploitation dans les études d'impact pour :
  - Décrire les évolutions spatio-temporelles
  - Analyser les causes de ces évolutions / exploitation du CNPE :
    - Mise en cause d'un traitement,
    - Changement Matériel....
  - Analyse conjointe avec les données :
    - Des thermographies aériennes
    - Des inventaires de la biologie terrestre
    - Etc...



Flux en cuivre (en bleu) et zinc (en rose) au rejet à Nogent (1996-2003)

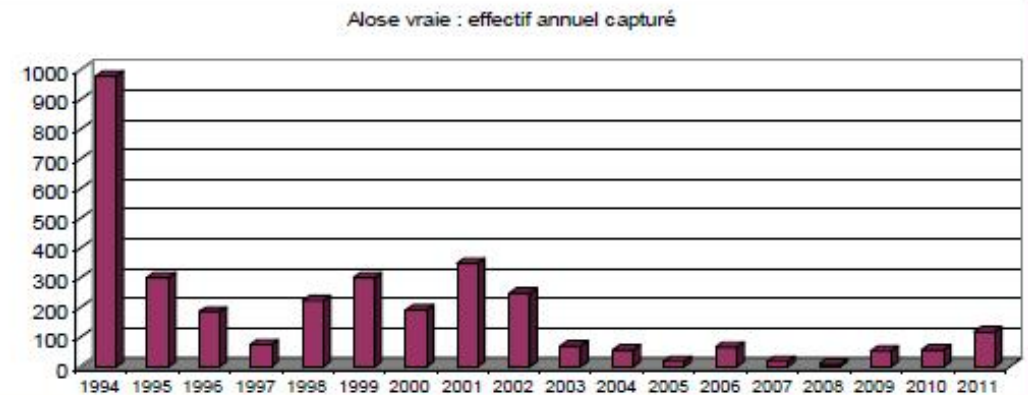


# Les apports de la surveillance hydrobiologique dans la compréhension de l'état de l'écosystème aquatique

## ► La réalisation d'études spécialisées

- Nombreux partenariats avec l'externe, par exemple :
- IRSTEA Bordeaux : peuplement de la grande Alose dans l'estuaire de la Gironde

### Pêches scientifiques de l'Esturial depuis 1994



### Rappel méthodologique

#### Équipement de pêche scientifique

2 haveneaux  
4 x 1 mètre



1 cadre de fond  
2 x 1,2 mètre

Volumes d'eau filtrée mesurés par des courantomètres

Réunion EDF  
23 mai 2012

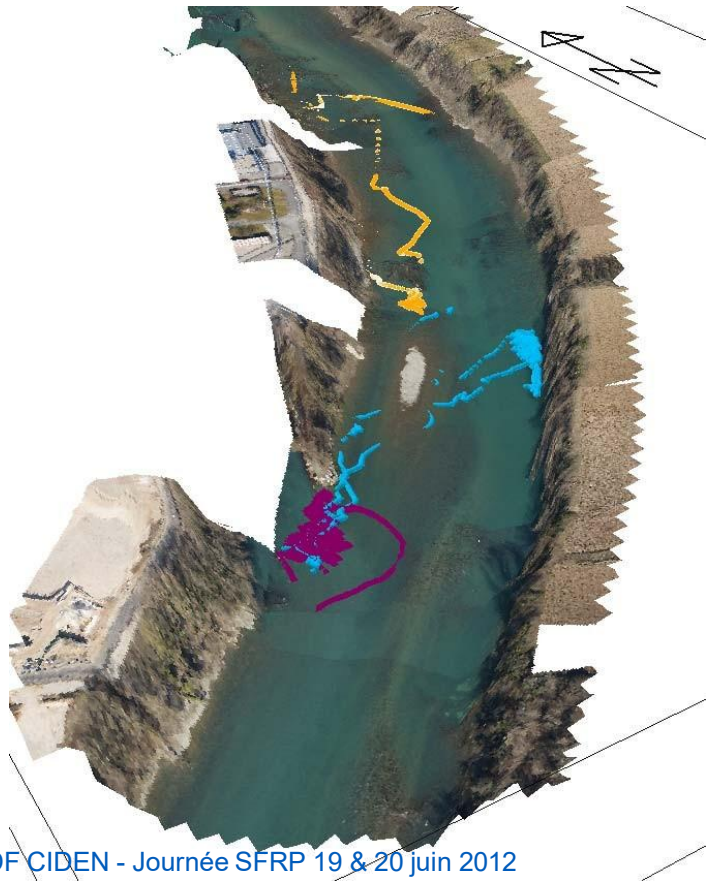


Filet en maillage de 18 mm étiré, poche terminale en tamis de 1mm

# Les apports de la surveillance hydrobiologique dans la compréhension de l'état de l'écosystème aquatique

## ► La réalisation d'études spécialisées

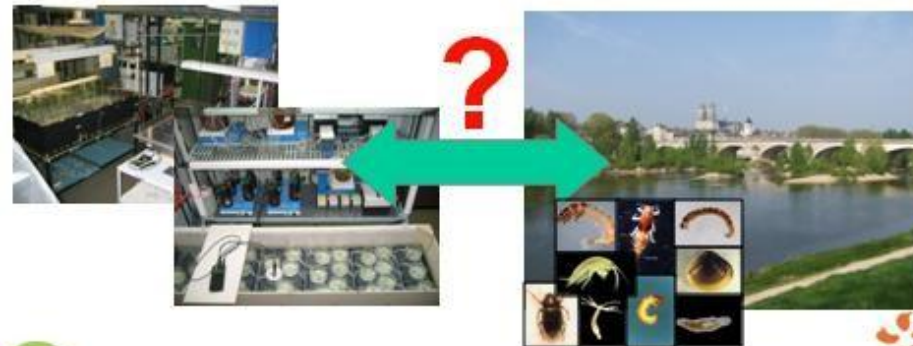
- Etude Rhône : relations entre thermie et hydrobiologie
- Projet ANR AMORE (Analyses Multi-critères pour le développement d'Outils d'aide à la décision en vue de la prévention des Risques Environnementaux, pilotage INERIS) : transfert des données écotoxicologiques aux milieux naturels.



AMORE

Tâche 2.6

Pertinence des évaluations vis-à-vis des conditions physico-chimiques et écologiques locales









# Aspect thermique Le long du Rhône

## Conséquences potentielles liées aux évolutions

Documents divers sur cette thématique collectés via

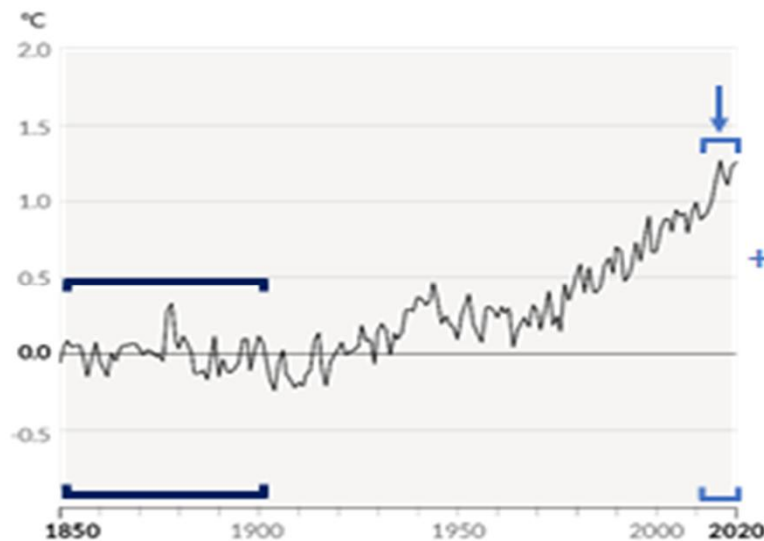
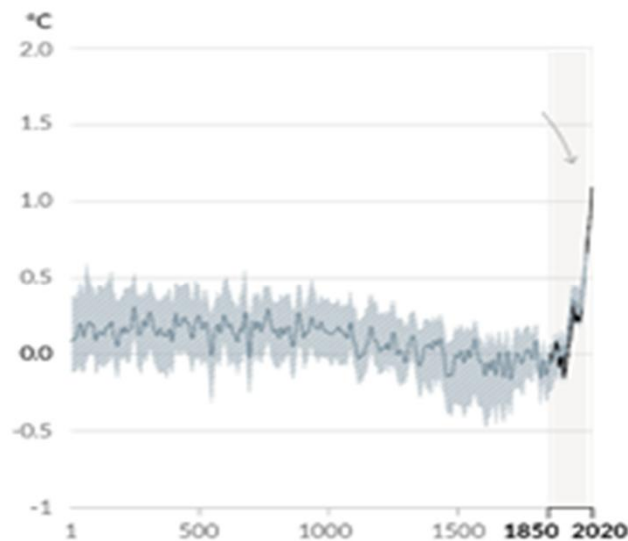
JJ Herou avec des données publiques

# Aspect thermique sur le Rhône

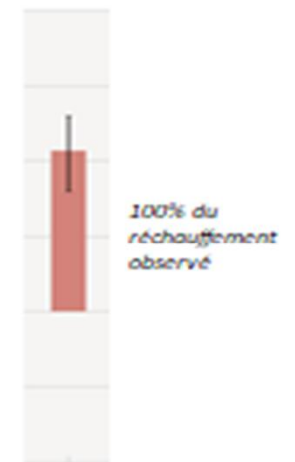
## Impacts hydro-biologiques des échauffements (en cours d'études)

Le réchauffement planétaire atteint 1,1°C – inédit depuis plus de 2 000 ans

Changement observé de température de surface planétaire depuis 1850-1900

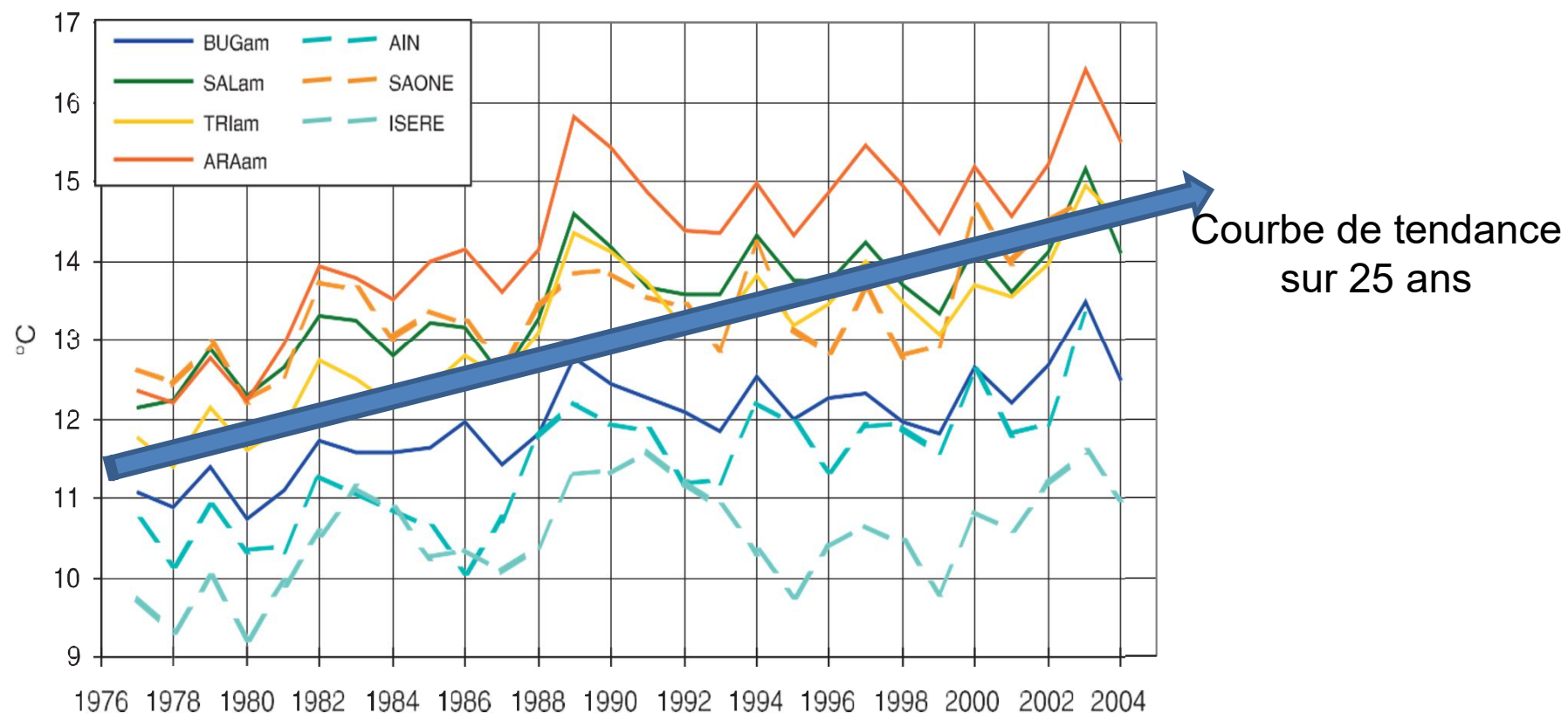


Réchauffement dû à l'influence humaine



# Température du fleuve

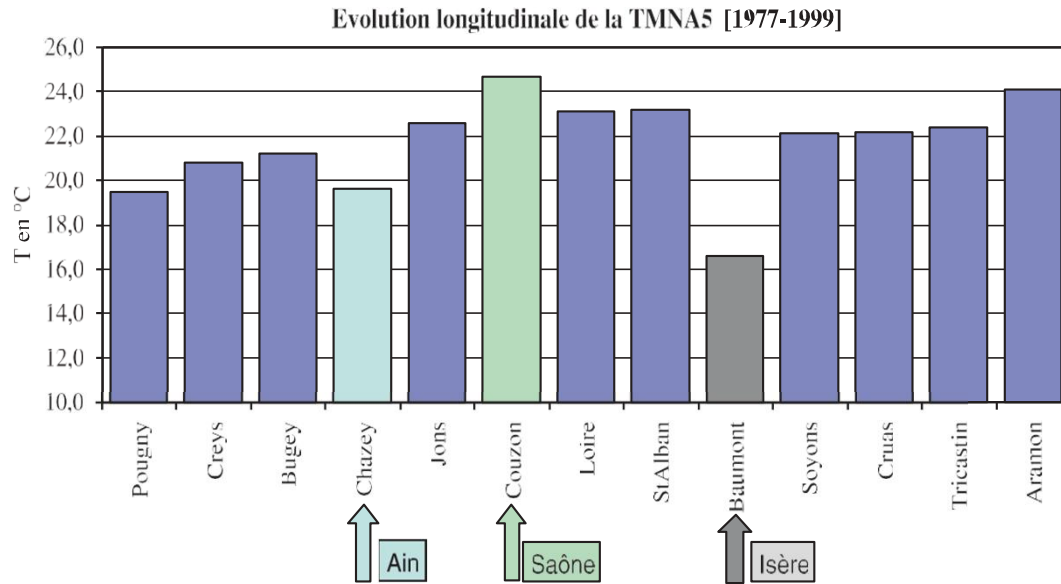
## Tendances constatées par les stations d'EDF



**Fig. 5.** Évolution de la température moyenne annuelle entre 1977 et 2004 sur les quatre stations du Rhône situées en amont des CNPE, et les trois principaux affluents : Ain, Saône et Isère.

# Evolution des Températures le long du Rhône

## Equipements Thermoélectriques



**Fig. 4.** Évolution longitudinale de la température du mois le plus chaud de période de retour 5 ans (TMNA5). Cette variable met en évidence les contrastes thermiques entre le Rhône et ses principaux affluents (Ain, Saône, Isère) et leur influence respective. Période 1977 à 1999 (Poirel *et al.*, 2001).

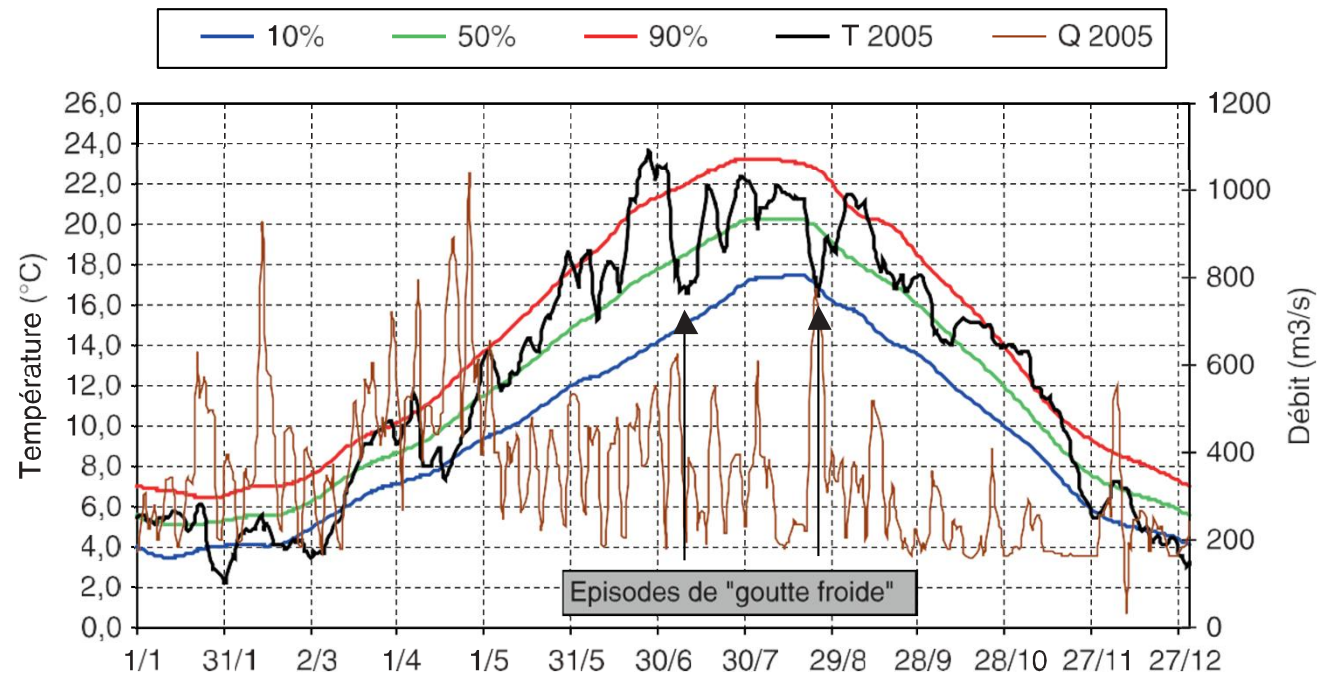
Données Temp moyenne sur 25 ans  
Impact thermique des affluents .

Historique des Equipements électrothermiques (hors chimie)  
Prélèvements en Q et Delta T induit

I. L'équipement thermique du Rhône depuis 1970. En 2006, les principaux rejets thermiques proviennent de trois CNPE en circuit ouvert: Bugey, Saint-Alban et Tricastin. RGG: réacteur graphite-gaz, REP: réacteur à eau pressurisée, RNR: réacteur à neutrons rapides, THF: chaudière thermique à flamme. \*En circuit fermé, la température du rejet dépend de la température et de l'humidité de l'air; l'échauffement est minimum en été et maximum en hiver.

Sites	Tranches et puissance électrique	Année de mise en service	Année d'arrêt	Circuit de refroidissement		
				Type de circuit	Débit rejeté (m <sup>3</sup> /s)	Échauffement maximum dans l'ouvrage de rejet
Creys-Malville (RNR)	1 × 1200 MWe	1986	1998	ouvert	38	12 °C
Bugey 1 (RGG)	1 × 540 MWe	1972	1994	ouvert	31	10 °C
CNPE Bugey (REP) 2 & 3 4 & 5	2 × 900 MWe	1979		ouvert	2 × 46	10 °C
	2 × 900 MWe	1979-1980		fermé	11	variable*
Loire-sur-Rhône (THF)	4 × 250 MWe	1965-1971	2005	ouvert	4 × (7-9)	12 °C
CNPE Saint-Aban (REP)	2 × 1300 MWe	1986-1987		ouvert	2 × 64	10 °C
CNPE Cruas (REP)	4 × 900 MWe	1984-1985		fermé	4 × 4	variable*
CNPE Tricastin (REP)	4 × 900 MWe	1980-1981		ouvert	4 × 47	11 °C
Marcoule (RNR)	1 × 250 MWe	1973		ouvert	10	7 °C
Aramon (THF)	1 × 700 MWe	1977		ouvert	36	11,5 °C

# Bugey : phénomène de goutte froide

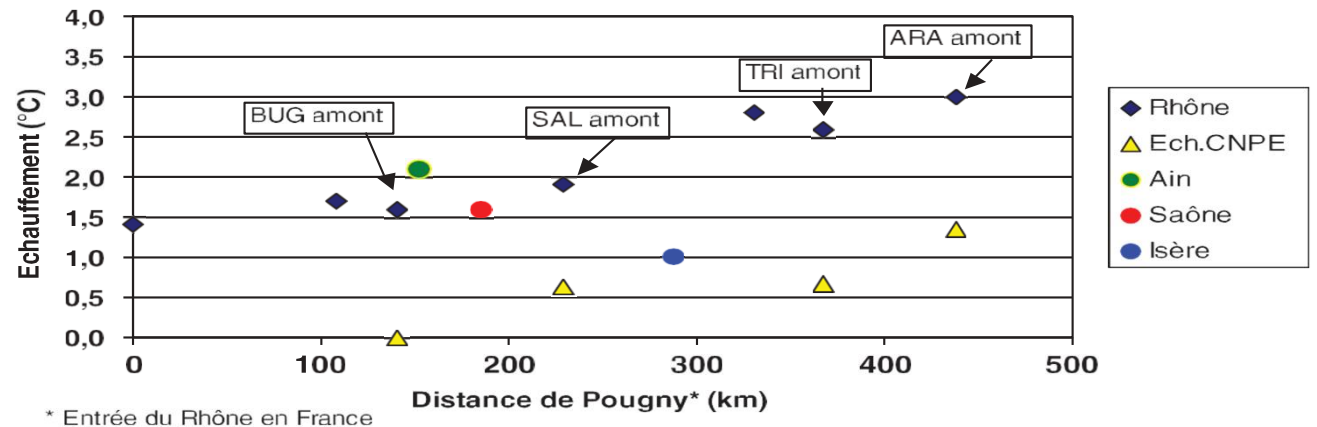


**Fig. 7.** Illustration des chroniques thermique et hydrologique du Rhône en amont du CNPE de Bugey en 2005 et localisation d'une succession d'épisodes qualifiés de « gouttes froides » marqués par une chute brutale de la température estivale. Évolution des quantiles de température (10 %, 50 %, 90 %) sur la période 1977-2004 (Daufresne & Boët, 2005).

Goutte froide : Remontée d'eau profonde et froide de l'hypolimnion lémanique, surtout visible en saison chaude.

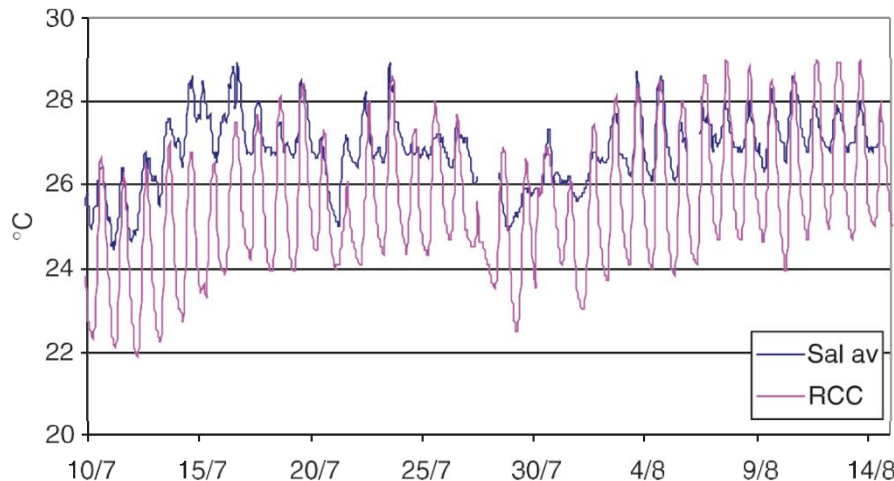
# Impacts respectifs des sites électrothermiques

Enchainement des  
échauffements  
Depuis le Léman  
Moyenne Annuelle



**Fig. 10.** Échauffements résiduels moyens liés aux rejets des CNPE de Bugey, Saint-Alban, Tricastin et le CPT d'Aramon (période 1991-2003, triangles jaune) et élévation de la température moyenne annuelle entre 1977 et 2004 sur 7 stations du Rhône de Pougny à Aramon et sur les principaux affluents.

Amplitudes journalières à l'aval de St Alban pendant l'été 2003

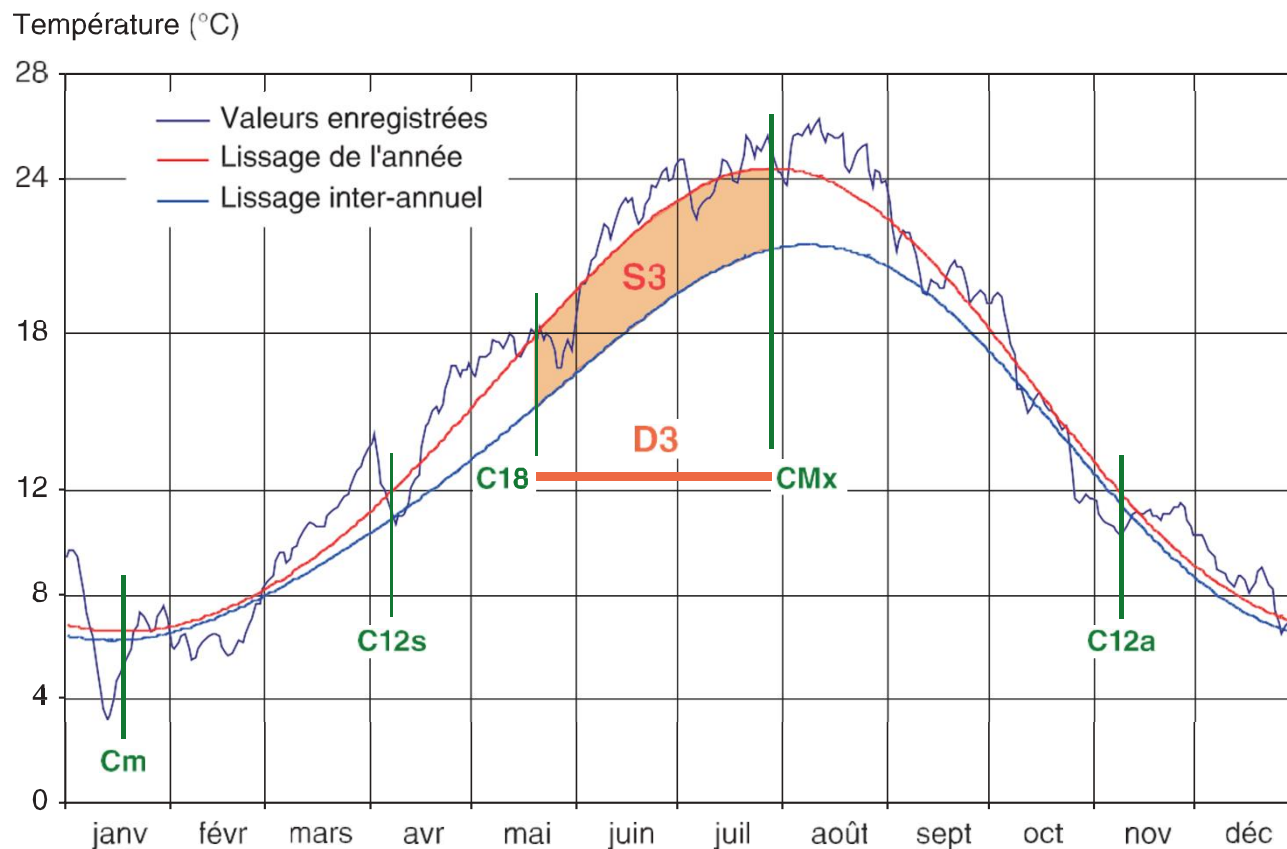


**Fig. 9.** Chronique des températures mesurées à la station aval de Saint-Alban (Sal mi-rejet) et dans le Rhône court-circuité (RCC) en juillet et août 2003. La position des stations est donnée sur la carte en annexe.

Evolution journalière en été au  
niveau d'un site  
Aval St Alban

**Imaginez l'exercice que représente  
pour un agent au bloc de piloter sa  
tranche à 0,1°C près**

# Evolution annuelle sur le site de Tricastin



**Fig. 6.** Variables thermiques à Tricastin amont pour l'année 2003. La courbe supérieure (rouge) est la température lissée autour des valeurs moyennes journalières, la courbe inférieure (bleue) est obtenue par lissage sur la série complète de valeurs (1977 à 2004). Les valeurs des variables indiquées (C, S & D) se rapportent à l'année 2003. Par exemple, S3 (somme en degrés-jours) est l'aire comprise entre les deux courbes, limitée par C18 (seuil 18 °C) et par CMx (maximum thermique annuel).

# Notion de débit réservé







# 2.1 Contexte législatif



⊙ Directive Cadre sur l'Eau (Europe : déc. 2000, France : avril 2004)

## ○ Objectif de « bon état » des milieux aquatiques d'ici à 2015

- Harmonisation des textes pour la préservation du milieu aquatique
- Prise en compte de l'impact des ouvrages hydroélectriques sur l'environnement

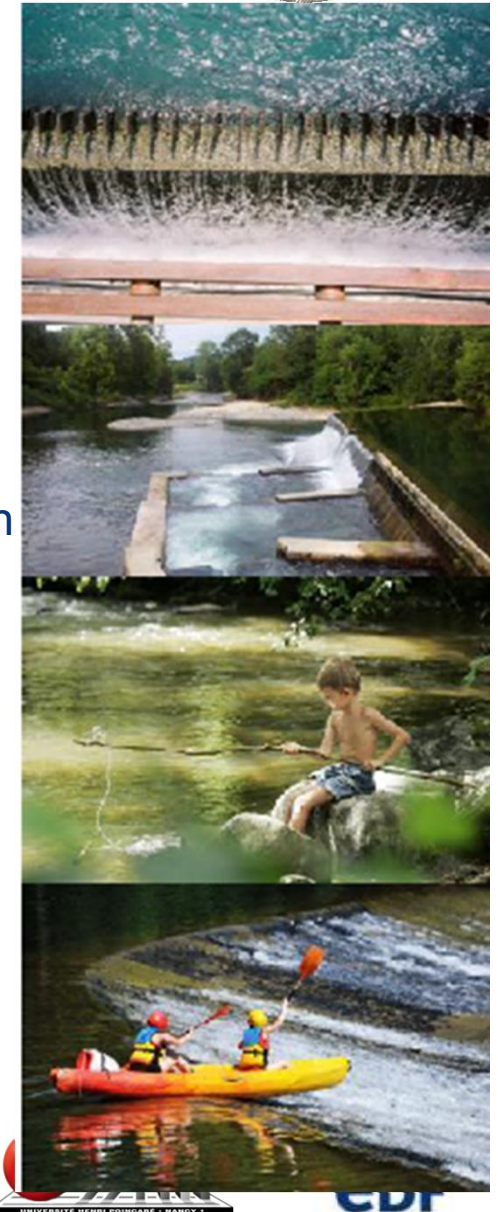
⊙ Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (30 déc. 2006)

○ Évolution de la réglementation : lois sur l'eau (1964 et 1992), loi pêche (1984)

○ Obligation de restituer un débit minimum à l'aval des ouvrages = **débit réservé**

- Au moins supérieur au 1/10e du module (respectivement 1/20e si  $M > 80 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- Dès le renouvellement de titre ou : régimes réservés, cours d'eau atypiques

⊙ **Une certitude : Des pertes de production dues à l'amélioration des milieux aquatiques**



# Exemple pour une entreprise : Inventaire des prises d'eau

Total : EDF's Hydro Power Plant



262 plants with 1260 turbines : 910 dont  $P_e < 12$  MW

**869 water intakes**

Alps, Pyrenees, Massif Central,

Run of River ( Rhine, Durance, Isere, Ain...)

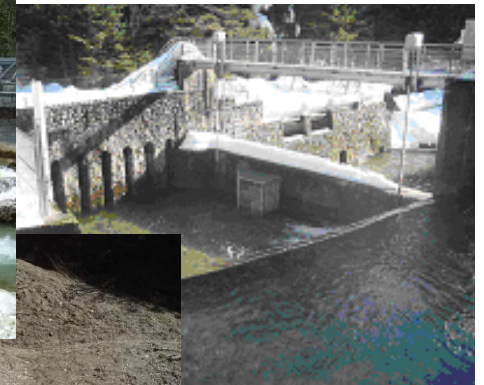
1/3 : level's reservoir constant

1/3 : narrow tidal range

1/3 : medium or large tidal range

60 % with Control system

40 % Potential Turbining



**Balance sheet :**

**85 % intakes (745) from 1/40 to 1/10 module =  $Q_{res} * 4$**

# Impact des débits réservés

## Principe pour le calcul :

La perte mensuelle après un renouvellement de titre est à imputer chaque mois sur la période antérieure au renouvellement, puisque les nouvelles productions intègrent déjà la perte.

*Exemple : pour une chute : débit réservé de 1/40<sup>ème</sup> à partir de 1987 et passage à 1/10<sup>ème</sup> en 2005 :*

• De 1985 à 1986, on calculera le productible auquel on retranchera le terme suivant sur chaque mois (en MWh) :

$1/10 * \text{débit réservé (m3/s)} * \text{coeff énergétique (kWh/m3)} * (3600*24*365 / 12) / 1000$

• De 1987 à 2004, on calculera le productible auquel on retranchera le terme suivant sur chaque mois (en MWh) :

$(1/10 - 1/40) * \text{débit réservé (m3/s)} * \text{coeff énergétique (kWh/m3)} * (3600*24*365 / 12) / 1000$

• A partir de 2005 : calcul normal de la productibilité sans impact de titre.

## Besoin de l'OSGE :

Validation du calcul ci-dessus.

Ensemble de l'historique et des prévisions de débits réservés avec les dates de mise en place, les chutes impactées et le module du débit à prendre en compte.

Faut-il instaurer un écrêtement si on, obtient des termes négatifs ?

NB : Les évolutions des débits réservés ont été intégrées au fur et à mesure que ces débits apparaissent.



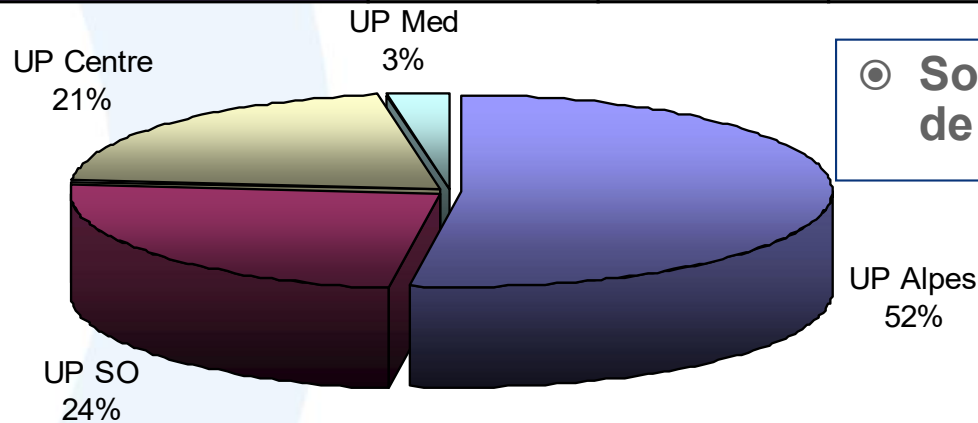


# Pertes énergétiques

## Induites par l'augmentation réglementaire des débits

- Induites par l'augmentation

	UP Alpes	UP SO	UP Centre	UP Med	UP Est	TOTAL
Pertes annuelles (GWh)	402	185	160	21	-	769



Soit 1,72% de la production Hydraulique de l'année 2008 (44,8 TWh)

Induites par les niveaux :

	Alps	Pyénées	Centre	Méditerranée	East	TOTAL
Pertes Annuelles (GWh)	237	82	79	15	5	418



# Pertes énergétiques Réglementaires + Marnage

- © Sites pris en compte: référencés dans le projet Qres 2014 (434 prises / 869 au total)

Pertes réglementaires	769
Pertes par marnage	+ 413
TOTAL (GWh)	= 1182

- © Soit 1,18 TWh ou 2,64% de la production  
Ou
- © Hydraulique de l'année 2008 (44,8 TWh)

Pertes équivalentes à une centrale de 600 MW qui produit toute l'année  
ou bien ...encore un tanker de 300.000 tonnes/an  
avec son cortège de CO<sup>2</sup> ...bien sûr

