

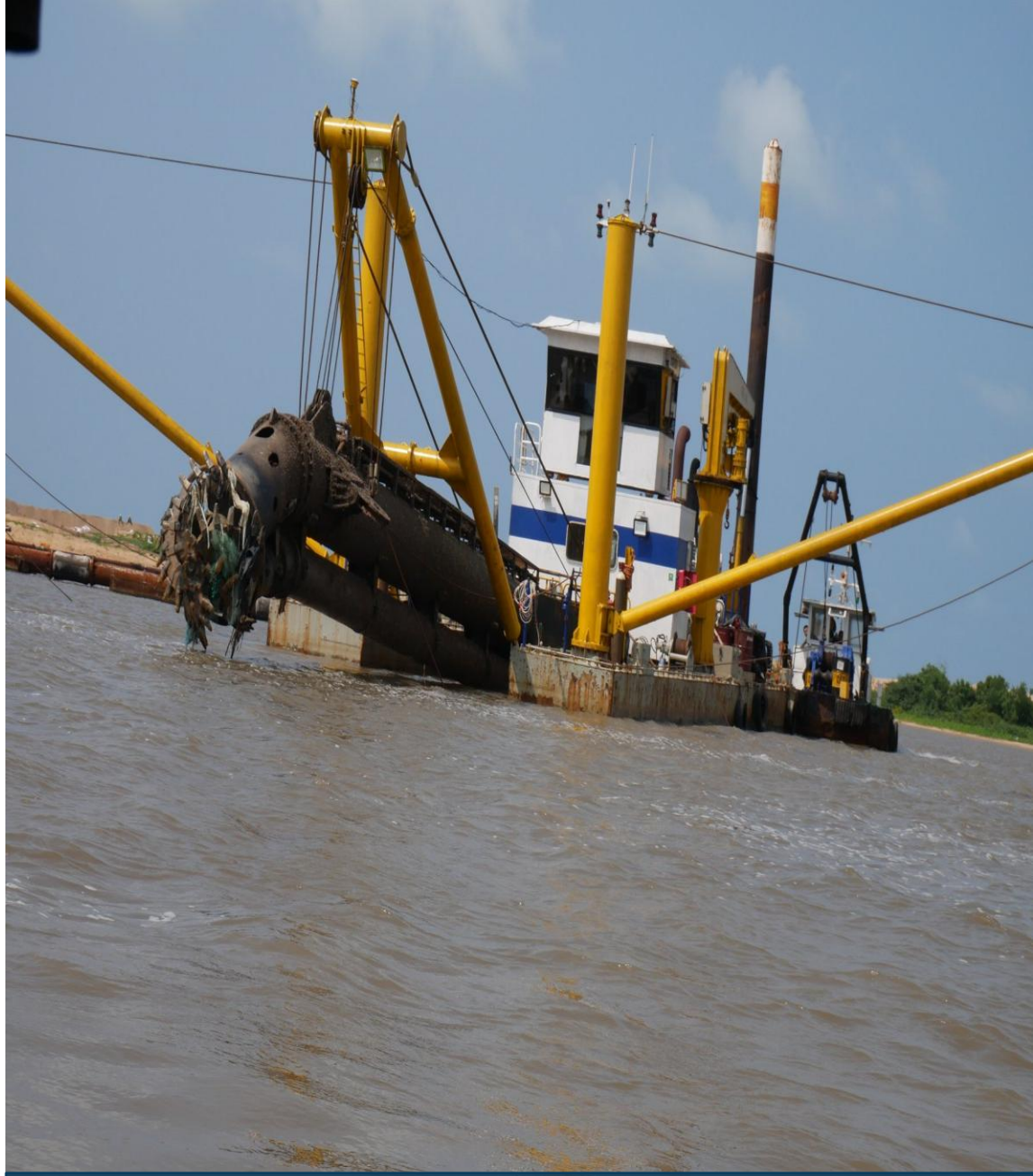
La Beauté du milieu même
quand le ciel change.

OMAC-BÉNIN · SIDE EVENT

Évolution hydrologique, rôle du barrage de Nangbéto et qualité de l'eau dans la zone de dragage

Dynamique hydrosédimentaire, physico-chimique et métaux lourds et qualité biologique selon les normes

M. Félix T. AMOUSSOU & Prof Ernest AMOUSSOU



Drague Djunze dans le chenal Docloboué–Avlo

STRUCTURE DE LA PRÉSENTATION

Plan de travail

01	**Contexte et objectifs**	=> hydrosystème, questions, objectifs
02	**Données et méthodes**	=> 6 bases et normes
03	**Évolution hydrologique**	=> ruptures, régime, pluies
04	**Rôle de Nangbéto**	=> débits, crues, sédiments, embouchure
05	**Physico-chimie et biologie**	=> classes de qualité
06	**Métaux lourds**	=> Cd, Pb, Hg, As et indices de contamination
07	**Synthèse et perspectives**	=> conclusions, OMAC, références

01



Contexte, problématique et objectifs

Un fleuve régulé, une lagune draguée, un observatoire à construire

01 Contexte et objectifs
02 Données et méthodes
03 Évolution hydrologique
04 Rôle du barrage
05 Physico-chimie et biologie
06 Métaux lourds
07 Synthèse et perspectives

Un hydrosystème sous contraintes multiples

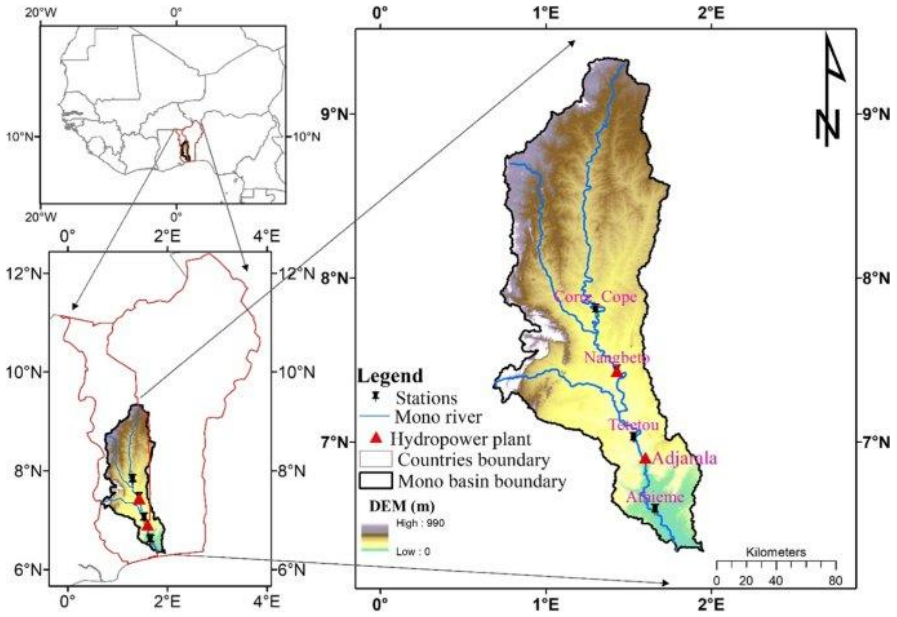


Figure 1 : *Bassin du Mono, stations et barrage de Nangbéto*

Barrage de Nangbéto (en service depuis 1987)
Régule le Mono, partagé entre le Togo et le Bénin

Système lagunaire Ahémé–Avlo
Forçages marins (marée -> sel) et continentaux (crues, étiages)

Dragage Docloboué–Avlo
≈ 7 km et 260 ha ; suivis hebdomadaire & trimestriel depuis février 2025

Observatoire OMAC-Bénin
Des données dispersées vers des indicateurs fiables et des alertes

Problématique et questions de recherche

Problématique

- Mono régulé par Nangbéto depuis 1987
- Lagune draguée depuis 2025
- Forçages superposés : barrage, pluie, marée, embouchure, drague
- Données nombreuses mais dispersées et peu contrôlées

Q1

Comment le régime du Mono a-t-il évolué depuis 1952 ?

Q2

Quel rôle joue Nangbéto sur les débits, les sédiments et l'embouchure ?

Q3

Quelle qualité physique, chimique et biologique au regard des normes ?

Q4

Les sédiments de la zone draguée sont-ils contaminés par les métaux ?

Objectif général et objectifs spécifiques

Objectif général : caractériser l'évolution hydrologique et le rôle de Nangbéto, puis évaluer selon les normes la qualité de l'eau, du vivant et des sédiments de la zone de dragage.

OS1

Quantifier les ruptures et l'altération du régime du Mono

OS2

Évaluer le rôle de Nangbéto : débits, crues, sédiments, embouchure

OS3

Classer la qualité physico-chimique et biologique selon les normes

OS4

Diagnostiquer la contamination des sédiments par les métaux



02

Données, zone d'étude et méthodes

Une bases de données, campagnes hebdomadaires & trimestriels, des référentiels normatifs explicites

01 Contexte et objectifs

02 **Données et méthodes**

03 Évolution hydrologique

04 Rôle du barrage

05 Physico-chimie et biologie

06 Métaux lourds

07 Synthèse et perspectives

Zone d'étude et réseau de suivi



Mesure in Situ



Echantillon d'eau au Labo



Echantillon de sédiments au Labo

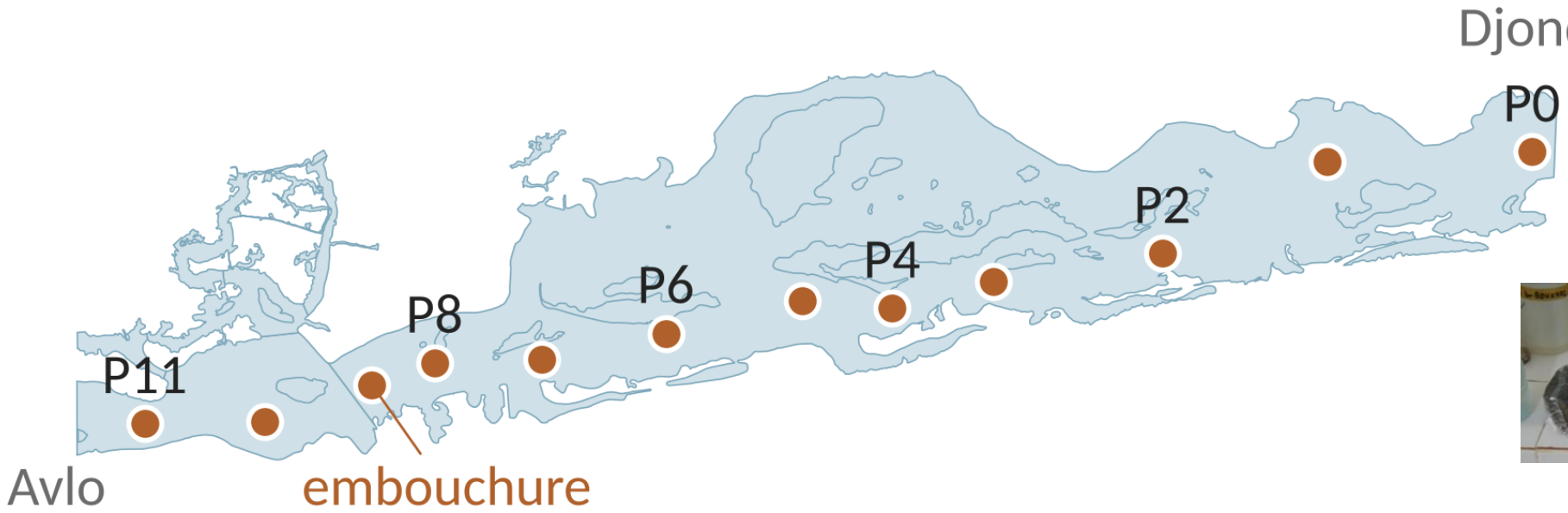


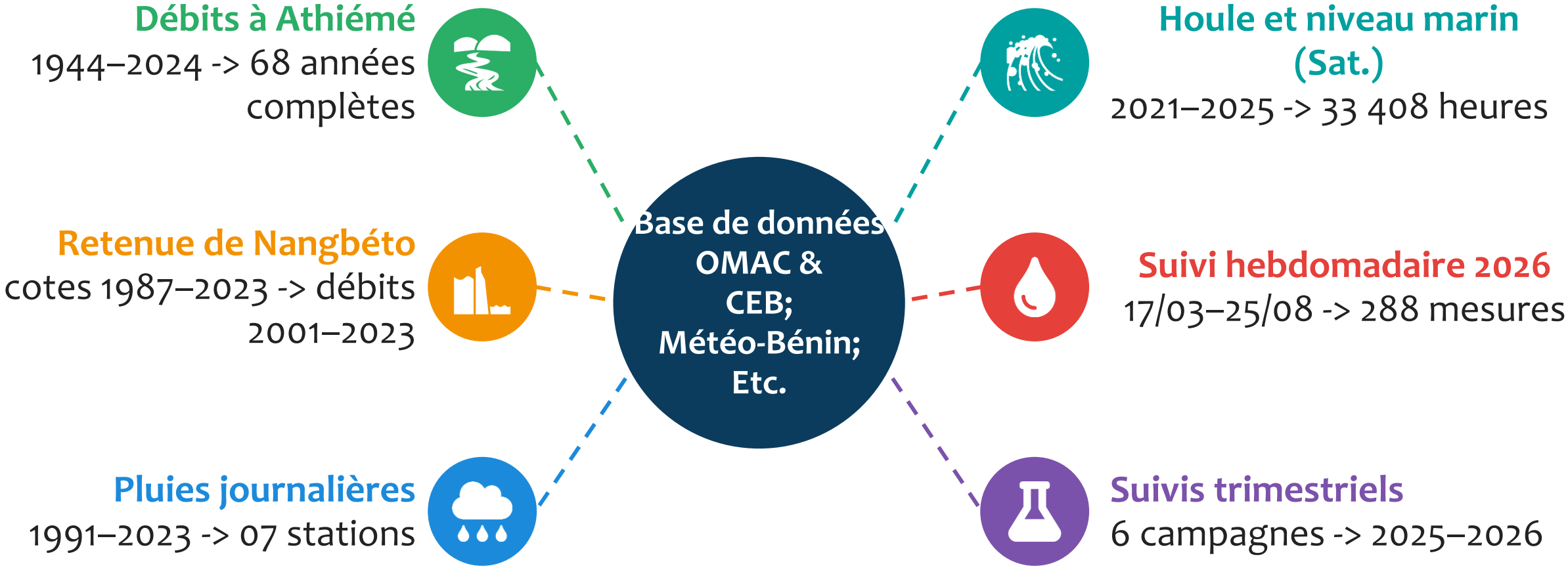
Figure 2 : *Réseau de suivi : 12 stations sur 9,04 km de chenal, de Djondji (P0) à Avlo (P11)*

P0–P1 · Djondji–Gonko, dragage pilote

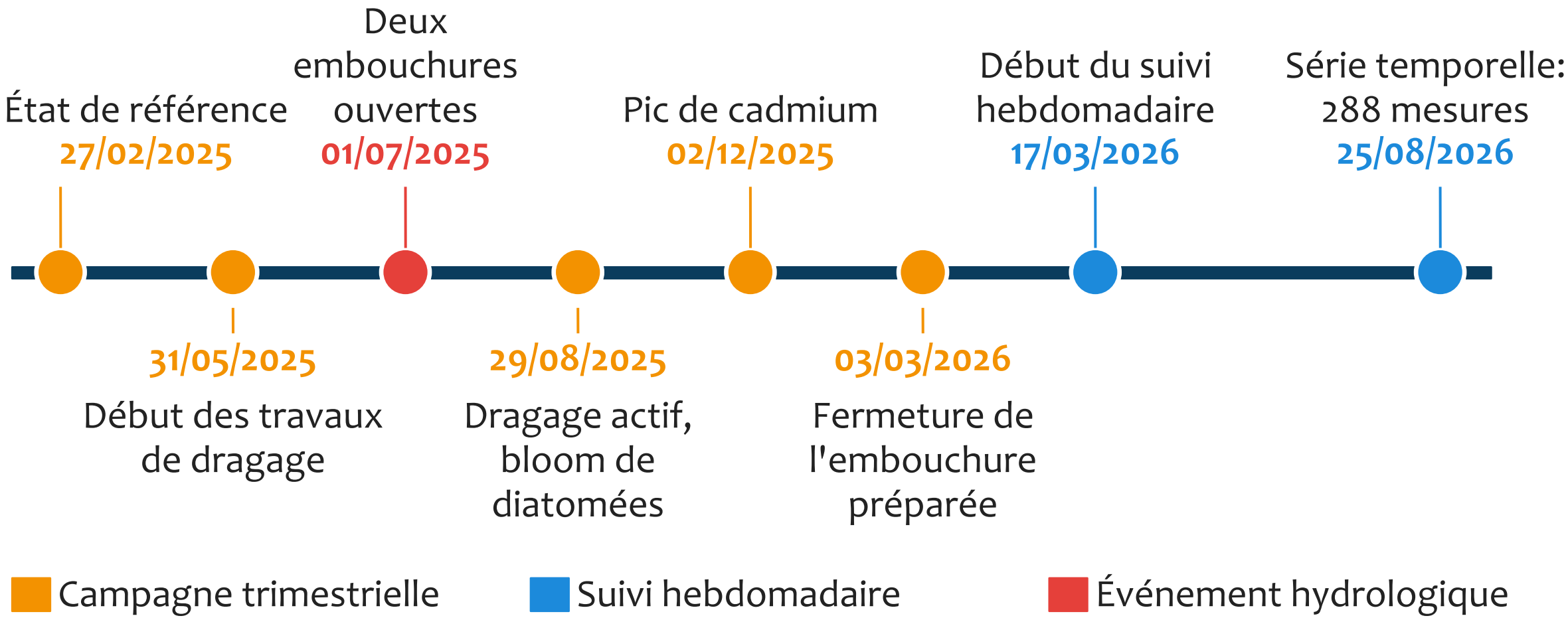
P2–P7 · Docloboué–Sodomè, secteur dragué

P8–P11 · Lanhou–Avlo, embouchure (P9–P10)

Données mobilisées



Chronogramme du suivi (février 2025 – août 2026)



Démarche méthodologique en cinq phases

Collecte et contrôle	Hydrologie	Barrage et sédiments	Qualité et normes	Intégration
• Hydro-météo. • Param. Chim.[pH, O2, Turb., NT, PT, etc. • Contrôle qualité	• Mann-Kendall, Sen • Pettitt • IHA/RVA, débits classes [25e & 75e percentile]	• Bilans de la retenue • Écrêtement, cotes • Indice fleuve/houle	• SEQ-Eau, OCDE, Venise • AFNOR	• Perspectives OMAC

Méthodes statistiques et indicateurs

Tableau 1 : Méthodes mobilisées et références

Volet	Méthodes et indicateurs	Références
Tendances, ruptures	Mann-Kendall, pente de Sen, test de Pettitt	Mann (1945) ; Sen (1968) ; Pettitt (1979)
Régime du Mono	Indicateurs IHA (RVA), débits classés, débit de base	Richter et al. (1996, 1998) ; Lyne et Hollick (1979)
Pluies	9 indices ETCCDI, démarrage des saisons	Zhang et al. (2011) ; Sivakumar (1988)
Retenue	Bilan de masse, écrêtement, énergie par m³	Données CEB du dossier
Eau 2026	Classes normatives, saturation en O_2, loi Secchi–turbidité	Garcia et Gordon (1992) ; Carlson (1977)
Sédiments	CF, Igeo, Er et RI, TEL/PEL, ERL/ERM	Müller (1969) ; Håkanson (1980) ; MacDonald (1996) ; Long (1995)

Référentiels normatifs : qualité physique et vie biologique

Tableau 2 : Seuils des classes de qualité appliqués à l'eau

Paramètre	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Critique
Transparence (m)	≥ 2	1–2	0,5–1	0,25–0,5	< 0,25
Turbidité (NTU)	≤ 15	15–35	35–70	70–100	> 100
MES (mg/L)	≤ 25	25–50	50–100	100–150	> 150
O_2 dissous (mg/L)	≥ 8	6–8	4–6	3–4	< 3
pH (seuil haut)	≤ 8,2	8,2–9	9–9,5	9,5–10	> 10
P total (mg/L)	≤ 0,05	0,05–0,2	0,2–0,5	0,5–1	> 1

Tab. 5 : grille « vie biologique » (SEQ-Eau, 1999) ; SEQ-Eau v2 : MEDD et Agences de l'eau (2003).

Référentiels : salinité, trophie, matière organique, métaux

Salinité sous système de Venise (1958)

- Limnique < 0,5 g/L ; oligohalin 0,5–5
- Mésohalin 5–18 ; polyhalin 18–30
- Euhalin 30–40 g/L

État trophique avec OCDE (1982)

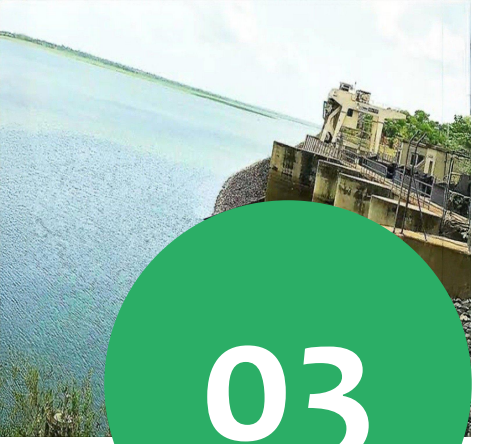
- PT : < 0,010 / 0,035 / 0,100 mg/L
- NT : < 0,35 / 0,65 / 1,20 mg/L
- Oligo-, méso-, eu-, hypereutrophe
- N/P massique de Redfield ≈ 7,2

Matière organique

- Bilan O_2 (Agence RMC) : bon < 50 % ; moyen 50–80 % ; mauvais > 90 %
- DBO/DCO > 0,5 : biodégradable

Sédiments avec AFNOR NF U 44-041

- Cd 2 · Pb 100 · Hg 1 · As 15 µg/g
- Lecture écotoxicologique : TEL/PEL, ERL/ERM
- Fond géochimique : Turekian et Wedepohl (1961)



03

Évolution hydrologique du Mono (1952–2023)

Débits du Mono à Athiémé (1944–2024) et pluies du bas-bassin (1991–2023)

01 Contexte et objectifs

02 Données et méthodes

03 **Évolution hydrologique**

04 Rôle du barrage

05 Physico-chimie et biologie

06 Métaux lourds

07 Synthèse et perspectives

Deux ruptures : 1987 pour les étiages, 1995 pour les volumes

×48

VCN30 : 1,0 (<19187) → 49,9 m³/s (>19187)

+48 %

débit moyen : 101,7 (<19187) → 150,6 m³/s (>19187)

152 (<19187) → 2 (>19187)

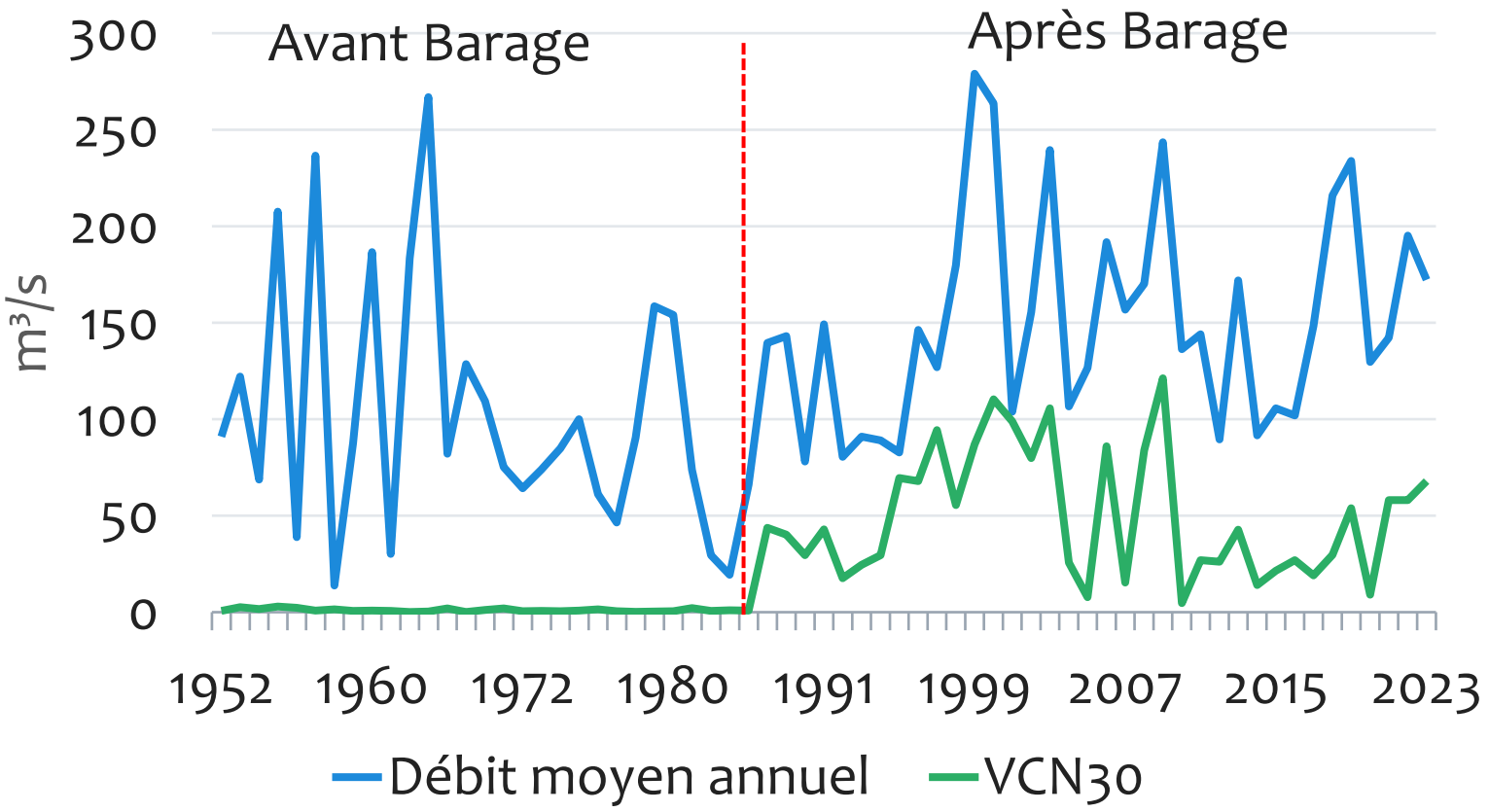
jours par an sous 5 m³/s

1987 & 1995

ruptures (Pettitt) : étiages & volumes

- **Étiages** : rupture après 1987 (Pettitt, $p = 3\times10^{-11}$) → effet direct du barrage
- **Volumes** : rupture après 1995 ($p = 3\times10^{-4}$) → retour des pluies des années 1990 (Amoussou, 2010)
- Depuis 1988 : pas de **tendance** du **débit moyen** (**p = 0,08**) ni du **VCN30** (**p = 0,56**)

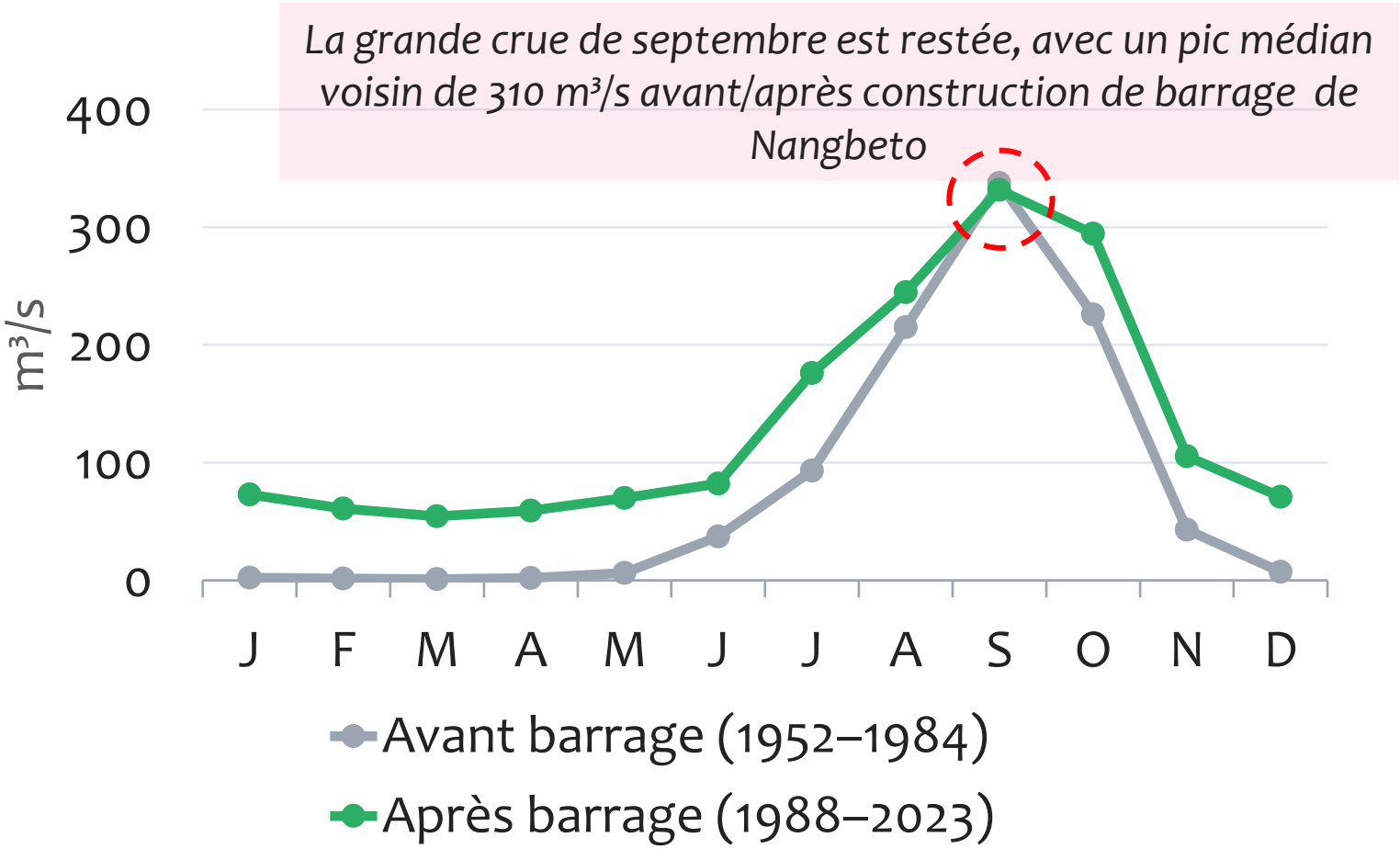
Débits annuels et étiages à Athiémé (1952–2023)



- Avant 1987 : VCN30 ≈ 1 m³/s, lit presque à sec
- Après 1988 : VCN30 de 5 à 121 m³/s selon l'exploitation
- Débit moyen : forte variabilité d'une année à l'autre

Figure 3 : *Débit moyen annuel et débit minimal sur 30 jours (VCN30) du Mono à Athiémé.*

Régime mensuel : la saison sèche a disparu



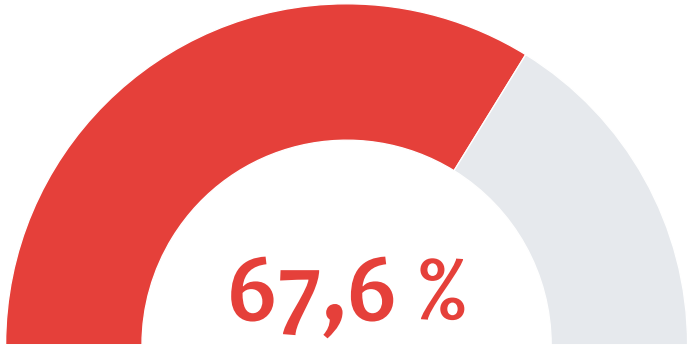
Avant

Après

- Mars : 1,0 → 54,4 m³/s (×54)
- Décembre à mai : débits multipliés par 10 à 54
- Septembre, mois de crue : 337 → 332 m³/s, inchangé
- Octobre–novembre : décrue soutenue (226 → 294 ; 43 → 105)

Figure 4 : *Débit médian mensuel du Mono à Athiémé avant et après le barrage.*

Un régime « fortement altéré » au sens de Richter [IHA (Indicateurs d'altération hydrologique)]



Altération moyenne des 28 indicateurs IHA (> 67 % = forte)

Éclusées : montée ×5,9, baisse ×6,6 ; inversions 98 → 147 par an

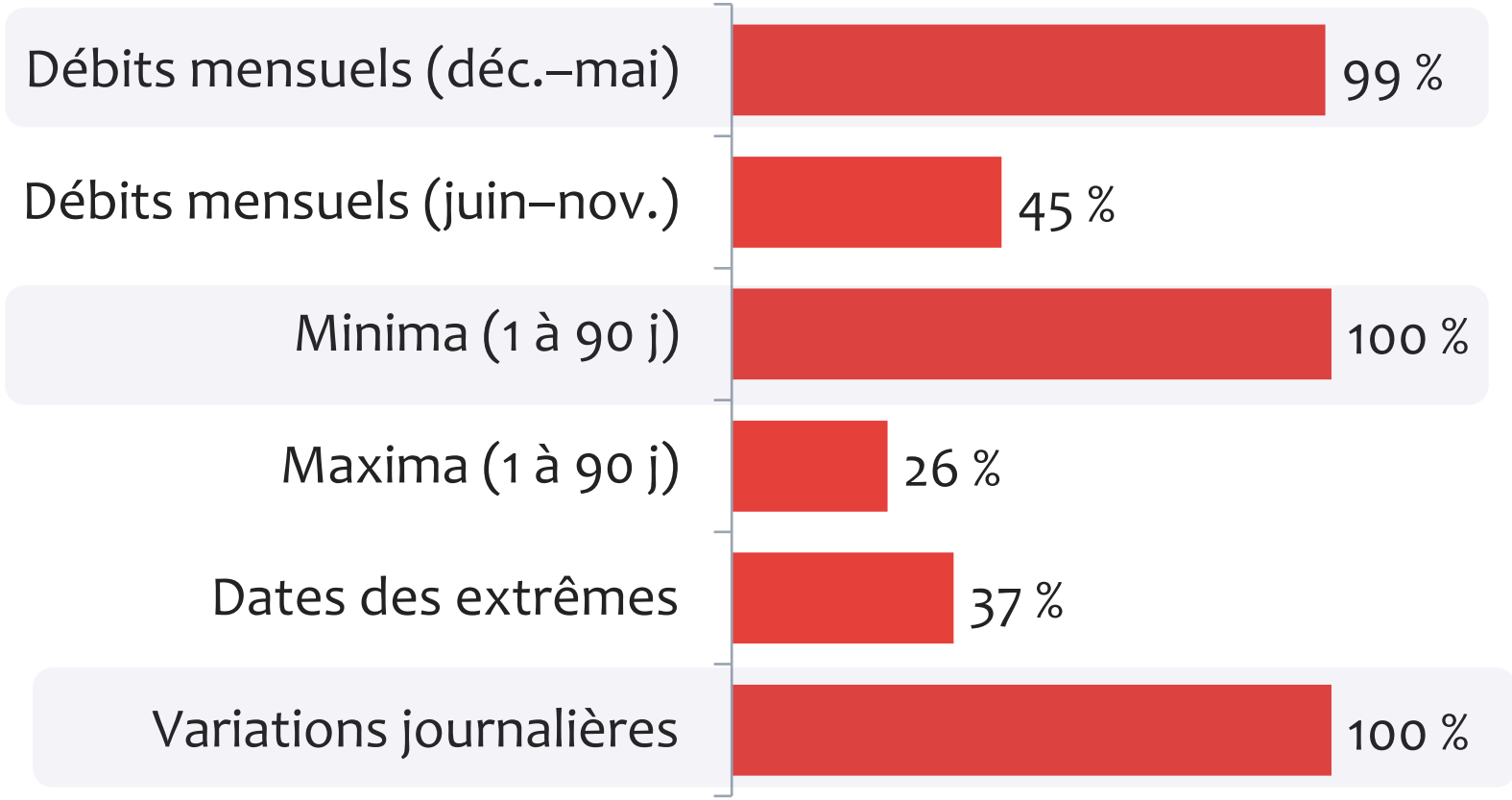


Figure 5 : *Altération moyenne par famille d'indicateurs IHA.*

Débits classés : une distribution compressée

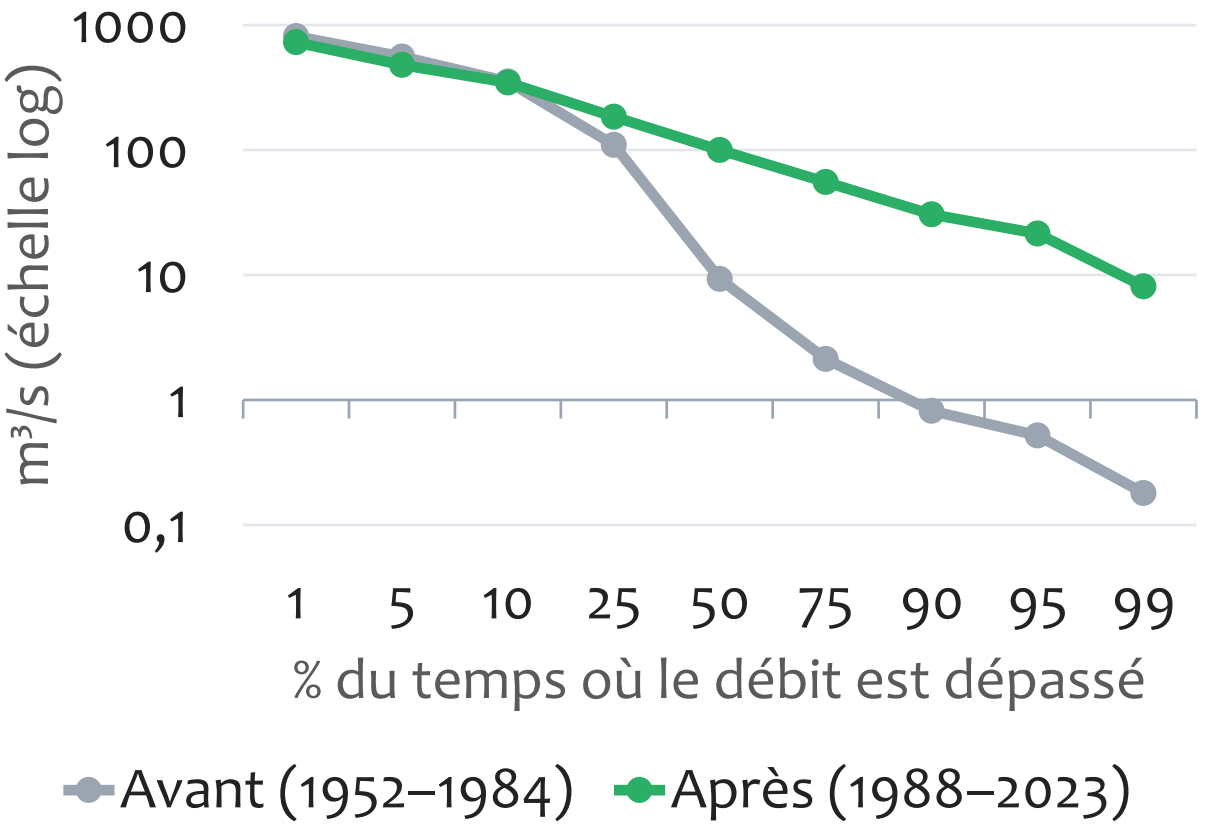


Figure 6 : *Courbes des débits classés à Athiémé.*

Tableau 3 : Débits caractéristiques (m³/s)

Débit	Avant	Après	Gain
Q1	814	728	×0,89
Q5	559	479	×0,86
Q50	9,3	100	×11
Q90	0,82	30,5	×37
Q99	0,18	8,1	×45

- Q50 = débit médian ; Q90 = étiage
- Plus d'eau moyenne, Absence quasi permanent d'étiage: ‘’Débit artificial’’

Pluies du bas-bassin : pas de tendance

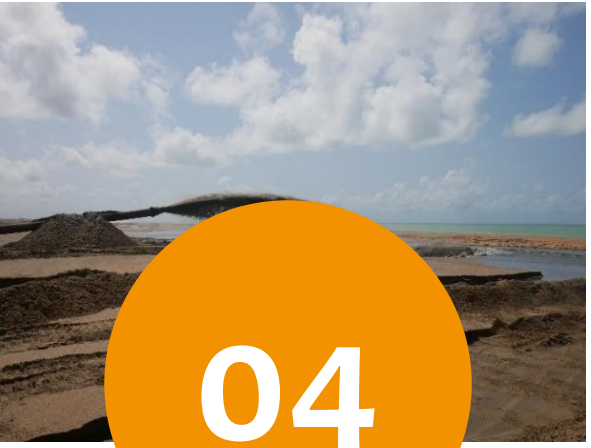
1 062 mm/an en moyenne
aucune tendance (Mann-Kendall p = 0,94 ; Pettitt p = 0,95)

9 indices ETCCDI
aucune tendance (cumul, extrêmes, jours secs)

30 avril → mi-novembre
saison utile médiane de 202 jours ; séquences sèches en hausse (p = 0,01)

+3,3 mm/an
pluie de septembre à novembre (p = 0,046), influencerait la retenue est pleine

Débit annuel d'Athiémé ↔ pluie du bas bassin : **r = 0,02** → le Mono se pilote depuis l'amont (Togo) et depuis Nangbéto



04

Rôle de Nangbéto dans la dynamique hydrosédimentaire

Débits, crues, sédiments, embouchure : ce que révèlent les données de la retenue et de la lagune

01 Contexte et objectifs

02 Données et méthodes

03 Évolution hydrologique

04 **Rôle du barrage**

05 Physico-chimie et biologie

06 Métaux lourds

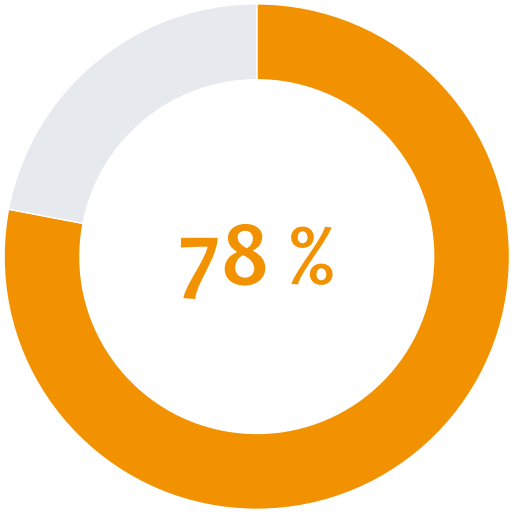
07 Synthèse et perspectives

Modèle conceptuel : le système avant et depuis le barrage

Avant 1987 · régime naturel		Depuis 1987 · régime régulé	
Bassin du Mono	≈ 900 000 m³/an de sédiments*	**Bassin du Mono**	Pluies en hausse après 1995
Site de Nangbéto	Écoulement libre	**Retenue de Nangbéto**	**Piège** ≈ 540 000 m³/an* ; écrête si non pleine
Athiémé	VCN30 ≈ 1 m³/s ; 152 j/an < 5 m³/s	**Athiémé**	VCN30 ≈ 50 m³/s ; éclusées ×6
Lagune et embouchure	≈ 100 000 m³/an* ; la houle domine en saison sèche	**Lagune et embouchure**	Embouchure ouverte ; migration vers l'est

* Amoussou (2010), Adam (1986) ;Laibi (2011).

En saison sèche, 78 % du débit d'Athiémé vient des lâchers



des débits de janvier à avril à Athiémé proviennent des lâchers

6,4
m³/s entrent dans la retenue

51,9
m³/s sont lâchés

66,2
m³/s arrivent à Athiémé

Tableau 4 : Bilan volumique(Mm³)

Période	Entrée	Sortie	Écart
2001–2016	52 854	45 801	+13 %
2017–2022	21 948	21 904	+0,2 %
2018–2023	20 330	19 042	+6 %

- Lâchers de saison sèche sans tendance (p = 0,37)
- Effondrements ponctuels : 2015, 2016, 2021 (< 21 m³/s)
- Écart résiduel : évaporation et déversements non comptés

Les crues ne sont écrêtées que si la retenue n'est pas pleine

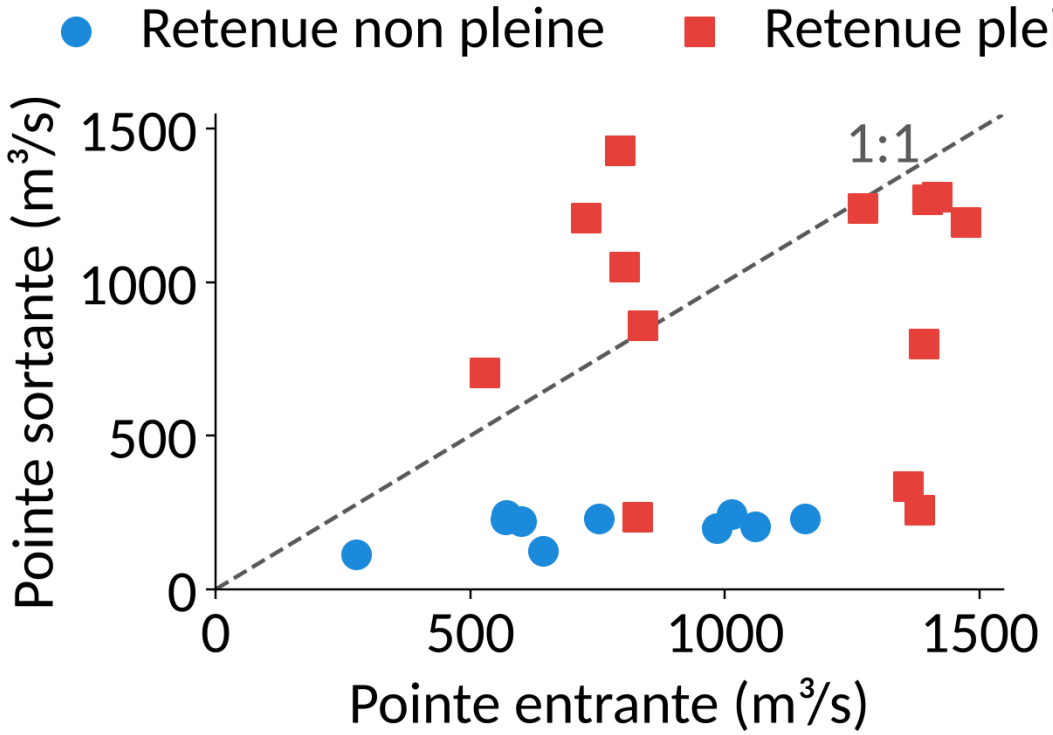


Figure 7 : *Pointes de Nangbéto par année.*

Retenue non pleine

- Écrêtement médian : **73 %**
- Pointe médiane à Athiémé : **479 m³/s**

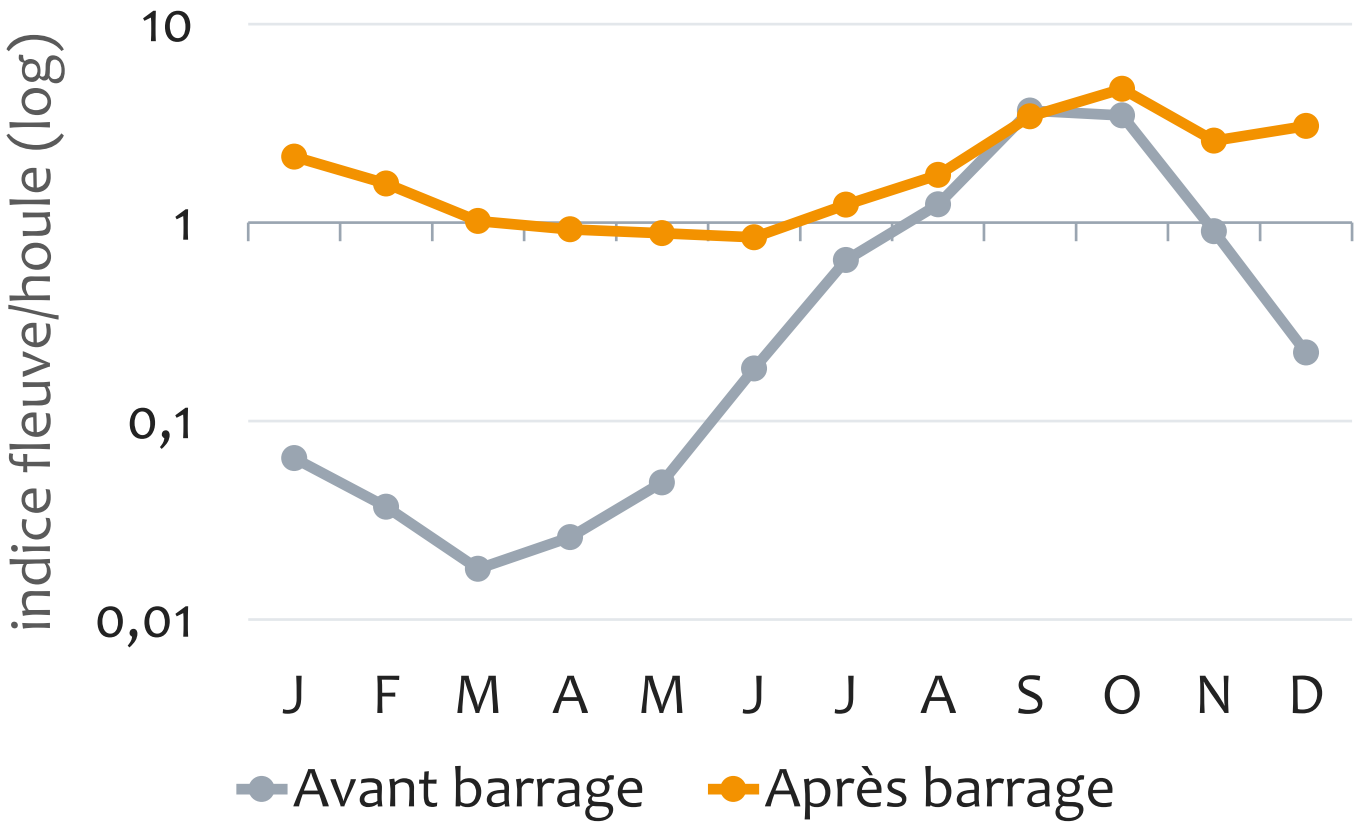
VS

Retenue pleine

- Écrêtement médian : **9 %**
- Pointe médiane à Athiémé : **705 m³/s** (+47 %)

Propagation Nangbéto → Athiémé : 1 à 2 jours

À la Bouche du Roy, le fleuve tient désormais tête à la houle



- Dérive littorale vers l'est **99,9** % du temps, maximale en juillet–août
- Avant : indice 0,02–0,07 de janvier à avril → la houle domine
- Après : jamais sous **0,84** de janvier à juin → embouchure maintenue ouverte
- Migration vers l'est ≈ 700 m/an ; dérive 1,2–1,5 Mm³/an (Laibi, 2011)

Figure 9 : *Indice mensuel fleuve/houle. Sources : débits d'Athiémé ; houle 2021–2025; CERC (Coastal Engineering Research Center)*

Indice = débit médian mensuel d'Athiémé (normalisé par la moyenne d'avant barrage) divisé par le proxy de dérive littorale CERC (Hs^2,5 · sin 2θ), normalisé.

Un fleuve privé de sable, mais actif toute l'année

≈ 540 000 m³/an

piégés par la retenue (Adam, 1986, in Amoussou, 2010)

×33

part de la capacité de transport de janvier à mai : 0,35 % → 11,4 %

+21 %

capacité annuelle (Q^1,5) : sa répartition change plus que son total

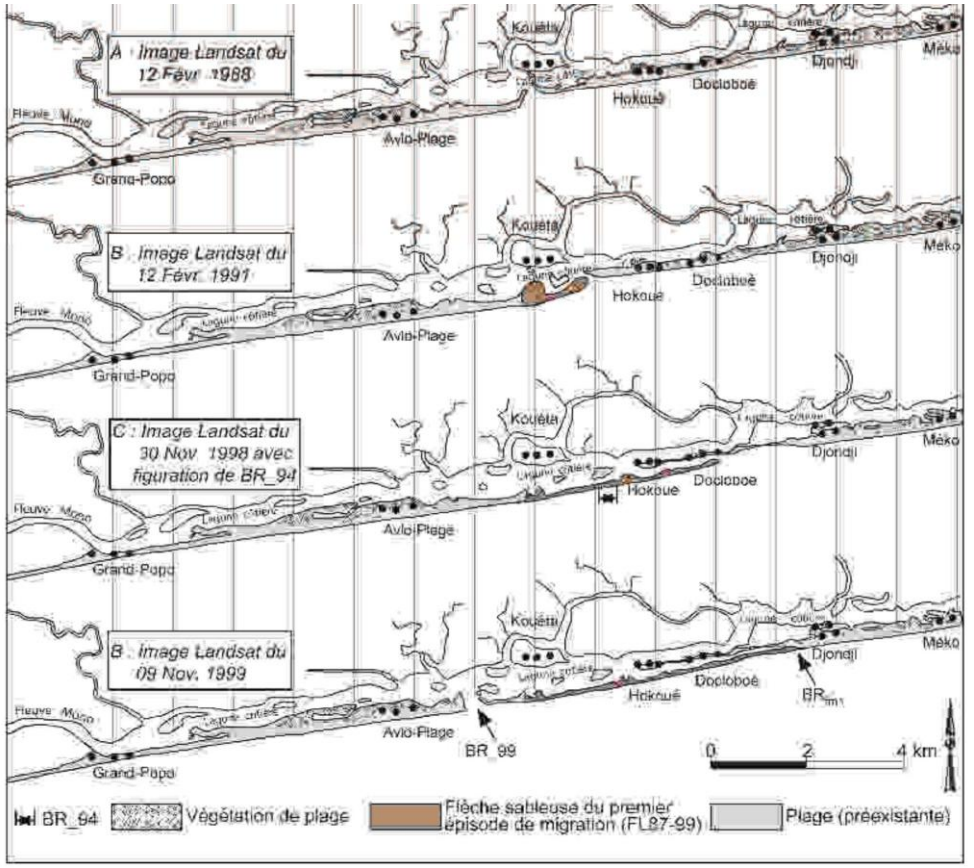


Figure 10 : *Migration de l'embouchure vers l'est sur images Landsat, 1986–1999 (Laibi, 2011).*

Indice de capacité de transport proportionnel à Q^1,5, calculé sur les débits journaliers d'Athiémé ; volumes sédimentaires cités par Amoussou (2010).

Au fond de la zone draguée, la vase gagne

Tableau 5 : Évolution du faciès des sédiments de fond (fraction fine en %)

Station	02/2025	05/2025	08/2025	12/2025	03/2026	06/2026
P0	–	–	–	–	> 95	> 95
P2	95,6	–	vase	vase	> 95	30,3
P4	sable	sable	sable	sable	95,5	96,7
P6	sable	sable	sable	sable	45,5	99,0
P8	sable	sable	sable	54,2	64,4	> 95
P10	–	–	–	91,9	78,2	mixte

- P4, P6, P8 : **sable → vase** en 3 à 6 mois
- P2, P10 : apports sableux en juin 2026
- Hypothèse : les fosses draguées piègent les fines

Sable fin à moyen Mixte (sable et vase) Vase dominante

Source : Campagnes trimestrielles

Du barrage à la lagune : deux phases de forçage en 2026

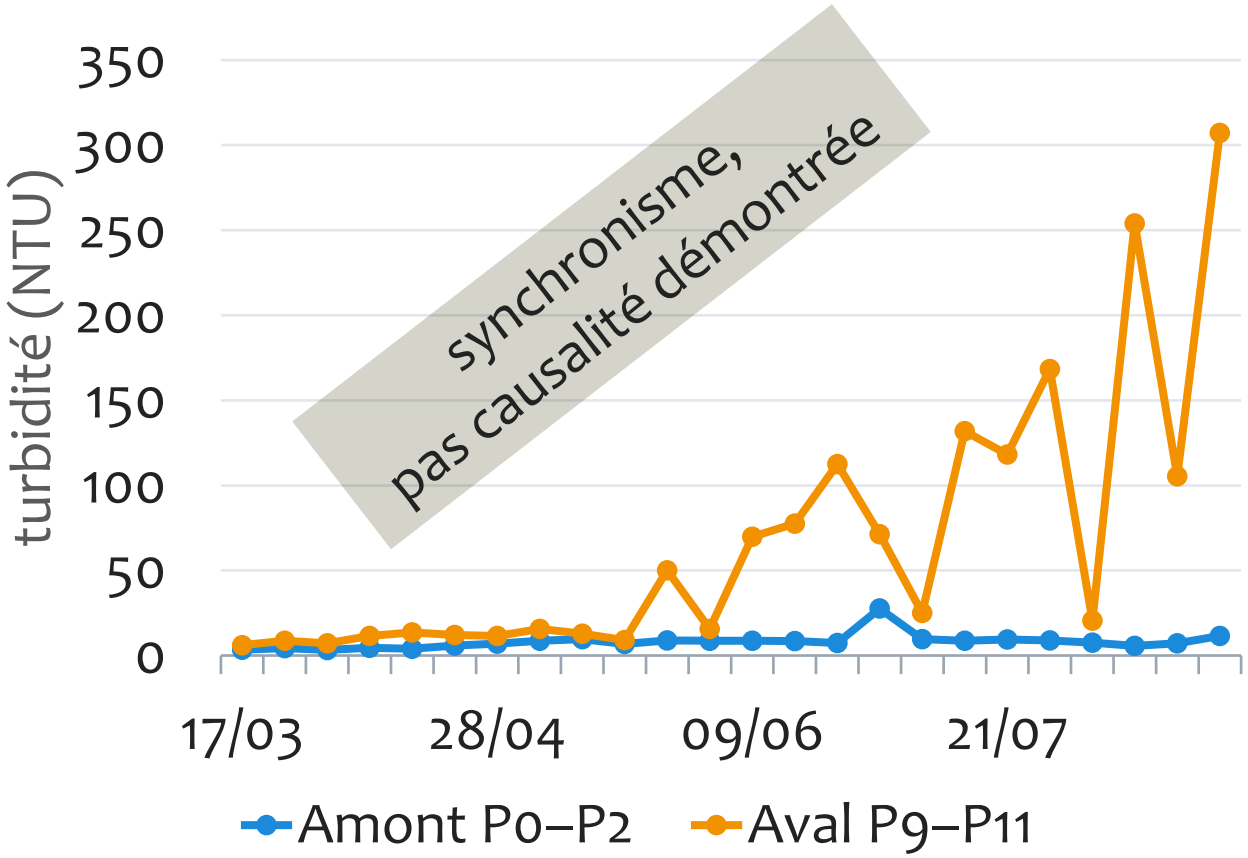


Figure 11 : *Turbidité moyenne amont et aval par campagne en 2026.*

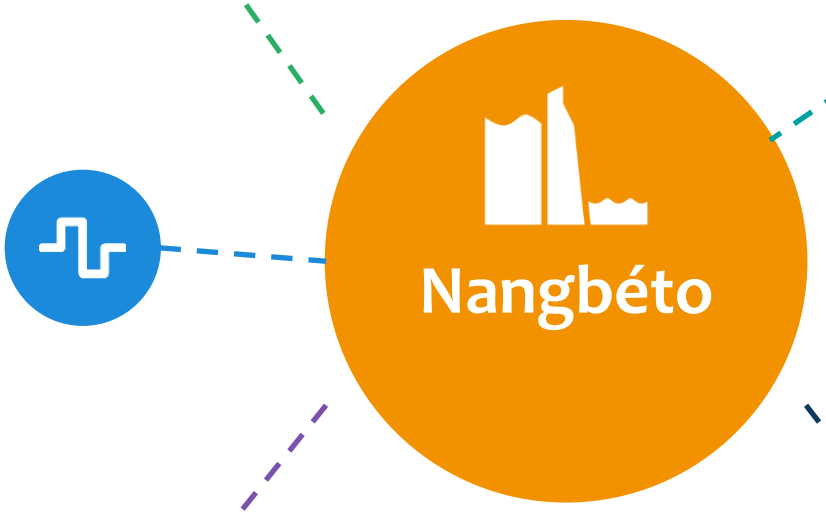
Phase 1 · pluie locale

- Mi-mai–juin : rupture le 19 mai ($p \leq 0{,}004$)
- Nangbéto au plus bas (33–51 m³/s)

Phase 2 · crue du Mono

- Juillet–août : aval 132 → 307 NTU
- Gradient lié au débit moyen d'Athiémé ($\rho = 0{,}85$)

Synthèse : six fonctions de Nangbéto



Soutien d'étiage
78 % du débit sec à Athiémé

Écrêtement conditionnel
73 % si non pleine, 9 % si pleine

Piégeage des sables
≈ 540 000 m³/an
(Laibi,2011)

Embouchure ouverte
indice ≥ 0,84 en saison sèche

Panache vers la lagune (P10-P11)
turbidité ×20 à ×50



05

Physico-chimie et qualité biologique selon les normes

Classes de qualité station par station, semaine par semaine, et réponse du vivant

01 Contexte et objectifs

02 Données et méthodes

03 Évolution hydrologique

04 Rôle du barrage

05 **Physico-chimie et biologie**

06 Métaux lourds

07 Synthèse et perspectives

Suivi hebdomadaire 2026 : dispositif et statistiques descriptives

288
mesures géoréférencées

24
campagnes, toutes les mardi

12
stations de P0 à P11

8 h–14 h
le matin, de P0 vers P11

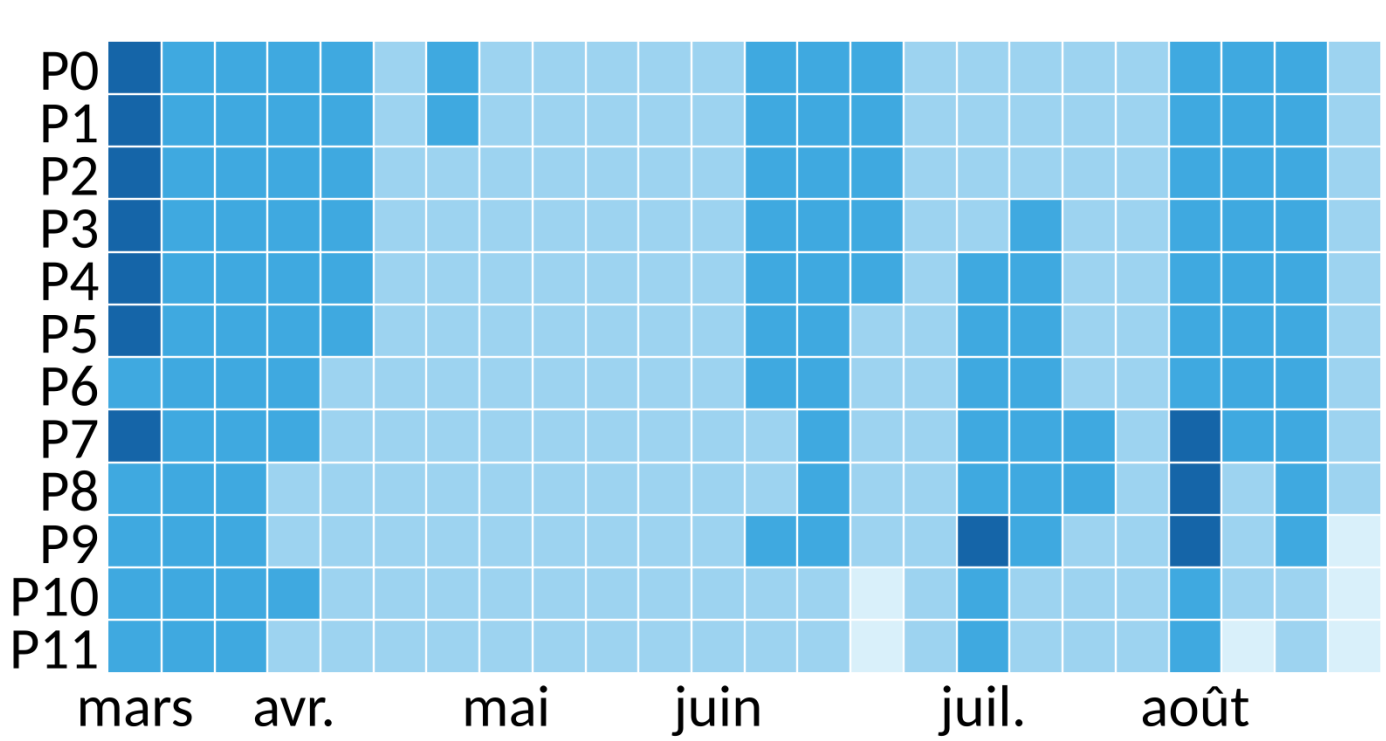
Période : du 17/03/2026 au 25/08/2026

Ordre de visite fixe : gradient spatial et heure de mesure sont confondus.

Tableau 6 : Statistiques des 288 mesures

Paramètre	Min.	Médiane	Max.
Salinité (g/L)	0,15	4,44	25,7
Transparence (cm)	9	89	202
Turbidité (NTU)	2,8	11,1	317
O_2 dissous (mg/L)	1,71	11,9	34,1
O_2 (% saturation)	25	160	446
pH	6,50	8,44	10,98
Température (°C)	25,5	29,2	31,5

Salinité : trois régimes successifs en six mois

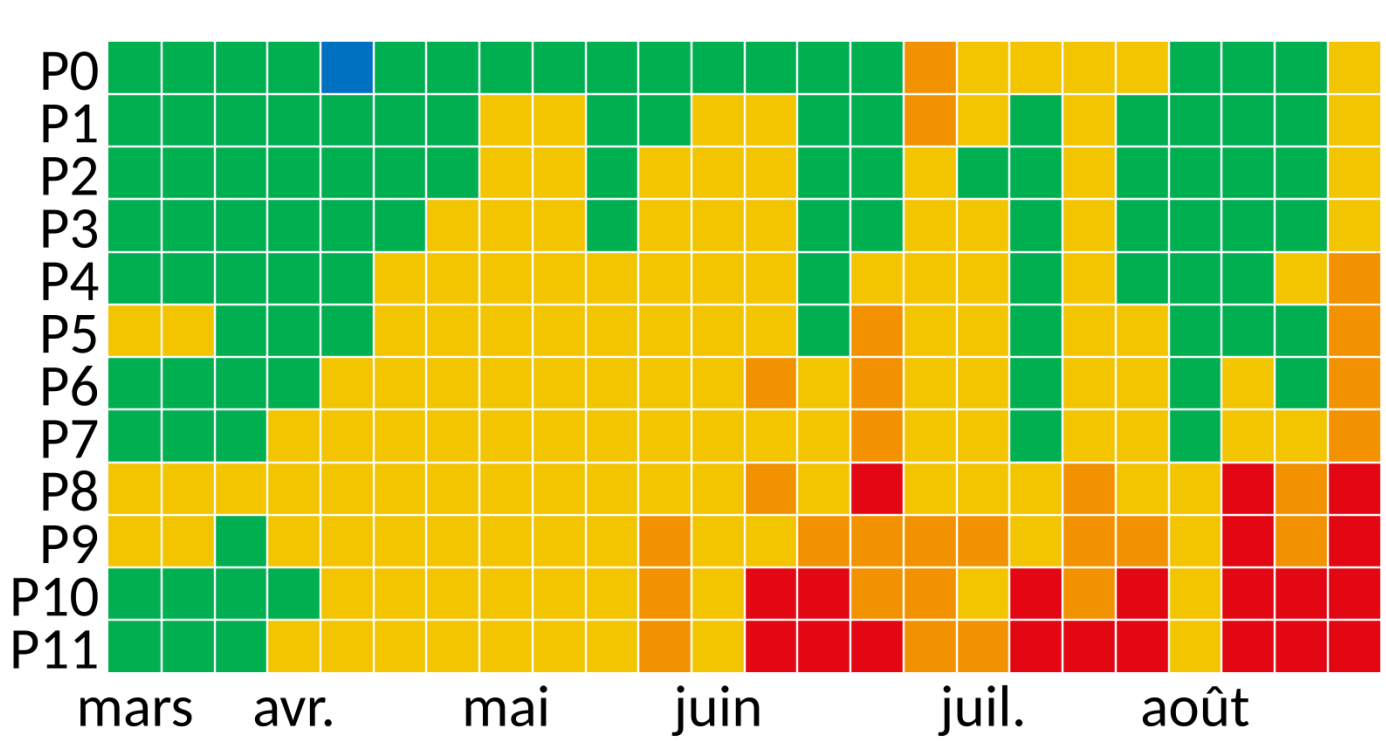


Limnique < 0,5 g/L
Oligohalin 0,5–5
Mésohalin 5–18
Polyhalin 18–30
Euhalin ≥ 30

- Mars : méso- à polyhalin (19,1 → 10,0 g/L)
- Mai : 100 % oligohalin
- Août : 56 % mésohalin (marée)

Figure 12 : *Classes de salinité par station et par campagne pour l'an 2026 évaluer sous système de Venise, (1958).*

Transparence : qualité moyenne, dégradée vers l'aval

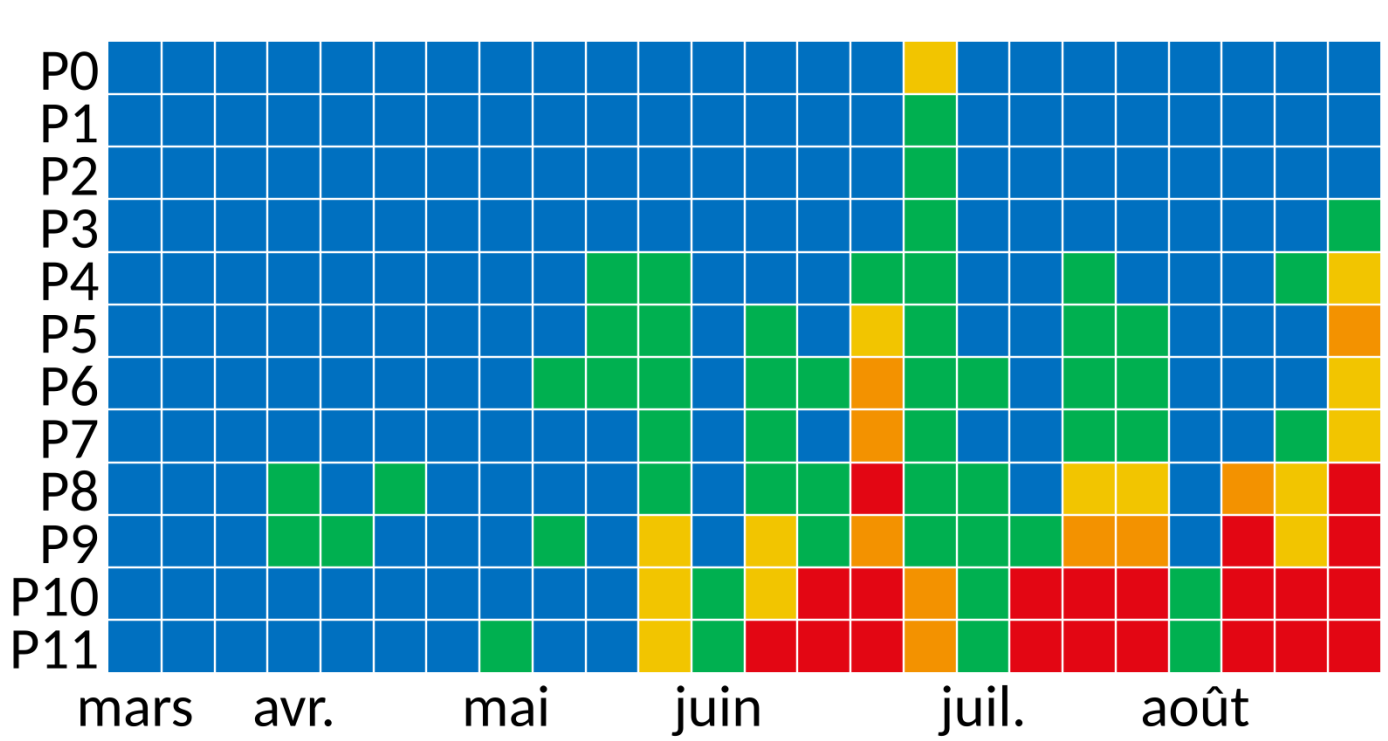


Très bonne ≥ 2 m
Bonne 1–2 m
Moyenne 0,5–1 m
Mauvaise 0,25–0,5 m
Critique < 0,25 m

- P0–P1 : 71 % bonne ou mieux
- P8–P11 : 41 % mauvaise ou critique
- Août : 33 % mauvaise ou critique (mars : 0 %)

Figure 13 : *Classes de transparence par station et par campagne (2026). Norme, SEQ-Eau/Biologie, (1999)*

Turbidité : eau claire en amont mais panache en aval



Très bonne ≤ 15 NTU
Bonne 15–35
Moyenne 35–70
Mauvaise 70–100
Critique > 100

- P0–P1 : 96 % très bonne
- P8–P11 : 22 % critique
- Hausse : +0,33 NTU/sem. à P0, +9,3 à P11 ($p < 0,001$)

Figure 14 : *Classes de turbidité par station et par campagne pour l'an 2026.*

O_2 dissous : sursaturation et hypoxies matinales

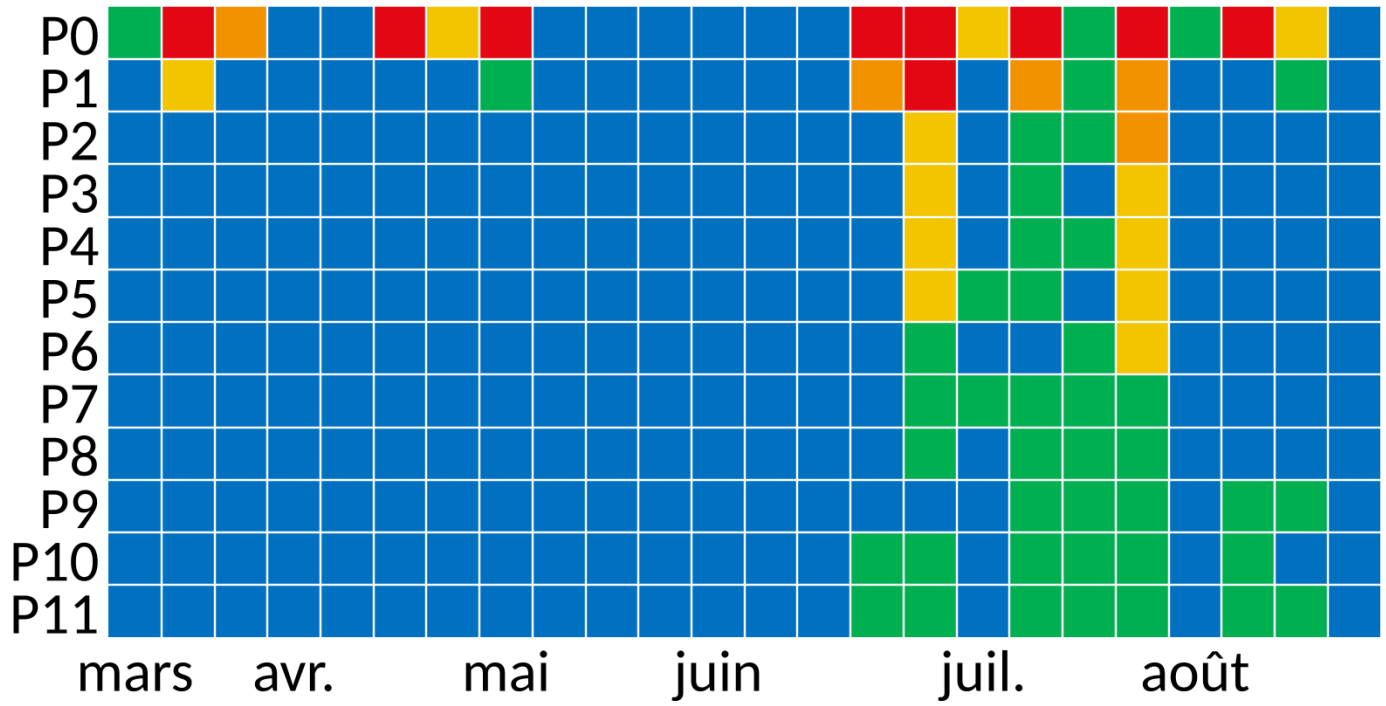
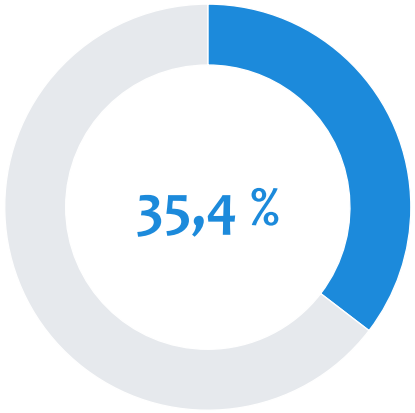


Figure 15 : *Classes d'O_2 dissous par station et par campagne*

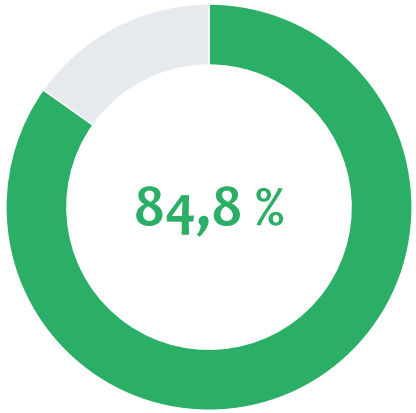
- Très bonne ≥ 8 mg/L
- Bonne 6–8
- Moyenne 4–6
- Mauvaise 3–4
- Critique < 3

- 67 % des mesures > 120 % de saturation
- Hypoxies (< 3 mg/L) à P0–P1 seulement
- Mesurées en premier (8 h 35 – 10 h) : effet de l'heure (Les plantes et les animaux pourrait consommé de l'oxygène par respiration toute la nuit sans production photosynthétique. C'est le moment le plus risqué pour les poissons.)

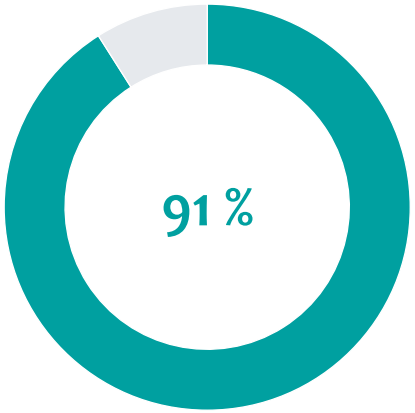
Synthèse normative : mesures en bonne classe ou mieux



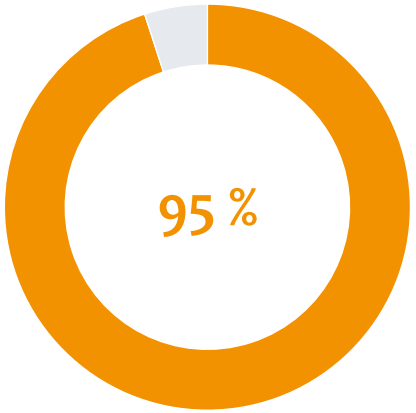
Transparence



Turbidité



Oxygène dissous



pH

Tableau 7 : Part des mesures en classe bonne ou très bonne, par secteur (%)

Secteur	Transparence	Turbidité	O_2 dissous
P0–P1 (Djondji)	71	98	65
P2–P7 (secteur dragué)	42	95	94
P8–P11 (débouché du Mono)	8	63	100

Gradient amont–aval et Synchronisme

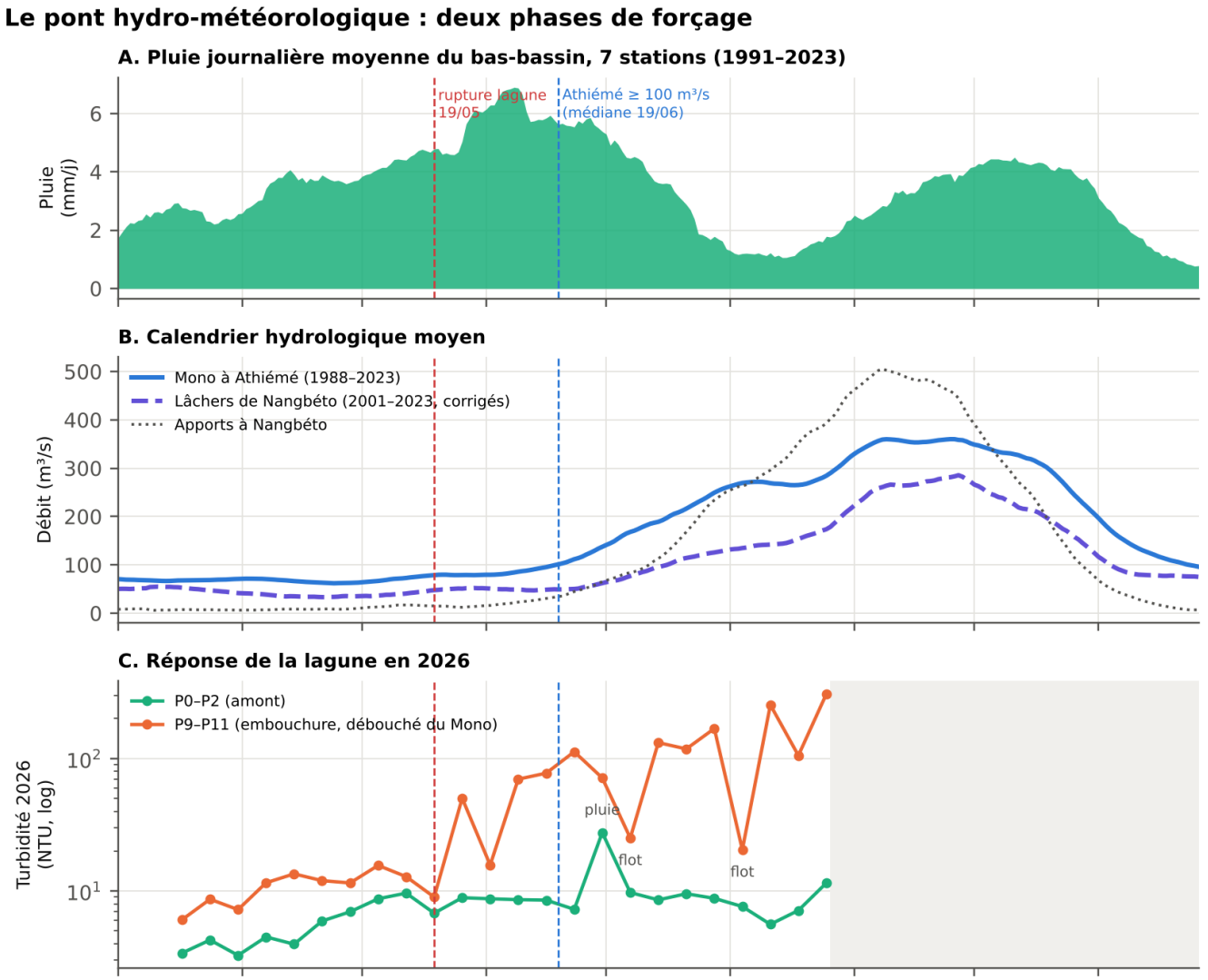


Figure 17 : *Moyennes par station (24 campagnes). Source : base de suivi 2026*

Charge organique : DBO_5, DCO et biodégradabilité

Tableau 8 : DBO_5, DCO (mg/L), rapport DBO/DCO et classe SEQ-Eau v2 de la DBO_5

Campagne	DBO_5	DCO	DBO/DCO
27/02/2025	267,7 (moy.)	343,9 (moy.)	0,77
31/05/2025	5 à 9	15 à 20 *	0,75
29/08/2025	jusqu'à 598	jusqu'à 800	0,76
02/12/2025	629 (moy.)	811,1 (moy.)	0,77
03/03/2026	435,7 (moy.)	≈ 950 (moy.) *	0,75
09/06/2026	682,9 (moy.)	986,7 (moy.)	0,69

- Charge **biodégradable** : DBO/DCO de 0,69 à 0,77 (> 0,5)
- DBO_5 > 25 mg/L à 5 campagnes sur 6

Charge tjrs biodégradable

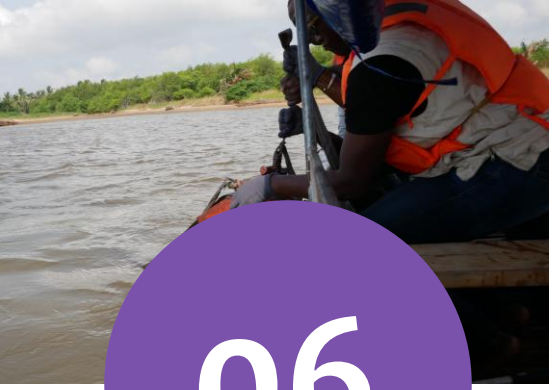
Nutriments (juin 2026) : un milieu eutrophe à hypereutrophe

Tableau 9 : Azote et phosphore totaux, statut trophique et facteur limitant (09/06/2026)

Station	NT	OCDE (N)	PT	SEQ-Eau (P)	OCDE (P)	N/P	Limitant
P0	1,26	Hyper	0,487	Moyenne	Hyper	2,6	N
P2	5,63	Hyper	0,098	Bonne	Eutrophe	57,5	P
P4	2,45	Hyper	0,202	Moyenne	Hyper	12,1	P
P6	2,20	Hyper	0,641	Médiocre	Hyper	3,4	N
P8	1,08	Eutrophe	0,726	Médiocre	Hyper	1,5	N
P10	2,77	Hyper	0,702	Médiocre	Hyper	4,0	N

- NT et PT en mg/L ; Hyper = hypereutrophe
- PT > 0,1 mg/L (seuil OCDE) à toutes les stations sauf P2
- N/P < 7,2 à P0, P6, P8, P10 : limitation par l'azote

(OCDE 1982 pour N et P ; SEQ-Eau pour P ; seuil de Redfield N/P = 7,2 en masse).



06

Métaux lourds dans les sédiments de la zone de dragage

Cadmium, plomb, mercure et arsenic dans les sédiments superficiels : 6 stations, 6 campagnes

01 Contexte et objectifs

02 Données et méthodes

03 Évolution hydrologique

04 Rôle du barrage

05 Physico-chimie et biologie

06 **Métaux lourds**

07 Synthèse et perspectives

Protocole d'analyse et normes de référence

Prélèvement
benne à fil lesté (0–10 cm) ; P0, P2, P4, P6, P8, P10 ; 6 campagnes

Minéralisation
séchage à 105 °C, calcination à 550 °C (24 h), reprise HCl 6 N puis HNO_3 0,1 M

Dosage (méthodes Hach)
Pb : LeadTrak 8317 ; Cd : dithizone 8017 ; Hg : vapeur froide 10065 ; As : Cribier

Normes AFNOR NF U 44-041 (recommandations suédoises)
Cd 2 ; Pb 100 ; Hg 1 ; As 15 µg/g



Figure 23 : *Prélèvement de sédiments à la benne*

Aucune norme béninoise ne fixe de seuils pour les sédiments

Cadmium : un pic en décembre 2025 sur cinq stations

Tableau 11 : Cadmium dans les sédiments (µg/g) ; rouge : > norme AFNOR (2)

Campagne	P0	P2	P4	P6	P8	P10
27/02/2025	< LD	0,064	< LD	0,034	< LD	< LD
31/05/2025	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
29/08/2025	< LD	< LD	0,031	0,010	< LD	< LD
02/12/2025	**9,75**	**9,00**	**10,75**	1,37	**10,75**	**5,25**
03/03/2026	0,0014	0,011	0,0046	0,0022	< LD	0,0016
09/06/2026	0,0009	0,0006	0,0006	0,0005	0,0004	0,0009

- Déc. 2025 : 1,37 à 10,75 µg/g ; norme dépassée à P0, P2, P4, P8, P10
- Mars et juin 2026 : < 0,011 µg/g
- Plomb : max. 13,25 µg/g (P0, déc. 2025), < 100
- Mercure et arsenic : < LD (0,007 et 0,03 µg/g)

Décembre 2025 : indices très élevés

Tableau 12 : Indices pour la campagne du 02/12/2025 (Cd et Pb en µg/g)

Station	Cd	Pb	CF Cd	Igeo Cd	Er Cd	RI	Seuils dépassés
P0	9,75	13,25	32,5	4,4	975	979	PEL, ERM
P2	9,00	1,25	30,0	4,3	900	901	PEL
P4	10,75	10,75	35,8	4,6	1 075	1 078	PEL, ERM
P6	1,37	6,00	4,6	1,6	137	139	TEL, ERL
P8	10,75	3,00	35,8	4,6	1 075	1 076	PEL, ERM
P10	5,25	8,50	17,5	3,5	525	527	PEL

- Igeo > 4 : « fortement à extrêmement contaminé » (Müller, 1969) ; Er > 320 : risque « très élevé » (Håkanson, 1980)
- Hors décembre 2025 : RI ≤ 6,8, très en dessous du seuil de risque faible (150)

Fond géochimique : Turekian et Wedepohl (1961) : Cd 0,3 ; Pb 20 µg/g. CF = C/fond ; Igeo = log2(C / 1,5 fond) ; Er = 30 × CF (Cd) ; RI = somme des Er

07

Synthèse, perspectives OMAC et références

Ce qu'il faut retenir, ce qu'il faut consolider, ce que l'OMAC peut faire

01 Contexte et objectifs

02 Données et méthodes

03 Évolution hydrologique

04 Rôle du barrage

05 Physico-chimie et biologie

06 Métaux lourds

07 Synthèse et perspectives

Conclusions

1. **Hydrologie** : régime artificialisé depuis 1987 (VCN30 ×48 ; IHA 67,6 %)
2. **Barrage** : soutien d'étiage (78 %), écrêtement conditionnel, piégeage des sables
3. **Lagune** : influence par un gradient amont–aval ; pluie locale (mai) puis Mono (juillet–août) ; marée plus forte
4. **Normes** : turbidité et O_2 surtout bons ; transparence moyenne ; pH plus ou moins stable; DBO et nutriments critiques (risque euthrophique)
5. **Métaux** : Hg et As sous la limite de détection, Pb sous la norme ; pic de Cd de décembre 2025 (uniquement)

Perspectives : une feuille de route en trois horizons

Court terme · 2026–2027

- Contre-analyse du Cd (ICP-MS)
- Prélèvements à phase de marée fixe
- Données CEB 2024–2026 ; suivi de la crue

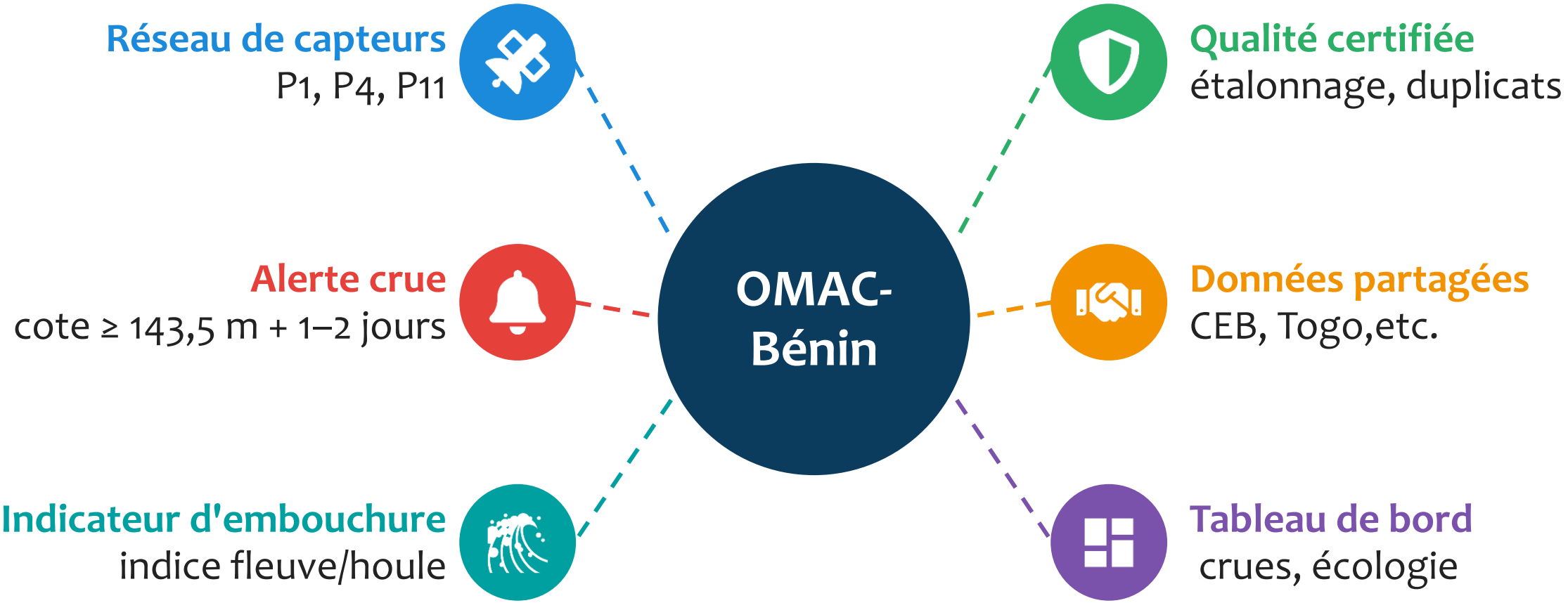
Moyen terme

- Capteurs de mesure continus à P1, P4, P11
- Bathymétrie répétée des fosses
- Métaux dans les poissons

Long terme

- Modèle couplé MIKE et embouchure
- Alerte crue à 1–2 jours
- Tableau de bord, crues, écologie
- Réseau de données Togo–Bénin

OMAC-Bénin : six briques pour un observatoire prédictif



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Lyne V., Hollick M. (1979). Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. Institution of Engineers Australia National Conference, 89–93.

MacDonald D. D., Carr R. S., Calder F. D., Long E. R., Ingersoll C. G. (1996). Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. Ecotoxicology, 5, 253–278.

Mann H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica, 13, 245–259.

MEDD, Agences de l'eau (2003). Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau), version 2.

Müller G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. GeoJournal, 2(3), 108–118.

OCDE (1982). Eutrophisation des eaux : méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. OCDE, Paris.

Pettitt A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics, 28(2), 126–135.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Richter B. D., Baumgartner J. V., Powell J., Braun D. P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. Conservation Biology, 10(4), 1163–1174.

Richter B. D., Baumgartner J. V., Braun D. P., Powell J. (1998). A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. Regulated Rivers, 14, 329–340.

Sen P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. J. Amer. Statist. Assoc., 63, 1379–1389.

Sivakumar M. V. K. (1988). Predicting rainy season potential from the onset of rains in West Africa. Agricultural and Forest Meteorology, 42, 295–305.

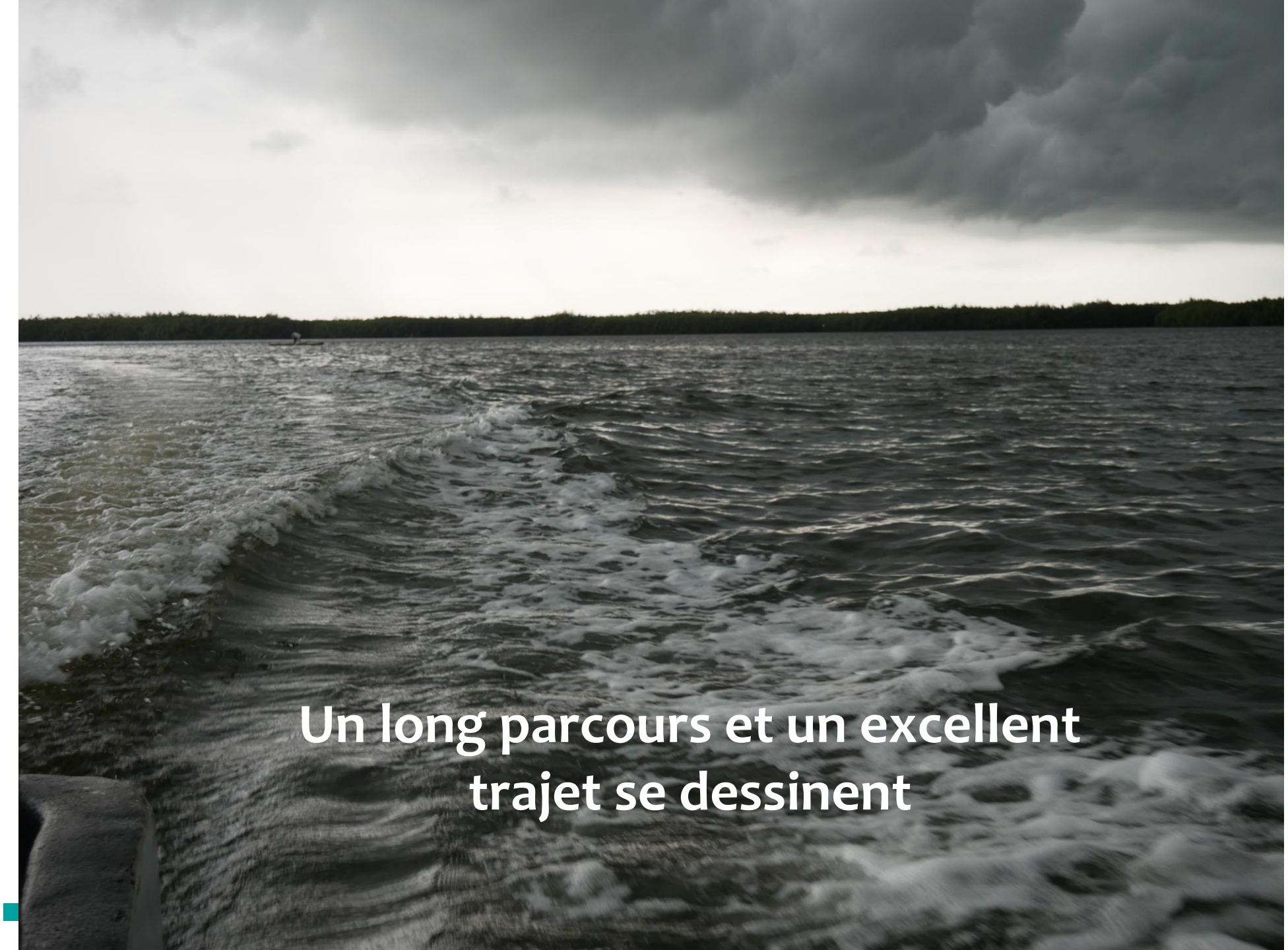
Turekian K. K., Wedepohl K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. GSA Bulletin, 72, 175–192.

Venice System (1958). Symposium on the classification of brackish waters. Oikos, 9(2), 311–312.

Zhang X. et al. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. WIREs Climate Change, 2, 851–870.



Merci de votre attention


Un long parcours et un excellent
trajet se dessinent