	<p><b>Council</b></p> <p><i>Annual Progress Report on Actions taken under the Implementation Plan for the Calendar Year 2023 EU – France</i></p>	<p><b>CNL(24)40</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------

***Annual Progress Report on Actions taken under the Implementation Plan for the  
Calendar Year 2023***

The Annual Progress Reports allow NASCO to evaluate progress on actions taken by Parties / jurisdictions to implement its internationally agreed Resolutions, Agreements and Guidelines and, consequently, the achievement of their objectives and actions taken in accordance with the Convention. The following information should be provided through the Annual Progress Reports:

- any changes to the management regime for salmon and consequent changes to the Implementation Plan;
- actions that have been taken under the Implementation Plan in the previous year;
- significant changes to the status of stocks, and a report on catches; and
- actions taken in accordance with the provisions of the Convention.

*In completing this Annual Progress Report please refer to the **Guidelines for the Preparation and Evaluation of NASCO Implementation Plans and for Reporting on Progress**, [CNL\(18\)49](#).*

These reports will be reviewed by the Council. Please complete this form and return it to the Secretariat **no later than 1 April 2024**.

<b>Party:</b>	<b>European Union</b>
<b>Jurisdiction / Region:</b>	<b>France</b>

<b>1: Changes to the Implementation Plan</b>
<b>1.1 Describe any proposed revisions to the Implementation Plan (Where changes are proposed, the revised Implementation Plans should be submitted to the Secretariat by 1 November).</b>
The plan was submitted in November 2020. No revisions have therefore been made since
<b>1.2 Describe any major new initiatives or achievements for salmon conservation and management that you wish to highlight.</b>
<p>1- PLAGEPOMI is one of the watershed reference document, on the basis of which all water and biodiversity stakeholders can target their interventions in favor of migratory fish within the framework of WFD, local environmental contracts (river, lagoon, bay...) as well as within the framework of calls for projects proposed by various funders.</p> <p>From March 2022, several orders handed down by the Bordeaux Administrative Court, ruling on applications for interim relief, suspended the implementation of the PLAGEPOMI for the Garonne watershed and the PLAGEPOMI for the Adour watershed. In 2023, this solution was confirmed by the same court in a ruling on the merits of a case concerning the PLAGEPOMI for the Garonne watershed..</p> <p>The French Ministry of Ecology has lodged an appeal against this ruling, which is currently being examined. It is important to note that, as far as salmon are concerned, the aforementioned suspensions and annulments are based solely on a procedural defect: the administrative court considered that the PLAGEPOMI are among the planning documents covered by 1° of article L. 414-4 of the French Environmental Code when the perimeter they define includes a Natura 2000 site. And that, consequently, the establishment of a PLAGEPOMI is subject to prior assessment of its impact with regard to the conservation objectives of these Natura 2000 sites. This is the case when the PLAGEPOMI is likely to have a significant impact on the species protected by certain NATURA 2000 sites.</p>

Article L. 414-4 of the Environment Code transposes into French law articles 6 § 3 and 6 § 4 of Habitats Directive 92/43/EEC of 21 May 1992. This case law could therefore inspire the national courts of other EU Member States where planning documents provide a framework for the preservation of salmon.

The PLAGEPOMI of the Breton rivers has been updated in 2023 and validated in February 2024. The table below has therefore been updated

Watershed	date of prefectoral decree	Internet link to Plagepomi
Cours d'eau bretons	2024-02-23	<a href="https://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20240119_plagepomi_2024-2027_vf.pdf">https://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20240119_plagepomi_2024-2027_vf.pdf</a>
Loire, Sèvre niortaise et côtiers vendéens	2021-12-21	<a href="https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20211221_plagepomi_2022-2027_arrete.pdf">https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20211221_plagepomi_2022-2027_arrete.pdf</a>
Adour	2021-12-28	<a href="https://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/plagepomi_adour_2022-2027.pdf">https://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/plagepomi_adour_2022-2027.pdf</a>
Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	2021-12-28	<a href="https://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/plagepomi_gdcsl_2022-2027.pdf">https://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/plagepomi_gdcsl_2022-2027.pdf</a>
Artois-Picardie	2021-12-29	<a href="https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/plagepomi_artois_picardie_2022_2027bd.pdf">https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/plagepomi_artois_picardie_2022_2027bd.pdf</a>
Seine-Normandie	2021-12-20	<a href="https://www.driat.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/220203_plagepomi_approuve_2022-27_vdef.pdf">https://www.driat.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/220203_plagepomi_approuve_2022-27_vdef.pdf</a>
Rhin-Meuse	2022-05-16	<a href="https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/v5_projet-plagepomi_fev2022_vfinale_pgarde3_comprime.pdf">https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/v5_projet-plagepomi_fev2022_vfinale_pgarde3_comprime.pdf</a>

2- The migratory associations of each river basin work for a good knowledge and a better management for the migratory fishes and thus for the salmon (which is not present on the Rhone-Mediterranean watershed!). Each one has a dashboard for the monitoring of its watershed. Here are the key elements of 2023 for each of them.

Watershed	assessment of associations' work in 2023
Cours d'eau bretons	Bretagne Grands Migrateurs (BGM) : <a href="https://www.observatoire-poissons-migrateurs-bretagne.fr/etudes-et-suivis-sur-les-poissons-migrateurs-en-bretagne?filter_17[]=2&amp;cc=">https://www.observatoire-poissons-migrateurs-bretagne.fr/etudes-et-suivis-sur-les-poissons-migrateurs-en-bretagne?filter_17[]=2&amp;cc=</a>
Loire, Sèvre niortaise et côtiers vendéens	Loire Grands Migrateurs (LOGRAMI) (p. 206) : <a href="https://www.logrami.fr/telechargement/nos-publications/rapports/recueil/Rapport-LOGIPOMI-2022_LOGRAMI_VF.pdf">https://www.logrami.fr/telechargement/nos-publications/rapports/recueil/Rapport-LOGIPOMI-2022_LOGRAMI_VF.pdf</a>
Adour	MIGRADOUR (monitoring population control stations) : <a href="https://www.migradour.com/publications/?tex_activites=suivi-des-populations&amp;tex_especes=saumon-atlantique&amp;view=list">https://www.migradour.com/publications/?tex_activites=suivi-des-populations&amp;tex_especes=saumon-atlantique&amp;view=list</a>
Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	MIGADO : <a href="http://www.migado.fr/rapport-dactivite-2021-de-lassociation-migado/">http://www.migado.fr/rapport-dactivite-2021-de-lassociation-migado/</a> (p. 12-14) <a href="https://www.migrateurs-charenteseudre.fr/espece/saumon-atlantique/">https://www.migrateurs-charenteseudre.fr/espece/saumon-atlantique/</a>
Seine-Normandie	SEINORMIGR : <a href="https://www.seinormigr.fr/fr/tableau-bord-sat-0996">https://www.seinormigr.fr/fr/tableau-bord-sat-0996</a>
Rhin-Meuse	Saumon-Rhin : <a href="https://www.saumon-rhin.com/synthese-des-comptages/">https://www.saumon-rhin.com/synthese-des-comptages/</a>

3- Publication :

- Benchmarking the north atlantic salmon stock assessment: a new life cycle model to evaluate salmon mixed stock status and fisheries management scenarios across the north atlantic basin [Maxime Olmos , Remi Lemaire-Patin , Pierre-yves Hervann , James Ounsley , Maud Queroue , et al.] ICES Scientific Reports, 2023, ICES Scientific Reports, 5 (112), 85 p. {10.17895/ices.pub.24752079}
  - A multi-population approach supports common patterns in marine growth and maturation decision in Atlantic salmon ( *Salmo salar* L.) from southern Europe [Cécile Tréhin , Etienne Rivot , Valentin Santanbien , Rémi Patin , Stephen Gregory , et al.] Journal of Fish Biology, 2023, pp.1-14. {10.1111/jfb.15567}
  - Fisheries-dependent and -Independent data used to model the distribution of diadromous fish at-sea [Sophie A.M. Elliott , Noémie Deleys , Laurent Beaulaton , Etienne Rivot , Elodie Réveillac , et al. Data in Brief, 2023, 48, pp.109107. {10.1016/j.dib.2023.109107}]
  - AcousticIA, a deep neural network for multi-species fish detection using multiple models of acoustic cameras [Guglielmo Fernandez Garcia , Thomas Corpetti , Marie Nevoux , Laurent Beaulaton , François Martignac] Aquatic Ecology, 2023, 57 (4), pp.881-893. {10.1007/s10452-023-10004-2}
- 4- The Sélune program continues (INRAE): telemetric monitoring of salmon runs following the removal of the two hydroelectric dams of Vezins in 2020 and La Roche-qui-Boit in 2022. 27 salmon spawners were equipped in 2023 when they returned to the river (<https://programme-selune.com/resultats/des-saumons-equipes-pour-suivre-leurs-deplacements-dans-la-vallee-de-la-selune>)
- 5- OFB and INRAE were present at the The International Conference on Integrative Salmonid Biology, March 11 to 14 2024, Seattle, Canada. An oral presentation on NAP was presented.

## 2: Stock status and catches.

### 2.1 Provide a description of any new factors that may affect the abundance of salmon stocks significantly and, if there has been any significant change in stock status since the development of the Implementation Plan, provide a brief (200 word max) summary of these changes.

In 2023, for freshwater recreative fishermen, there was a 10% reduction in salmon fishing licenses sold compared to 2022, potentially influencing fishing efforts and subsequent catch numbers. With fewer fishermen interested in purchasing the license, the overall fishing activity decreased.

Focus on the Loire watershed :

- low flows were observed on the Loire in January and February
- the number of salmon observed at Vichy reached an all-time low with only 96 salmon observed.

Focus on Seine-Normandie watershed :

The total allowable catch for spring salmon in the Vire and Touques rivers has been reduced to zero in the decree of 02 February 2024 governing the fishing of migratory fish in the Seine-Normandy basin 2024-2025. These are conservation measures requested by the COGEPOMI in view of the unfavourable trend in salmon populations in these rivers in recent years.

### 2.2 Provide the following information on catches: (nominal catch equals reported quantity of salmon caught and retained in tonnes 'round fresh weight' (i.e. weight of whole, ungutted, unfrozen fish) or 'round fresh weight equivalent').

(a) provisional nominal catch (which may be subject to revision) for 2023 (tonnes)	In-river	Estuarine	Coastal	Total
	1.85 round fresh weight	3.377 round fresh weight	0.023 round fresh weight (marine recreative fishermen data are only available for « Baie du Mont St Michel » = 0.002)	5.250 round fresh weight

(b) confirmed nominal catch of salmon for 2022 (tonnes)	3.76 round fresh weight	3.841 round fresh weight	0.088 round fresh weight (marine recreative fishermen data are only available for « Baie du Mont St Michel » =0.06)	7.689 round fresh weight
(c) estimated unreported catch for 2023 (tonnes)	NA	NA	NA	NA
(d) number and percentage of salmon caught and released in recreational fisheries in 2023	21 out of 429 were caught and released, equivalent to 4.9% of total salmon caught in 2023 (data only available for in-river catches).			

### 3: Implementation Plan Actions.

#### 3.1 Provide an update on progress on actions relating to the Management of Salmon Fisheries (section 2.9 of the Implementation Plan).

*Note: the reports under 'Progress on action to date' should provide a **brief overview** of each action. Please report in relation to the reporting year only or the most relevant recent year. For all actions, provide **clear and concise quantitative** information to demonstrate progress. In circumstances where quantitative information cannot be provided for a particular action because of its nature, a clear rationale must be given for not providing quantitative information and other information should be provided to enable progress with that action to be evaluated. While referring to additional material (e.g. via links to websites) may assist those seeking more detailed information, this will not be evaluated by the Review Group.*

<b>Action F1:</b>	Description of action (as submitted in the IP)	<p>Under the Marine Strategy Framework Directive (MSFD) 2008/56/EC dated 17 June 2008 each Member State should develop a strategy to achieve or maintain Good Environmental Status (GES) in the marine environment. The first cycle covered the period 2012 – 2018 and the second cycle (2019 – 2025) is now in progress. Relevant objectives and indicators are set for each cycle and these are revised every 6 years. Reaching these objectives and indicators is achieved through monitoring programmes and a suite of measures set out in the strategy papers for maritime zones. One of the environmental objective indicators in the second cycle relates to marine catches of diadromous species, including salmon, and is given below.</p> <p>Implementation of the indicators for the second cycle of the MSFD (2019 – 2025) will enable:</p> <p>a) an assessment to be carried out on reaching the indicators in the first cycle;</p> <p>b) new monitoring measures and actions to be established for the second cycle.</p>
	Expected outcome (as submitted in the IP)	Management of the resource will be adapted and the MSFD objectives will be achieved.
	Approach for monitoring effectiveness & enforcement (as submitted in the IP)	<p>Indicators to be reported on in the annual reports:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>D01-PC-OE03 ind 1: annual monitoring of marine salmon catches in estuaries and at sea by professional fishers.</li> </ul>
	Progress on action to date	A spatial biogeographical analysis has been carried out and the report is available online: <a href="https://hal.science/hal-04414309v1/preview/Rapport_ARP-ESPECES-IDENTIFICATION-SECTEURS-A-RISQUE-OFB-2023.pdf#page=2">https://hal.science/hal-04414309v1/preview/Rapport_ARP-ESPECES-IDENTIFICATION-SECTEURS-A-RISQUE-OFB-2023.pdf#page=2</a>

*(Provide a brief overview with a quantitative measure, or other justified evaluation, of progress. If sub-actions are completed during the reporting year, this should be made clear. Other material (e.g. website links) will not be evaluated)*

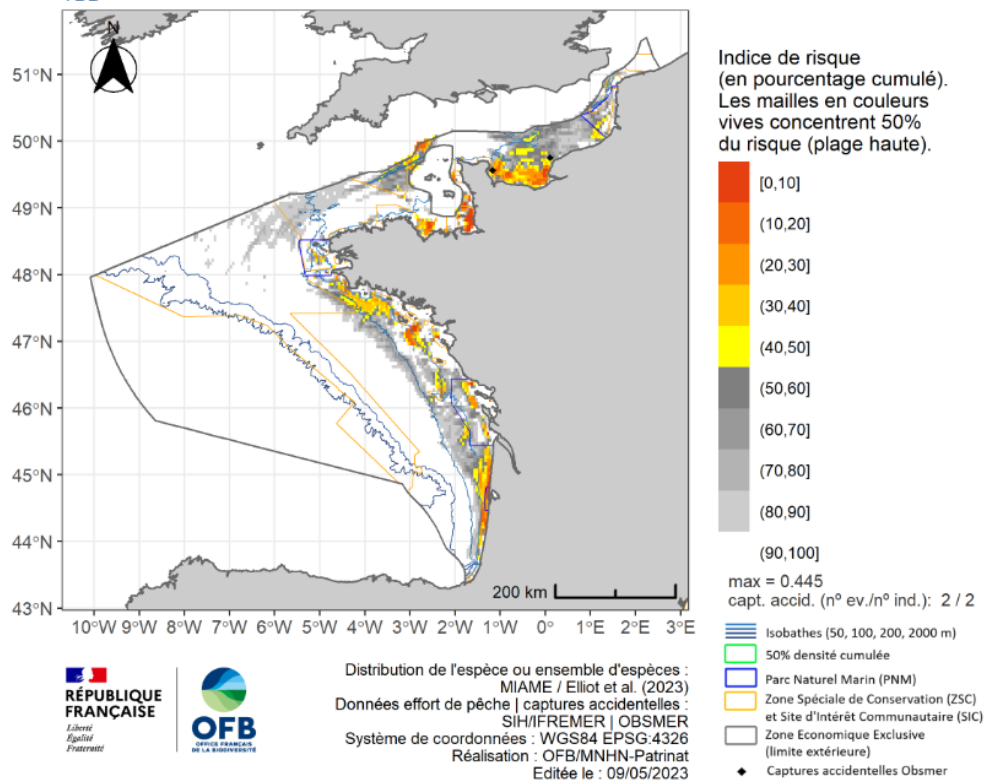
A proven risk to demography in the Loire and Gironde estuaries (Garonne/Dordogne) has been identified: "In view of the large number of catches observed (source: ObsMer) (on a small proportion of the fishing effort) in these sectors and the very low size of the populations concerned. The impact on demographics is undoubtedly high for the catches observed".

For the other sectors: the available data do not allow us to identify a quantified impact on demographics, but this interaction is identified as one of "the interactions most likely to present a risk of undermining conservation objectives".

Risk maps have been produced at the Atlantic scale:

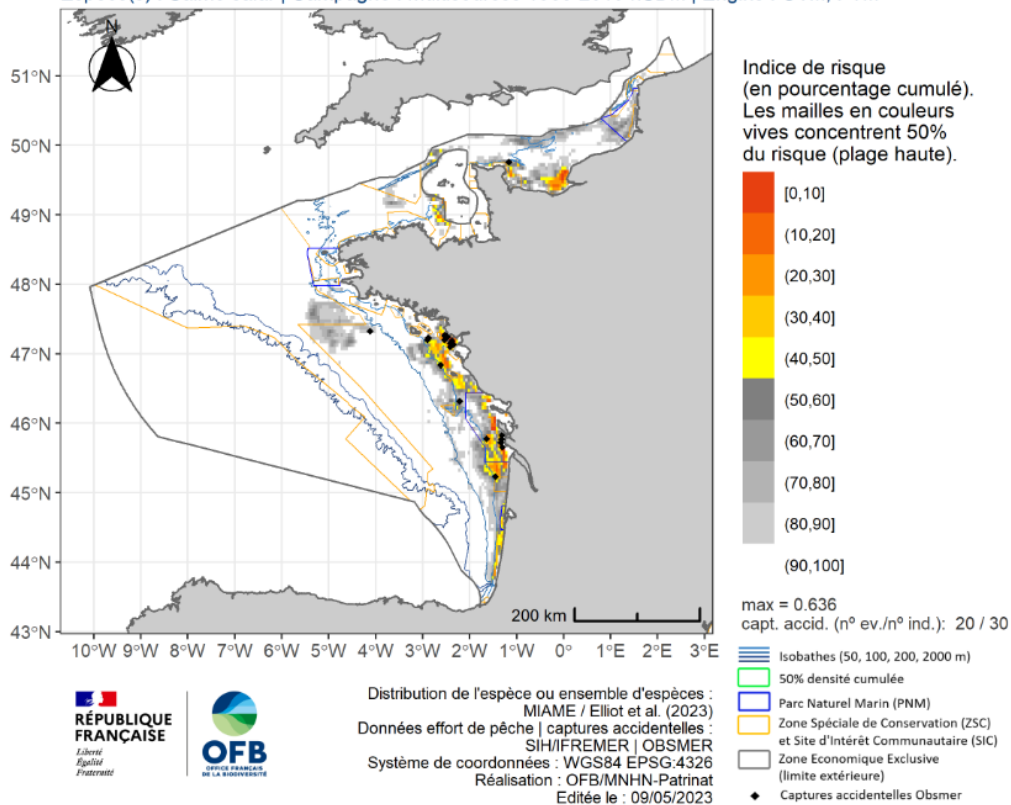
**Risque d'interaction (Manche-Atlantique, annuel, AGG) :  
Saumon atlantique >< Chalut de fond**

Espèce(s) : *Salmo salar* | Campagne : multisources 1965-2019 hSDM | Engins : OTB, OTT, PTB, TBB



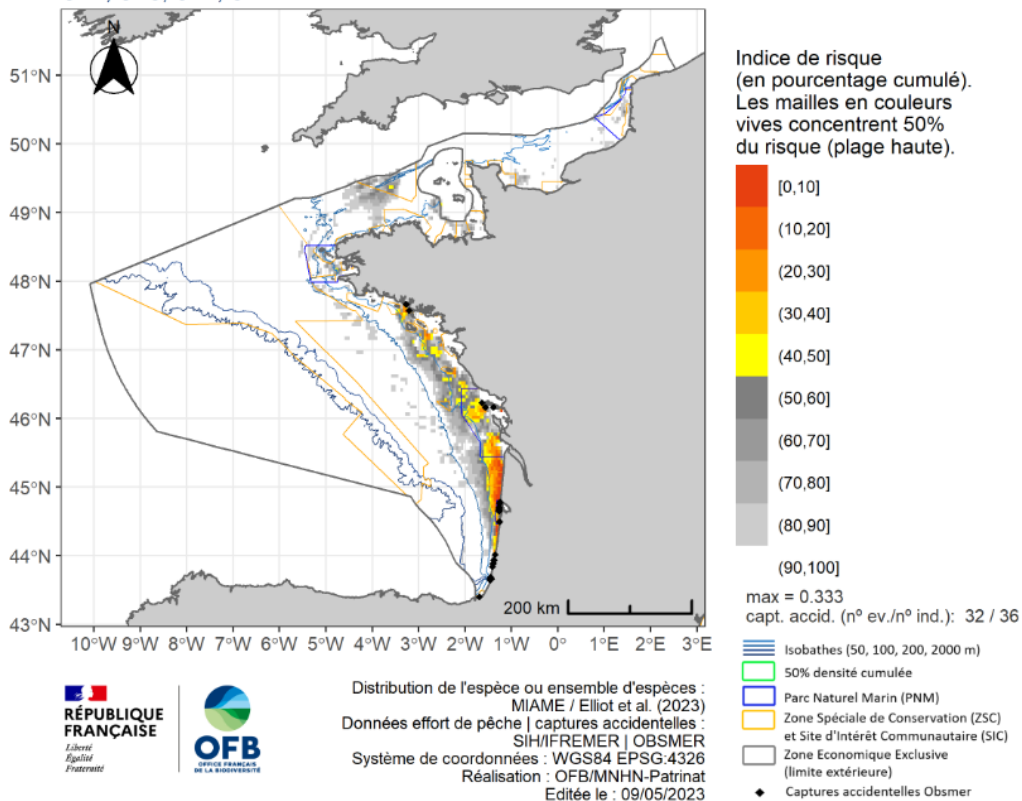
Risque d'interaction (Manche-Atlantique, annuel, AGG) :  
Saumon atlantique >> Chalut pélagique

Espèce(s) : *Salmo salar* | Campagne : multisources 1965-2019 hSDM | Engins : OTM, PTM



Risque d'interaction (Manche-Atlantique, annuel, AGG) :  
Saumon atlantique >> Filet

Espèce(s) : *Salmo salar* | Campagne : multisources 1965-2019 hSDM | Engins : GEN, GN, GND, GNE, GNS, GTN, GTR



		As part of this work, priorities for acquiring knowledge and testing reduction measures have been identified in relation to nets and trawls in estuaries frequented by salmonids (and shad). Targeted observation campaigns at sea will be scheduled from 2024. The analyses should be finalised by the end of 2026 and the measures implemented by the end of 2027.
	Current status of action <i>(Please note: 'Completed' means that the overall action is complete for the lifetime of the third reporting cycle. If it is an ongoing action that is reported on annually, it should be marked as 'Ongoing')</i>	Ongoing
	If 'Completed', has the action achieved its objective?	
<b>Action F2:</b>	Description of action <i>(as submitted in the IP)</i>	Establish conservation limits for French rivers on which fishing occurs / Create management objectives and assessment tools.
	Expected outcome <i>(as submitted in the IP)</i>	Conservation limits or management targets will be established.
	Approach for monitoring effectiveness & enforcement <i>(as submitted in the IP)</i>	Indicators to be reported on in the annual reports: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Number of rivers on which work is underway</li> <li>• Number of rivers with established conservation limits</li> </ul>
	Progress on action to date <i>(Provide a brief overview with a quantitative measure, or other justified evaluation, of</i>	The salmon stocks in the Garonne and Dordogne, Loire and Rhin-Meuse watershed are not subject to fishing activity and are not concerned by this action  Seine-Normandie et Artois-Picardie: The specific measure C5 of the Artois-Picardie PLAGEPOMI : The RENOSAUM project, which aims to define the conservation limits for salmon in various rivers in the Artois-Picardie and Seine-Normandy basins and to reassess the management strategy for the species accordingly, is currently underway. An inventory of all the data collected to apply the model has been completed. The project will continue in 2024, with the aim of approving conservation limits at the end of the year.

	<p><i>progress. If sub-actions are completed during the reporting year, this should be made clear. Other material (e.g. website links) will not be evaluated)</i></p>	<p>However, depending on the chronicles available for each data set, some conservation limits will be extrapolated from data on similar rivers from Brittany.</p> <p>Brittany: As part of the RENOSAUM project, the scenario of a fishing quota per river was retained on each of the 14 rivers where the conservation limit is respected. On the 4 other rivers, the quota is 0. The new salmon management model in Brittany was implemented in 2023 with the signing of an order from the Regional Prefect.</p> <p>For the Adour and Garonne watersheds, the PLAGEPOMI has been suspended in summary proceedings and there has not yet been a judgement on the merits. Fishing decrees are appealed as soon as they are published. There is therefore no framework for planning ...</p>
	<p>Current status of action (Please note: 'Completed' means that the overall action is complete for the lifetime of the third reporting cycle. If it is an ongoing action that is reported on annually, it should be marked as 'Ongoing')</p>	<p>Ongoing</p>
	<p>If 'Completed', has the action achieved its objective?</p>	
<p><b>Action F4:</b></p>	<p>Description of action (as submitted in the IP)</p>	<p>Determine the origin of salmon caught in estuaries and rivers through scientific studies.</p>
	<p>Expected outcome (as submitted in the IP)</p>	<p>Improved knowledge of stock exploitation.</p>
	<p>Approach for monitoring effectiveness &amp; enforcement (as submitted in the IP)</p>	<p>Indicators to be reported on in the annual reports:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Number of projects undertaken in each basin</li> <li>• Compliance with deadlines for each study (Y / N)</li> </ul>

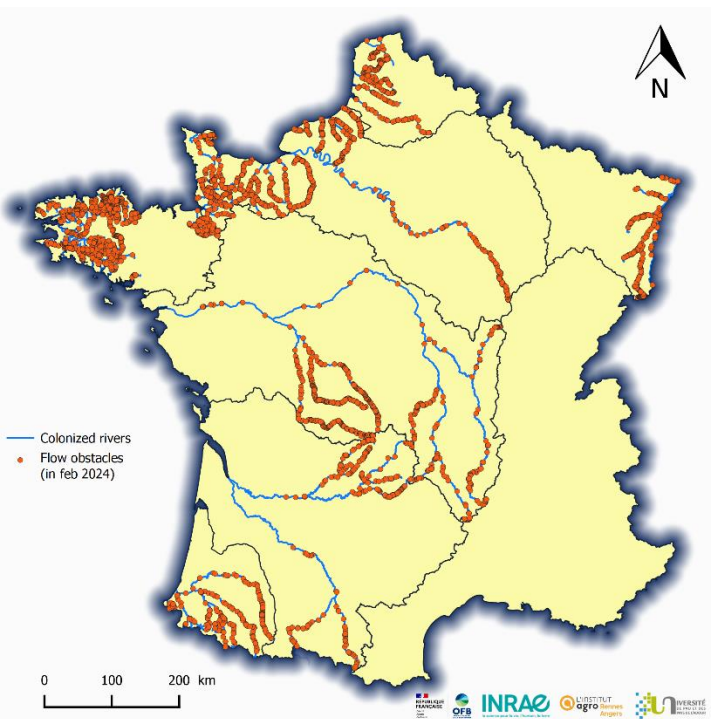


<p>Progress on action to date (Provide a brief overview with a quantitative measure, or other justified evaluation, of progress. If sub-actions are completed during the reporting year, this should be made clear. Other material (e.g. website links) will not be evaluated)</p>	<p>The Rhine-Meuse PLAGEPOMI has included the action 22g : As regards the study of the functionality of GSM breeding habitats, the final results cannot be proposed as the field surveys have not yet been completed. What we can say is that the hydrological conditions of the season did not allow the capsules to be put in place on all the watercourses envisaged, and the acquisition of environmental data is sought where possible.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bruche: no readings possible, flows too high throughout the season (throughout the winter with no real receding). No data for the 23/24 season (apart from information on the thermal profile).</li> <li>- Lièpvrette: capsules installed and removed, clogging measurements carried out, thermal data.</li> <li>- Fecht: ditto, capsules installed and removed, clogging measurements taken, thermal data.</li> <li>- Moselotte: impossible to install the capsules because the river was in flood during the period, thermal probes installed and clogging measurements planned for March 2024 depending on water levels.</li> <li>- Control: batch installed in a fish farm and kept there until the hatching date, thermal data to monitor egg development.</li> </ul> <p>The results are currently being analysed, but it would appear that the encapsulation process has worked (to be perfected next season) and at first sight, as far as river survival is concerned, the Fecht is giving good results.</p> <p>Seine-Normandie :</p> <p>Completion of the OSABAIE study - natal origins of adult Atlantic salmon caught in the Bay of Mont-Saint-Michel (Réveillac et al.) : the full report is attached to this report</p> <p>1.1 Objective of the study: to assess the contribution of the 4 main catchment areas (Sée, Sélune, Couesnon, Sienne) to the stock of spawning adults in the Bay of Mont-Saint-Michel. The action, which was limited in time, aimed to provide a snapshot of this contribution.</p> <p>1.2 Results of the study: evidence of exchanges of salmon between the 4 watersheed of the Bay, supporting the hypothesis that the Bay's watersheed function as a metapopulation. Taken individually, the 4 watersheed showed contrasting exchange characteristics producing different proportions of individuals with homing and/or straying behaviour. The Sienne was characterised more by its export of individuals, the Sée by its low contribution to export and its high probability of immigration, the Sélune by its conservative probabilities and the Couesnon by its phylopatry and its probability of receiving salmon from other basins.</p> <p>The study shows that the Sienne, the Sélune and the Couesnon, and probably the Sée, make an effective contribution to the production of spawners intercepted in the Bay and in the part of it regulated for snowshoe fishing.</p>
<p>Current status of action (Please note: 'Completed' means that the overall action is complete for the lifetime of the third reporting cycle. If it is an ongoing action that is reported on annually, it should be</p>	<p>Ongoing</p>

	marked as 'Ongoing')	
	If 'Completed', has the action achieved its objective?	

**3.2 Provide an update on progress on actions relating to Habitat Protection and Restoration (section 3.5 of the Implementation Plan).**

*Note: the reports under 'Progress on action to date' should provide a **brief overview** of each action. Please report in relation to the reporting year only or the most relevant recent year. For all actions, provide **clear and concise** quantitative information to demonstrate progress. In circumstances where quantitative information cannot be provided for a particular action because of its nature, a clear rationale must be given for not providing quantitative information and other information should be provided to enable progress with that action to be evaluated. While referring to additional material (e.g. via links to websites) may assist those seeking more detailed information, this will not be evaluated by the Review Group.*

<b>Action H1:</b>	Description of action (as submitted in the IP)	Improve upstream and downstream movement by reducing the impacts of obstacles on the main watercourses populated by salmon (removing, levelling or modifying obstacles).
	Expected outcome (as submitted in the IP)	Assessment of the improvements made to upstream and downstream movement of salmon in the main watercourses.
	Approach for monitoring effectiveness & enforcement (as submitted in the IP)	Indicators to be reported on in the annual reports: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Number of obstacles removed from salmon rivers;</li> <li>• Number of modified obstacles on salmon rivers;</li> <li>• Number of obstacles constructed on salmon rivers.</li> </ul>
	Progress on action to date (Provide a brief overview with a quantitative measure, or other justified evaluation, of progress. If sub-actions are completed during the reporting year, this should be made clear. Other material (e.g. website links) will not be evaluated)	<p>The monitoring of the obstacles identified in the French salmon rivers list provided in 2023 has been done and the list updated.</p>  <p>Improvement work is in progress.</p>

		See the attached Excel file called H1_SAT_2024, that describes obstacles states and uses on NASCO rivers
	Current status of action <i>(Please note: 'Completed' means that the overall action is complete for the lifetime of the third reporting cycle. If it is an ongoing action that is reported on annually, it should be marked as 'Ongoing')</i>	Ongoing
	If 'Completed', has the action achieved its objective?	
<b>Action H2:</b>	Description of action <i>(as submitted in the IP)</i>	Identify strategic salmon spawning and nursery habitats and match these with appropriate regulatory instruments for their protection.
	Expected outcome <i>(as submitted in the IP)</i>	Creation of a map of regulatory protection instruments; if possible this will be superimposed on a map of strategic habitats for salmon.
	Approach for monitoring effectiveness & enforcement <i>(as submitted in the IP)</i>	Indicators to be reported on in the annual reports: <ul style="list-style-type: none"> <li>percentage of salmon habitat under regulatory protection</li> <li>percentage of salmon rivers that have been mapped</li> </ul>
	Progress on action to date <i>(Provide a brief overview with a quantitative measure, or other justified evaluation, of progress. If sub-actions are completed during the reporting year, this should be made clear. Other material (e.g. website links) will not be evaluated)</i>	<p>Concerning Loire, côtiers vendéens and Sèvre niortaise watershed , 3 actions take into account action H2 (H1Co1, H2Co1, H2P1) : Actions on knowledge of habitats, their use and productivity is continuing in the Loire basin. Knowledge has not been cross-referenced with protection instruments</p> <p>Concerning Rhin-Meuse watershed, 2 actions take into account action H2 ( 22d, 22e) : These actions will be implemented shortly</p> <p>Concerning Artois-Picardie watershed, 2 actions take into account action H2 (C4, A9) : The habitat mapping programme scheduled for the Pas-de-Calais département in 2023 could not be maintained due to a lack of human resources and equipment problems. As a reminder, habitats will be mapped on 3 tributaries of the Canche: the Bimoise, the Planquette and the Bras de Bronne. Similarly, investigations in the Somme department have been postponed and are scheduled for 2024.</p> <p>Concerning Seine-Normandie watershed :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Habitat protection: action 4B1 of the PLAGEPOMI =&gt; After discussions in the COGEPOMI technical committee in 2023, it appears that this action depends on the prior completion of action 4A.2 [Identify the sectors at stake, the levels of functionality and the potential biological gains]. Action 4A.2 will be initiated in 2024.</li> <li>- Mapping of flow facies: actions 4A1 and 4A.2 of the PLAGEPOMI =&gt; In 2023, mapping of the Rouvre, a tributary of the Orne, completing the mapping of high-stakes areas carried out in 2022 by the SEINORMIGR migratory association (see 2022 report).</li> </ul>

		<p>The new PLAGEPOMI of the Breton rivers have taken into account actions identified in the IP.</p> <p>Action SAT11: Provide juvenile production areas</p> <p>Salmon Carry out maps of juvenile salmon habitats according to needs and update the maps if necessary to evaluate the production areas</p>
	<p>Current status of action <i>(Please note: 'Completed' means that the overall action is complete for the lifetime of the third reporting cycle. If it is an ongoing action that is reported on annually, it should be marked as 'Ongoing')</i></p>	Ongoing
	<p>If 'Completed', has the action achieved its objective?</p>	
<b>Action H3:</b>	<p>Description of action <i>(as submitted in the IP)</i></p>	<p>Improving the function of 'weakened' habitats:</p> <p>a) Improve sedimentary conditions in some strategic areas for salmon, especially below some large dams</p> <p>b) Improve flow management below some large dams for the various stages of the salmon's life cycle (e.g. migration, spawning, growth)</p> <p>c) ensure appropriate flow levels on certain routes, or strategic stretches, for salmon (particularly on side channels)</p>
	<p>Expected outcome <i>(as submitted in the IP)</i></p>	<p>a) identification of the relevant areas in France and implementation of actions (dam management, mechanical sedimentary transport) which will improve the survival rates of eggs and juveniles</p> <p>b) identification of the relevant areas across France, definition and implementation of adapted management methods (minimum and maximum flow levels, water level variation gradients etc.)</p> <p>c) identification of the relevant routes or stretches (side channels) across France, definition and implementation of appropriate flow levels for salmon to live, spawn and move around the river</p>
	<p>Approach for monitoring effectiveness &amp; enforcement <i>(as submitted in the IP)</i></p>	<p>Indicator to be reported on in the annual reports:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Number of kilometres of watercourse affected by the actions taken</li> </ul> <p>This information will be provided on a per basin basis, equivalent to the Migratory Fish Management Committees (COGEPOMIs).</p>
	<p>Progress on action to date <i>(Provide a brief overview with a quantitative measure, or other justified evaluation, of progress. If sub-actions are completed during the reporting year, this should be made clear.</i></p>	<p>Concerning Loire, côtiers vendéens and Sèvre niortaise, watershed, an action take into account action H3 : R1Co1 - At the moment, no research action has been initiated to define the biological requirements for salmon in terms of flow. The draft guide on HEUC studies (hydrology, natural environments, uses, climate) should enable the needs of migratory fish to be taken into account in these studies.</p>

	<p><i>Other material (e.g. website links) will not be evaluated)</i></p>	<p>The new PLAGEPOMI of the Breton rivers have taken into account actions identified in the IP, its recommends:</p> <p>1) In order to assess the impact of climate change, it is recommended:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ To group thermal data from waterways: bank the data in a common and harmonized basis, analyze the data.</li> <li>→ To inform COGEPOMI of the lessons learned from HEUC studies and of any knowledge useful</li> <li>→ To encourage, monitor and evaluate actions on identified key works in some french watersheds tools (PAPARCE...)</li> <li>→ Suivre les travaux de mise à jour des bases de données françaises sur les ouvrages (PAPARCE, ROE, BDOE, ICE, etc.) et participer à l'évolution de ces bases de données en fonction des besoins.</li> <li>→ continue to characterize the obstacles to migration and assess downstream ant upstream</li> <li>→ To assess the impact of possible new hydroelectric production projects at a global scale on mortality induced by downstream migration</li> <li>→ Evaluate the effectiveness of existing and new devices for downriver which could be installed on all water intakes.</li> <li>→ To study the effectiveness of turbine shutdowns in relation to downstream movement (define a protocol, use modeling data, acquired knowledge, experiment and evaluate).</li> <li>→ On Aulne and Blavet, where recruitment is significantly lower than potential in view available production areas, to put in place specific measures to ensure the free movement of breeding stock in order to facilitate their access to breeding areas spawning grounds.</li> </ul> <p>For the Adour and Garonne watersheds, the PLAGEPOMI has been suspended in summary proceedings and there has not yet been a judgement on the merits. There is therefore no framework for planning ...</p>
	<p>Current status of action <i>(Please note: 'Completed' means that the overall action is complete for the lifetime of the third reporting cycle. If it is an ongoing action that is reported on annually, it should be marked as 'Ongoing')</i></p>	<p>Ongoing</p>
	<p>If 'Completed', has the action achieved its objective?</p>	<p></p>
<p><b>Action H4:</b></p>	<p>Description of action <i>(as submitted in the IP)</i></p> <p>Expected outcome <i>(as submitted in the IP)</i></p> <p>Approach for monitoring effectiveness &amp; enforcement <i>(as submitted in the IP)</i></p>	<p>Co-ordinate planning tools, linking actions related to salmon to the various existing planning and management documents.</p> <p>Salmon issues should be taken into account in developing these documents.</p> <p>Establishing a national <i>ad hoc</i> group and involving the Migratory Fish Management Committees (COGEPOMIs).</p> <p>Indicators to be reported on in the annual reports:</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Whether the schedule is being followed (Y / N)</li> <li>• Providing a progress report (qualitative action)</li> </ul>
	<p>Progress on action to date <i>(Provide a brief overview with a quantitative measure, or other justified evaluation, of progress. If sub-actions are completed during the reporting year, this should be made clear. Other material (e.g. website links) will not be evaluated)</i></p>	<p>NAP (<a href="https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1240">https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1240</a>) Looking back to 2023</p> <p>1 - Habitats and continuities theme HO1-1.2 - Facilitate the implementation of appropriate means (financial, technical and/or administrative) to limit the impact of key dams/structures identified throughout France. HO2-1 - Draw up a technical guide for the management/restoration of habitats for diadromous species. HO2-3 - Coordinate and support watersheds to diagnose and, if necessary, improve the functionality of the main spawning grounds (shad, lamprey, salmon, sea trout). ➔ Integration of these PNMA actions into LIFE Biodiv'France program.</p> <p>2 - Fish-farming and restocking theme (action RO1-1 - Share knowledge and feedback. RO1-2 - Draw up a national restocking guide. ➔ Drafting of public contract (see below action A1)</p> <p>3 - Monitoring, assessments and outlook SO2-1 - Centralize population monitoring data at national level ➔ Drafting of a grant between an OFB and migratory associations (supported by BGM ; see 1.2 above)</p> <p>4 - Fishing and Monitoring, assessments and outlook themes PO1-1.1 - Improve catch declarations by professional inland water and sea fishermen in order to improve knowledge of fisheries. PO1-1.2 - Set up a national catch monitoring tool for recreational sea and inland water anglers. SO2-2 - Coordinate the implementation of shared conservation objectives for all species in mainland France and overseas territories. ➔ Set up a working group on fishing (3 meetings with OFB and pilots of these actions - 29 and 30/10/23)</p> <p>5 - Land sea link theme LO1-2 - Take stock of transverse sea limits and salt water limits, particularly for fisheries management. ➔ Initial survey of problem areas within OFB regional offices (11/23)</p> <p>An oral presentation on NAP was presented on the International Conference on Integrative Salmonid Biology, March 11 to 14 2024, Seattle, Canada, which is on NAP website  </p>
	<p>Current status of action <i>(Please note: 'Completed' means that the overall action is complete for the lifetime of the third reporting cycle. If it is an</i></p>	<p>Ongoing</p>

	<i>ongoing action that is reported on annually, it should be marked as 'Ongoing')</i>	
	If 'Completed', has the action achieved its objective?	

### 3.3 Provide an update on progress on actions relating to Aquaculture, Introductions and Transgenics (section 4.11 of the Implementation Plan).

*Note: the reports under 'Progress on action to date' should provide a **brief overview** of each action. Please report in relation to the reporting year only or the most relevant recent year. For all actions, provide **clear and concise** quantitative information to demonstrate progress. In circumstances where quantitative information cannot be provided for a particular action because of its nature, a clear rationale must be given for not providing quantitative information and other information should be provided to enable progress with that action to be evaluated. While referring to additional material (e.g. via links to websites) may assist those seeking more detailed information, this will not be evaluated by the Review Group.*

<b>Action A1:</b>	Description of action (as submitted in the IP)	Assessment of stocking practices (genetic, the impact of the life stage at which stocking occurs etc.) in the various river basins in France.
	Expected outcome (as submitted in the IP)	Compilation of a national overview, with proposed management measures.
	Approach for monitoring effectiveness & enforcement (as submitted in the IP)	Indicators to be reported on in the annual reports: <ul style="list-style-type: none"> <li>• whether the schedule is being followed (Y /N)</li> <li>• provision of a progress report (qualitative action)</li> </ul>
	Progress on action to date (Provide a brief overview with a quantitative measure, or other justified evaluation, of progress. If sub-actions are completed during the reporting year, this should be made clear. Other material (e.g. website links) will not be evaluated)	After negotiations with the ministry in charge of aquaculture, a set of specifications was approved and a €105,000 contract was launched at the beginning of March. The contract will be put in place at the end of May once the proposals received have been studied. As the study is estimated to take 12 months, we will be able to report on it in the next report.
	Current status of action (Please note: 'Completed' means that the overall action is complete for the lifetime of the third reporting cycle. If it is an ongoing action that is reported on annually, it should be marked as 'Ongoing')	Ongoing
	If 'Completed', has the action achieved its objective?	
	<b>Action A2:</b>	Description of action (as submitted in the IP)
	Expected outcome (as submitted in the IP)	Close monitoring for the presence / absence of sea lice in commercial salmon farms in France.

	Approach for monitoring effectiveness & enforcement (as submitted in the IP)	Indicators to be reported on in the annual reports: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presence / absence of sea lice (Y / N). If sea lice levels on farmed salmon are increasing, the relevant farm will be asked to revise their health management plan</li> </ul>
	Progress on action to date (Provide a brief overview with a quantitative measure, or other justified evaluation, of progress. If sub-actions are completed during the reporting year, this should be made clear. Other material (e.g. website links) will not be evaluated)	The two commercial farms have strict and frequent health monitoring of the fish by specialized vets (every month) No infestation of sea lice has been reported to the local and national states services in charge of fish health in the two commercial salmon farms during 2023
	Current status of action (Please note: 'Completed' means that the overall action is complete for the lifetime of the third reporting cycle. If it is an ongoing action that is reported on annually, it should be marked as 'Ongoing')	Ongoing
	If 'Completed', has the action achieved its objective?	
<b>Action A3:</b>	Description of action (as submitted in the IP)	Monitoring escapes from commercial marine salmon farms.
	Expected outcome (as submitted in the IP)	Monitoring the number of escapes each year.
	Approach for monitoring effectiveness & enforcement (as submitted in the IP)	Indicators to be reported on in the annual reports: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Number of escape incidents from commercial marine salmon farms</li> </ul>
	Progress on action to date (Provide a brief overview with a quantitative measure, or other justified evaluation, of progress. If sub-actions are completed during the reporting year, this should be made clear. Other material (e.g. website links) will not be evaluated)	No escapes in the two commercial salmon farms had been reported in 2023
	Current status of action (Please note: 'Completed' means that the overall action is complete for the lifetime of the third reporting cycle. If it is an ongoing action that is reported on annually, it	Ongoing



	<i>should be marked as 'Ongoing')</i>	
	If 'Completed', has the action achieved its objective?	
<b>4: Additional information required under the Convention</b>		
4.1 Details of any laws, regulations and programmes that have been adopted or repealed since the last notification.		
<p>National Biodiversity Strategy 2030  Presented on 27 November 2023, the National Biodiversity Strategy 2030 aims to halt and then reverse the collapse of biodiversity. It outlines France's path towards achieving the 2050 vision of the Global Biodiversity Framework adopted at COP15 in Montreal at the end of 2022. It is broken down into 4 areas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- reduce the pressures on biodiversity,</li> <li>- restoring degraded biodiversity wherever possible,</li> <li>- mobilise all stakeholders,</li> <li>- guarantee the means to achieve these ambitions.</li> </ul> <p>The deployment of the SNB implies a measurable impact in the territories. This is made possible in particular by the State's funding of €1 billion.</p>		
4.2 Details of any new commitments concerning the adoption or maintenance in force for specified periods of time of conservation, restoration, and other management measures.		
NA		
4.3 Details of any new actions to prohibit fishing for salmon beyond 12 nautical miles.		
NA		
4.4 Details of any new actions to invite the attention of States not party to the Convention to matters relating to the activities of its vessels which could adversely affect salmon stocks subject to the Convention.		
NA		
4.5 Details of any actions taken to implement regulatory measures under Article 13 of the Convention including imposition of adequate penalties for violations.		
NA		
<b>North American Commission Members only:</b>		
4.6 Details of any new measures to minimise bycatches of salmon originating in the rivers of the other member.		
NA		
4.7 Details of any alteration to fishing patterns that result in the initiation of fishing or increase in catches of salmon originating in the rivers of another Party except with the consent of the latter.		
NA		





## OSABAIE

### Origine natale de saumons atlantiques (*Salmo salar*) adultes capturés en Baie du Mont-Saint-Michel

#### RAPPORT FINAL 2023

Réveillac Elodie<sup>1,2</sup>, Vignon Matthias<sup>3</sup>, Bareille Gilles<sup>4</sup>, Tabouret Hélène<sup>4</sup>, Rault Pablo<sup>5</sup>, Thomas Olivier<sup>6</sup>, Flochlay Alicia<sup>1</sup>, Le Berre Thomas<sup>1</sup>, Marchand Frédéric<sup>5</sup>

**Financement** : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie d'Île de France (DRIEAT IdF), Laura Venencie.

**Porteur** : Institut Agro Rennes-Angers, 65 rue de St Briec, CS84215 35042 Rennes cedex – UMR DECOD - convention n°1927

**Contact** : Elodie Réveillac, nouvelles coordonnées <sup>2</sup>UMR 7266 LIENSs La Rochelle Université-CNRS, ILE 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France – [elodie.reveillac@univ-lr.fr](mailto:elodie.reveillac@univ-lr.fr)

**Collaborations** :

<sup>3</sup>Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, INRAE, ECOBIOP, 64310 Saint-Pée-sur-Nivelle, France

<sup>4</sup>Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, CNRS, IPREM, 64445 Pau, France

<sup>5</sup>INRAE, UE U3E, 35000 Rennes, France

<sup>6</sup>Inter-SAGE Baie du Mont-Saint-Michel, 50240 Saint-James, France

**Pour citation** : Réveillac E, Vignon M, Bareille G, Tabouret H, Rault P, Thomas O, Flochlay A, Le Berre T, Marchand, F, 2023. Origines natales de saumons atlantique adultes capturés en Baie du Mont-Saint-Michel – OSABAIE, rapport final. DRIEAT Ile de France.

## Table des matières

---

<b>Table des matières .....</b>	<b>2</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>3</b>
Cadre du projet.....	3
Enjeux opérationnels.....	3
Contexte scientifique.....	3
<b>Matériels et méthodes .....</b>	<b>5</b>
Stratégie d'échantillonnage .....	5
Méthodologie analytique .....	5
Traitement des données de composition chimique.....	7
<b>Résultats .....</b>	<b>9</b>
Réalisation d'un référentiel géolocalisé des rivières d'origine potentielle des adultes de saumon atlantique de la Baie du Mont-Saint-Michel.....	9
Assignment des individus adultes à un bassin versant d'origine.....	13
<b>Discussion .....</b>	<b>15</b>
Apports et limites méthodologiques .....	16
Contributions des différents bassins versants de la Baie au pool de géniteurs échantillonné .....	16
Saumons adultes capturés dans la partie maritime de la Baie du Mont-Saint-Michel.....	17
Saumons non réassignés par les modèles à un bassin versant de naissance .....	17
<b>Principaux résultats de l'étude .....</b>	<b>18</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>20</b>

### **Cadre du projet**

L'arrêté inter-préfectoral de la préfète de la région Normandie et du préfet maritime de la Manche et de la mer du Nord du 8 avril 2016 a approuvé la mise en place d'un Plan d'actions pour le milieu marin. Dans sa mesure M309-MMN2, ce programme vise notamment l'instauration d'une gestion globale terre-mer de la pêche des espèces de poissons migrateurs amphihalins. Plus particulièrement, le Plan de Gestion des Poissons Migrateurs 2016-2021 vise à renforcer la connaissance sur les poissons migrateurs et à mettre en œuvre une gestion cohérente du saumon atlantique en baie du Mont-Saint-Michel. En cohérence, l'arrêté n°77/2017 du 19 septembre 2017 règlemente l'exercice de la pêche maritime de loisir à pied en baie du Mont-Saint-Michel et autorise la pêche des salmonidés au moyen d'un engin unique, la raquette. Cet engin est soumis à autorisation individuelle, et le nombre total d'engins déployé est fixé à 30 par an. Le nombre de prises maximal de salmonidés est fixé à 150 assorti d'une obligation de bagage et de déclaration des captures.

### **Enjeux opérationnels**

Plusieurs cours d'eau hébergent et soutiennent les populations de saumon atlantique *Salmo salar* (ci-après désignés SAT) dans la Baie du Mont-Saint-Michel, notamment la Sienne, le Couesnon, la Sée et la Sélune (Perrier 2010, PLAGEPOMI Seine-Normandie 2016). Ainsi, une bonne identification de la contribution des différents cours d'eau de la Baie au stock de géniteurs de retour de migration marine, et donc, aux captures potentielles dans la Baie et ses cours d'eau est un prérequis nécessaire pour l'établissement de mesures de gestion cohérentes, e.g., la définition du périmètre d'attribution des bagues.

### **Contexte scientifique**

Le saumon atlantique *Salmo salar*, est un poisson migrateur amphihalin naturellement présent dans certains cours d'eau français. Il naît en rivière, y reste 1 à 2 ans, puis entreprend une migration océanique pour se nourrir et grandir dans les eaux marines productives de l'Atlantique Nord (e.g. Îles Féroé, Groënland). Après 1 à 2 hivers en mer, il regagne les eaux continentales pour s'y reproduire (Baglinière *et al.* 2008). En Baie du Mont-Saint-Michel, le saumon Atlantique est une espèce phare indicatrice de la continuité écologique terre-mer, tant dans cette dimension migratrice amphihaline que dans sa particularité de fidélité de reproduction au site de naissance (phylopatricie, aussi appelée homing, Hansen *et al.* 1993). Cependant, même si la fidélité des adultes reproducteurs au site de leur naissance est forte, la dispersion d'individus venant se reproduire dans un autre cours d'eau que celui de leur naissance n'est pas rare (Jonsson *et al.* 2003, Rivot 2003). Ces échanges semblent particulièrement propices dans un contexte de cours d'eau partageant une même baie intertidale comme celle du Mont-Saint-Michel (Perrier *et al.* 2010). Des estimations ont en effet indiqué que plus de 30% des adultes pourraient revenir dans un affluent différent de celui de naissance après leur séjour en mer (Rivot 2003, Perrier *et al.* 2011, Baglinière *et al.* 2012) et que les échanges pourraient être déséquilibrés entre ces bassins (Rivot *et al.* 2004). Ainsi, identifier le bassin versant de provenance (naissance) des individus revenant dans la Baie au stade adulte se pose comme une donnée essentielle dans la perspective :

- i) d'évaluer l'effectivité de la contribution de chaque bassin versant au pool d'adultes reproducteurs de retour dans la Baie ;

ii) d'estimer si l'exploitation par la pêche d'interception dans la Baie peut impacter toute ou partie des différentes populations associées à chaque cours d'eau.

Le projet OSABAIE a participé à l'effort collectif de recherche qui adresse les questions de la connectivité et de la contribution des différents bassins versants de la Baie à la population de SAT qui y est identifiée (Perrier *et al.* 2011). L'objectif de cette étude ponctuelle était d'évaluer la validité des outils méthodologiques employés (sclérochimie) et de donner des bases de réponse aux interrogations sur les flux d'individus en obtenant des probabilités d'assignation d'origine (rivière de naissance) des individus adultes capturés en Baie du Mont-Saint-Michel. La finalité était d'évaluer l'effectivité de la contribution des 4 principaux bassins versants (Sée, Sélune, Couesnon, Sienne) au stock d'adultes reproducteurs de la Baie du Mont-Saint-Michel (Figure 1). L'action, restreinte dans le temps, visait à fournir une photographie ponctuelle de cette contribution.

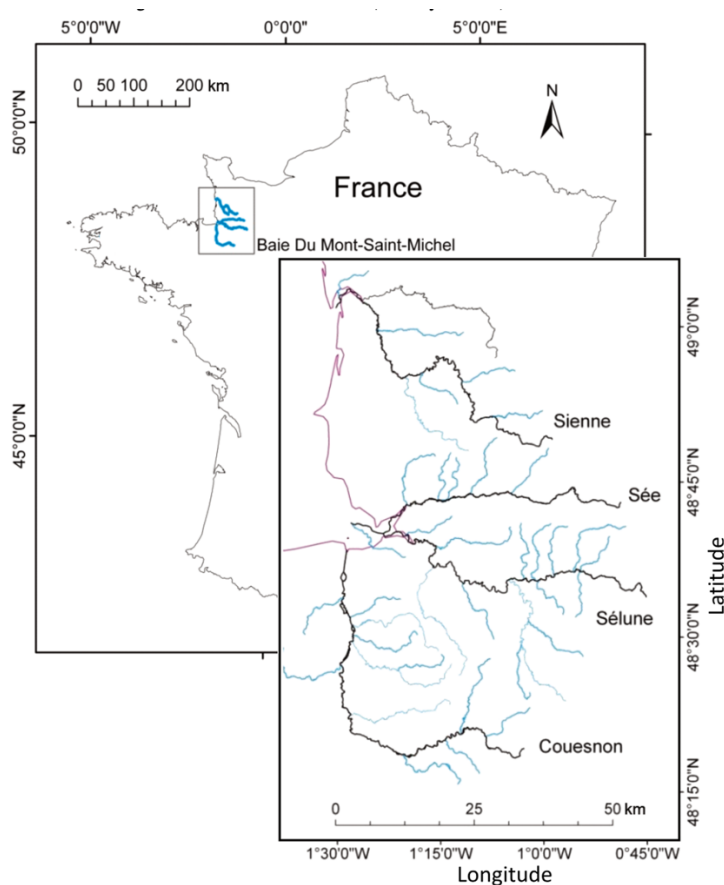


Figure 1: Localisation des bassins versants du Couesnon, de la Sélune, de la Sée et de la Sienne se déversant dans la Baie du Mont-Saint-Michel (Normandie, France) (d'après Perrier *et al.* 2011).

### Stratégie d'échantillonnage

Les quatre bassins versants de la Sée, Sienne, Sélune et Couesnon ont été ciblés dans cette étude. Les individus juvéniles de saumon Atlantique *Salmo salar* (SAT) ont été échantillonnés sur 16 affluents (Figure 2) par l'U3E INRAe et l'UMR DECOD INRAe-Institut Agro de Rennes lors de suivis scientifiques. Les adultes (ou têtes) de SAT ont été collectés par l'U3E INRAe et l'UMR DECOD INRAe-Institut Agro de Rennes lors de suivis scientifiques ou en partenariat avec l'inter-SAGE de la Baie du Mont-Saint-Michel, les Fédérations et Associations de Pêche (FDPPMA et AAPPMA).



**Figure 2.** Répartition géographique des captures de juvéniles de saumon atlantique *Salmo salar* utilisés pour la construction du géoréférentiel microchimique sur les 4 bassins versants de la Baie du Mont-Saint-Michel : Sienne, Sée, Sélune et Couesnon. Le nombre d'individus capturés par station est indiqué en exposant. (Fond de carte InterSAGE de la Baie).

### Méthodologie analytique

La sclérochimie repose sur l'analyse de la composition microchimique des otolithes (Campana 1999). Ces concrétions biominéralisées sont situées dans l'oreille interne des poissons. Elles sont constituées tout au long de la vie du poisson par le dépôt continu de couches de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) qui forment des stries journalières, saisonnières ou annuelles. Pour partie, la composition chimique de ces stries reflète celle de l'environnement aquatique occupé par le poisson au cours de sa vie (Campana 1999, Campana & Thorrold 2001). C'est particulièrement le cas des ratios de Strontium/Calcium ( $\text{Sr}/\text{Ca}$ ), Baryum/Calcium ( $\text{Ba}/\text{Ca}$ ) et des isotopes stables du Strontium  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  qui varient en fonction du substrat géologique drainé par les rivières (Barnett-Johnson *et al.* 2008, Martin *et al.* 2013, Marklevitch *et al.* 2016) (Figure 3) et également de la salinité des masses d'eau (Campana & Thorrold 2001). Ainsi, des juvéniles de SAT nés dans

des rivières aux signatures géochimiques différentes, présenteront des signatures sclérochimiques tout aussi discriminantes. L'otolithe étant conservatif, il est ensuite possible, sur un otolithe d'adulte de SAT, de caractériser sa signature juvénile. En confrontant cette signature à un référentiel chimique des bassins versants constitué à partir des signatures sclérochimiques des juvéniles de SAT prélevés sur ces sites, les probabilités de provenance (rivière de naissance) de chaque SAT adulte collecté en Baie ou dans les bassins versants peuvent être estimées.

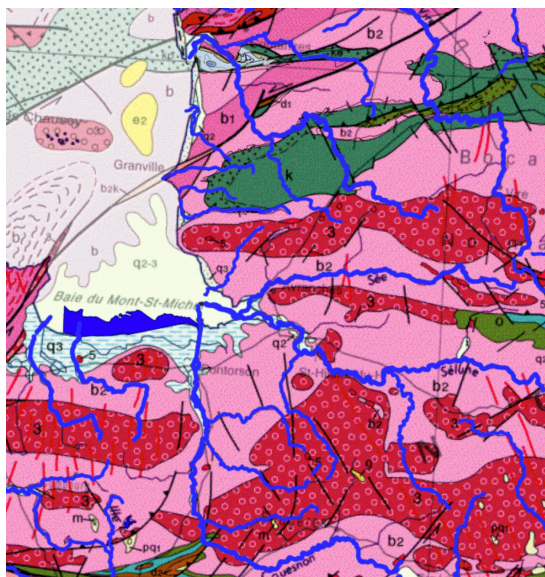


Figure 3 : Carte géologique des bassins versants Siene, Sée, Sélune et Couesnon, 1 :500 000. Sources BRGM, BD Carthage, IGN, visualisation infoterre.brgm.fr.

Le principe analytique utilisé ici repose sur le dosage par spectrométrie de masse couplée à une ablation laser (LA-ICP-MS et LA-MC-ICP-MS) des éléments Sr, Ba et Ca et des isotopes stables  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (Barnett-Johnson *et al.* 2005) puisés dans le milieu de vie et incorporés dans l'otolithe au cours de la vie du poisson. Pour ce faire, les otolithes ont été extraits de chaque individu puis ont été inclus dans une résine epoxy (Araldite 2020, Escil, France) (Figure 4, Tabouret 2009). Une coupe selon le plan sagittal passant par le primordium (centre de croissance) puis un polissage de l'otolithe inclus ont permis d'exposer en surface de préparation les stries de croissance formées pendant les phases juvénile à adulte.

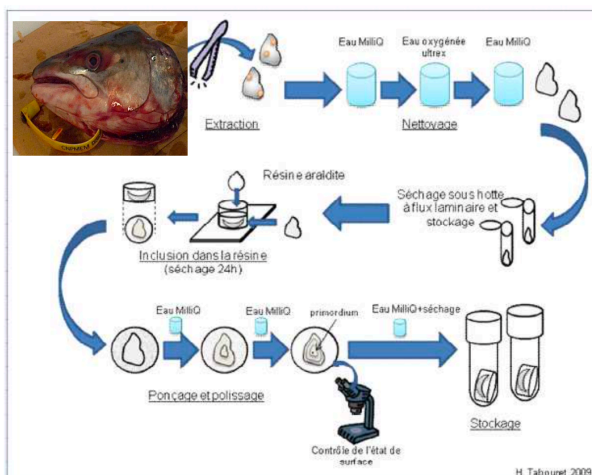
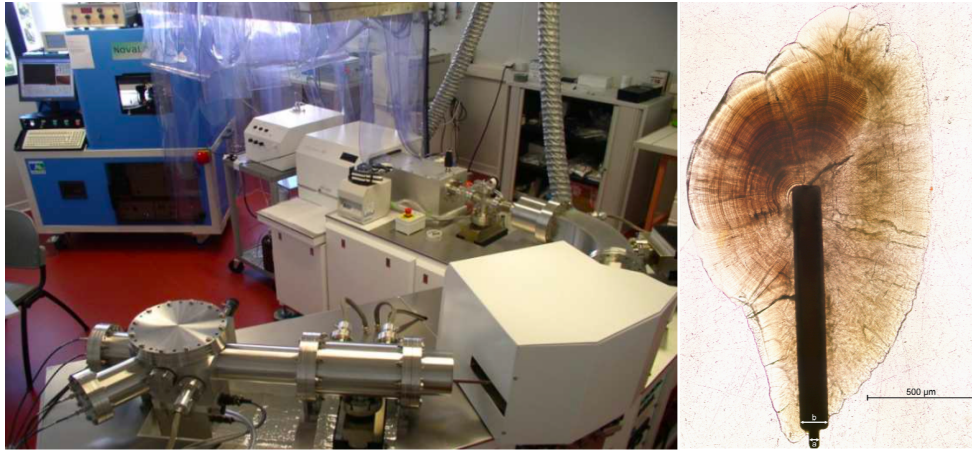


Figure 4 : Cycle de préparation des otolithes pour l'analyse de leur composition chimique (Tabouret 2009)



Les préparations ont ensuite été soumises à ablation laser (Alfamet – Novalase, France) couplée à un ICP-MS (Elan DRC 2 – Perkin Elmer, USA) ou un MC-ICP-MS (Nu Instruments, UK) de la Plateforme d'Analyse des Métaux Traces par Ablation Laser (PAMAL) de l'Institut des Sciences Analytiques et de Physico-Chimie pour l'Environnement et les Matériaux (IPREM) à Pau (Figure 5a,b). L'étalonnage des machines a été réalisé à l'aide de standards certifiés (NIST 610, 612, 614 – National Institute of Science and Technology), la justesse et la précision des analyses grâce au passage de standards d'otolithes certifiés (NIES 22, National Institute for Environmental Studies ; FEBS 1, National Research Council Canada).



Figures 5a,b : Laser couplé à l'analyseur MC-ICP-MS. Photographie au microscope d'une coupe sagittale d'otolithe de saumon atlantique *Salmo salar* et du transect d'ablation réalisé au laser femto-seconde (Alfamet - Novalase, France) pour l'analyse de la composition chimique (Martin 2013).

Le transect d'ablation permet de reconstituer la chronologie des changements de masse d'eau de chaque individu et d'identifier la phase de croissance juvénile en rivière (Martin *et al.* 2013). Chez les SAT juvéniles collectés, l'intégralité du transect à partir de la résorption totale du sac vitellin est prise en compte pour l'établissement du référentiel. Chez les SAT adultes, c'est seulement la portion constituée pendant la phase juvénile qui est confrontée au référentiel, soit entre la résorption du sac vitellin et le passage en mer.

### **Traitement des données de composition chimique**

Le traitement statistique des données a été réalisé à l'aide d'une analyse discriminante par *Random Forest* via le logiciel R (R Core Team 2022). Il s'agit d'une technique dérivée de la famille des arbres de classification et de régression, méthodes utilisées pour modéliser et prédire les relations entre un ensemble de variables prédictives (ici les données élémentaires Sr/Ca, Ba/Ca et Sr/Ba et isotopiques  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) et une seule variable réponse (Rivière ou bassin d'origine, Breiman 2001). Cette approche non paramétrique ne nécessite pas de faire d'hypothèse *a priori* concernant la relation prédicteur-réponse, offrant ainsi la possibilité de modéliser des relations complexes et non linéaires impliquant des interactions profondes issues de données bruitées (Cutler *et al.* 2007). L'utilisation de cette méthode pour des données microchimiques est venue confirmer ses performances (Mercier *et al.* 2011). Le principe général consiste d'abord à établir un modèle discriminant basé sur les données des saumons juvéniles dont l'origine est connue. Puis ce modèle est utilisé pour déterminer l'origine natale des saumons adultes capturées dans le secteur d'étude.

Ces analyses statistiques ont été réalisées en deux temps.

Un premier temps a été dédié à la constitution du référentiel d'attribution des SAT aux grands ensembles hydrologiques, bassins versants ou affluents, en testant le couple finesse / robustesse de la résolution

(échelle de regroupement des sites). Autrement dit, la probabilité de réassignation de chaque individu juvénile, d'origine connue, a été confrontée à des référentiels discriminant soit 1. les ensembles hydrographiques (Sélune + Couesnon / Sée/ Sienne), soit 2. les bassins versants (Sélune / Couesnon / Sée / Sienne), soit 3. les affluents. Le taux de reclassement correct des 108 juvéniles collectés a été estimé pour chaque résolution testée.

Le second temps a été dévolu à l'assignation des saumons adultes aux référentiels sus-cités et à l'analyse de la probabilité de cette assignation en fonction du couple finesse / robustesse de la résolution. Autrement dit, il a été testé avec quelle probabilité l'assignation d'un SAT adulte était correcte selon qu'elle était confrontée au référentiel détaillé par 1. grand ensemble hydrologique (plus robuste car moins résolutif) ; 2. bassin versant ; 3. affluent (moins robuste car plus résolutif).

A l'issue de ces analyses d'assignation, pour chaque échelle d'observation retenue (ensemble et/ou bassin et/ou affluent), trois indices ont été calculés par site de naissance (à partir des individus réassignés avec une probabilité d'au moins 70%) et par site de capture (à partir des SAT capturés dans une rivière de retour<sup>1</sup>) :

• **La probabilité de fidélité (PF) (homing) :**

correspond à la proportion d'individus nés (\*ou assignés comme tel) dans le bassin versant X qui sont recapturés au stade adulte dans le bassin X, relativement au total des individus nés\* dans le bassin X.

$$PF_{\text{bassin } X} = \frac{\text{nombre de SAT nés* dans le bassin } X \text{ qui sont recapturés dans le bassin } X}{\text{nombre total d'individu nés* dans le bassin } X} \times 100$$

• **La probabilité d'émigration (PE) :**

correspond à la proportion d'individus nés (\*ou assignés comme tel) dans le bassin X et qui sont retournés au stade adulte dans d'autres bassins, relativement au total des individus nés\* dans le bassin X.

$$PE_{\text{bassin } X} = \frac{\text{nombre de SAT nés* dans le bassin } X \text{ qui sont recapturés dans un autre bassin}}{\text{nombre total d'individu nés* dans le bassin } X} \times 100$$

• **La probabilité d'immigration (PI) :**

correspond à la proportion d'individus capturés dans le bassin X mais qui sont nés (\*ou assignés comme tel) dans d'autres bassins, relativement au total des individus capturés dans le bassin X.

$$PI_{\text{bassin } X} = \frac{\text{nombre de SAT capturés dans le bassin } X \text{ qui sont nés* dans d'autres bassins}}{\text{nombre total d'individu capturés dans le bassin } X} \times 100$$

---

<sup>1</sup> En l'absence de certitude sur leur bassin de retour, les SAT adultes capturés dans la partie maritime de la Baie du Mont-Saint-Michel n'ont pas été pris en compte dans ces calculs.

## Résultats

---

A l'image de l'échantillonnage des SAT juvéniles puis adultes et du traitement des données, les résultats sont exposés ci-dessous en deux volets.

### **Réalisation d'un référentiel géolocalisé des rivières d'origine potentielle des adultes de saumon atlantique de la Baie du Mont-Saint-Michel.**

Pour rappel, un pré-requis à l'étude était de sélectionner un ou plusieurs référentiel(s) géographique(s) des signatures sclérochimiques des SAT juvéniles à partir du(des)quel(s) les signatures natales des adultes permettrait de les attribuer à leur site de naissance.

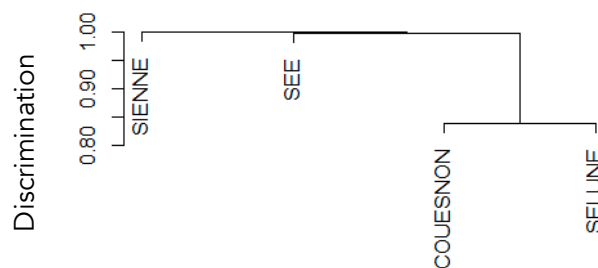
Pour cette première phase, les otolithes de 108 juvéniles de SAT échantillonnés sur 19 stations réparties sur 16 affluents des bassins versants de la Sée, de la Sélune, du Couesnon et de la Sienne ont été collectés puis analysés (Tableau 1).

**Tableau 1.** Nombre et répartition par Bassin versant et affluent des juvéniles de saumon atlantique *Salmo salar* dont les compositions élémentaires Ba et Sr et isotopiques  $^{87}\text{Sr}:$  $^{86}\text{Sr}$  des otolithes ont été analysées pour la construction des référentiels géographiques de signatures microchimiques.

<b>BASSIN/Affluent</b>	<b>Nombre d'individus</b>
<b>COUESNON</b>	<b>27</b>
Couesnon principal	10
Loisance	6
Minette	4
Tronçon	7
<b>SEE</b>	<b>26</b>
Dolène	5
Glanon	7
Saint-Laurent	5
Sée amont	4
Sée aval	5
<b>SELUNE</b>	<b>27</b>
Beuvron	7
Oir	5
Pont Lévêque	5
Roche	5
Selune aval	5
<b>SIENNE</b>	<b>28</b>
Airiou amont	5
Airiou aval	5
Gièze	7
Sienne amont	7
Sienne aval	4
<b>TOTAL</b>	<b>108</b>

Les signatures chimiques obtenues pour ces 108 SAT juvéniles ont permis de constituer plusieurs référentiels géographiques. Leur qualité discriminante a varié en fonction de l'échelle d'observation. Ainsi, sur la base de l'identité chimique de leurs SAT juvéniles, les bassins versants de la Sienne et de la Sée ont obtenu des taux de reclassification élevés, avec des taux d'erreur de 3% et 2% respectivement (Figure 6). Par exemple, cela signifie que la probabilité de réassigner à la Sienne un SAT adulte qui en est effectivement originaire est de 97%, alors que pour la Sée cette probabilité est de 98%.

La robustesse a été plus limitée dans le cas du Couesnon et de la Sélune, bassins pour lesquels la probabilité de correctement réassigner un SAT adulte est respectivement de 85% et 71%. Si les signatures de ces deux bassins se détachent de celles des bassins de la Sée et de la Sienne, elles se distinguent moins entre elles (Figures 6, 7, 8, 9). Les difficultés de discrimination du Couesnon et de la Sélune semblent principalement associées à la similarité des signatures des SAT juvéniles collectés sur la Loisançe et sur la Minette (BV Couesnon) et sur le Beuvron (BV Sélune) (Figures 7, 9).

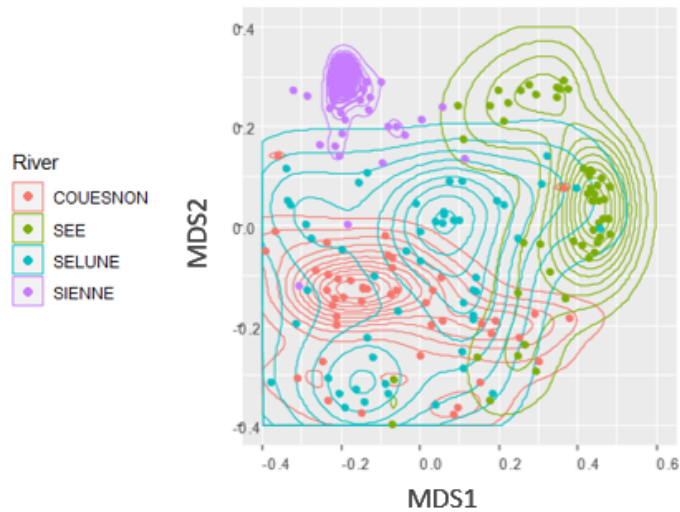


**Figure 6.** Dendrogramme de discrimination des 4 bassins versants Sienne, Sée, Couesnon et Sélune sur la base des signatures chimiques des otolithes de SAT juvéniles prélevés sur ces bassins. Plus le nœud reliant 2 bassins est haut (proche 1.00), plus la discrimination est correcte.

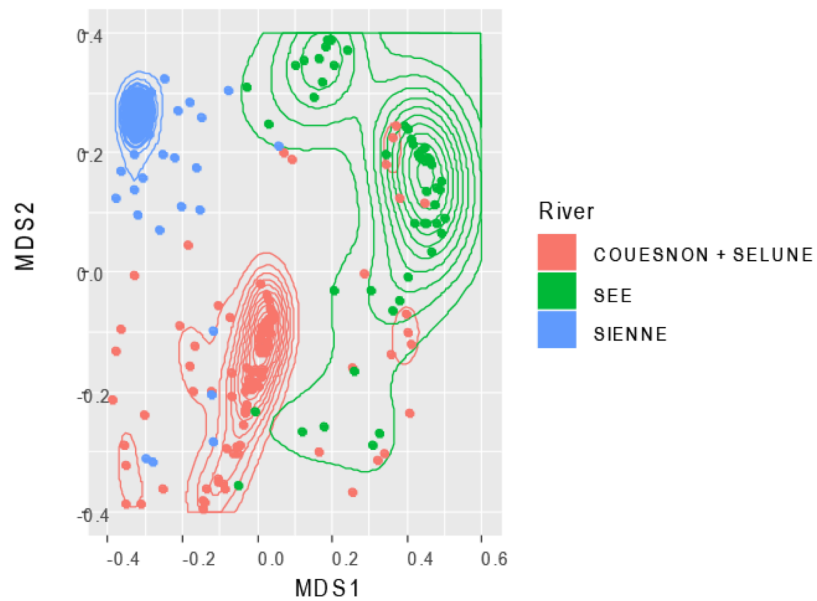
Ces similarités de signature ont induit la diminution de la qualité du reclassement à l'échelle des bassins versants. L'erreur de reclassification est en effet de 11,8% sans regroupement de bassins (donc en considérant les 4 bassins indépendamment) alors que ce taux moyen de reclassement incorrect descend à 7,5% en considérant 1 groupe de 2 bassins : Sélune + Couesnon et le bassin de la Sienne et le bassin de Sée séparément (Figure 8). Sur la base de ces 3 entités d'origines, les probabilités de correctement réassigner un SAT adulte au groupe Sélune + Couesnon, au bassin de la Sée et au bassin de la Sienne sont alors respectivement de 94%, 91% et 91%.

Les regroupements d'affluents, indépendamment de leur bassin versant d'appartenance, permettent aussi d'améliorer les taux de reclassification, mais la logique et la pertinence de ces regroupements ont été jugées discutables au regard des objectifs de l'étude.

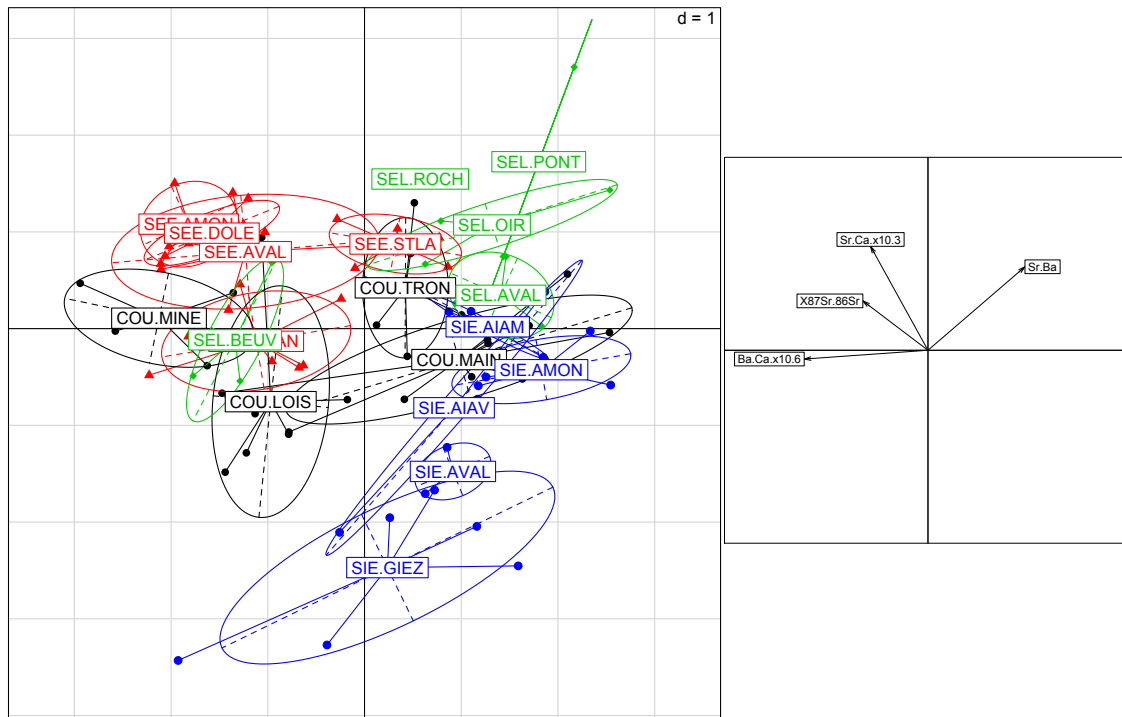
Enfin, en testant un référentiel basé sur les 19 sites de capture (Figure 9), donc avec la résolution la plus fine, l'erreur moyenne de reclassification s'élève à 34%.



**Figure 7.** Ordination spatialisée sur 2 axes d'une NMDS (non-metric multidimensional scaling, stress=0,14) réalisée en utilisant la matrice de proximité du approche *Random Forest* sur les signatures microchimiques individuelles juvéniles (points) élémentaires Sr, Ba et rapport Sr:Ba et isotopiques  $^{87}\text{Sr} : ^{86}\text{Sr}$  (N=85) identifiées pour les **4 grands bassins versants** : **Couesnon** (rouge), **Sée** (vert), **Sélune** (bleu), **Sienne** (violet). Plus les points appartenant à un même bassin versant sont groupés et isolés des autres bassins, plus le pouvoir discriminant est important.

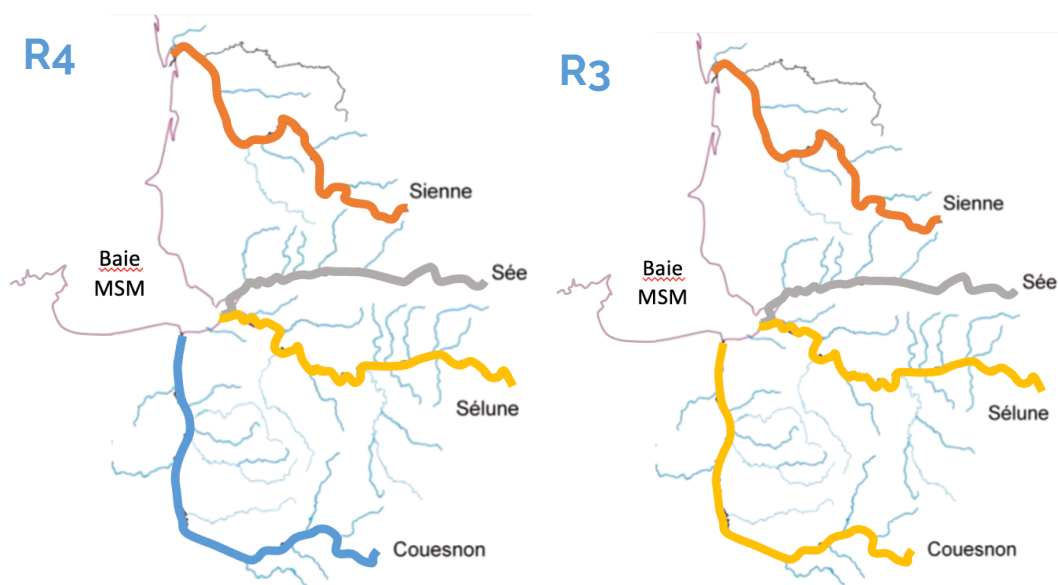


**Figure 8.** Ordination spatialisée sur 2 axes d'une NMDS (non-metric multidimensional scaling, stress=0,17) réalisée en utilisant la matrice de proximité du *Random Forest* sur les signatures microchimiques individuelles juvéniles (points) élémentaires Sr, Ba et rapport Sr:Ba et isotopiques  $^{87}\text{Sr} : ^{86}\text{Sr}$  (N=85) identifiées pour **2 bassins versants** (**Sienne** en bleu, **Sée** en vert) et **1 groupement de 2 bassins** (**Sélune + Couesnon**, en rouge).



**Figure 9.** Analyse en composantes principales (variabilité expliquée de 48,64% par l'axe 1, 30,67% par l'axe 2, soit au total 79,30%) réalisée sur les signatures microchimiques individuelles (points, N=85) élémentaires Sr, Ba et rapport Sr:Ba et isotopiques  $^{87}\text{Sr} : ^{86}\text{Sr}$  identifiées pour les 4 grands bassins versants (bleu = SIENNE, noir = COUESNON, rouge = SEE, vert = SELUNE) avec identification des affluents (ellipses, cf. Tableau 1).

Ainsi, seuls 2 référentiels (Figure 10) ont été retenus pour l'analyse d'assignation des SAT adultes à un bassin d'origine (de naissance). Le premier référentiel, ci-après dénommé R4, est basé sur la distinction des 4 bassins versants (avec en moyenne 11,8% de probabilité d'assigner un adulte à un mauvais bassin versant de naissance). Le second (R3) est basé sur la distinction du groupement Sélune + Couesnon, du bassin de la Sée et du bassin de la Sièze (avec en moyenne 7,5% de probabilité d'erreur).



**Figure 10.** Périmètre d'inclusion (par association de couleurs) des bassins versants selon référentiel R4 (à gauche) et du référentiel R3 (à droite). (MSM : Mont-Saint-Michel)

### Assignation des individus adultes à un bassin versant d'origine

Les otolithes de 47 individus adultes de SAT ont été collectés entre 2016 et 2019 sur en Baie du Mont-Saint-Michel et en aval des bassins de la Sienne, Sée, Sélune et Couesnon (Tableau 2).

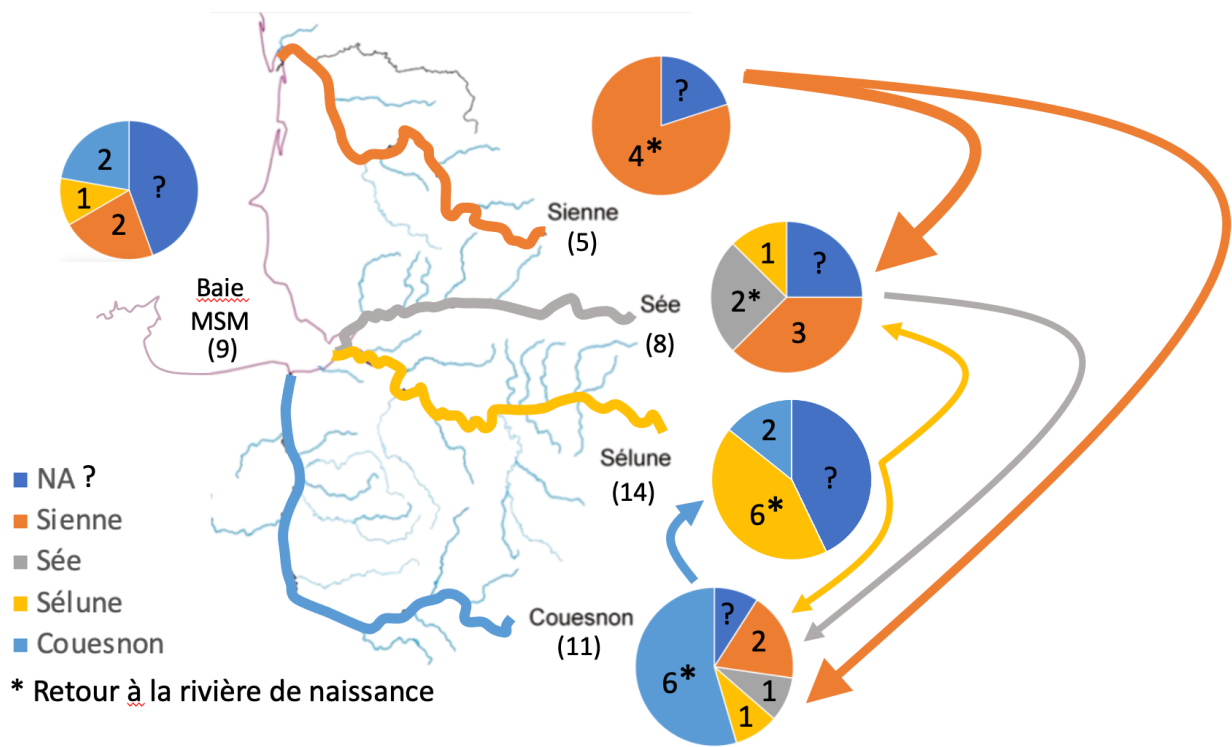
**Tableau 2.** Nombre d'individus adultes de saumon atlantique *Salmo salar* échantillonnés par site de capture pour réassignation à un site de naissance.

Site de capture	Nombre d'individus
Baie Mont-Saint-Michel	9
Sienne	5
Sée	8
Sélune	14
Couesnon	11
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>

Au seuil de 70% de probabilité (*i.e.*, un SAT est assigné à une origine si la probabilité d'appartenir à une des 4 origines dans le cas du référentiel R4 ou à une des 3 origines dans le cas du référentiel R3 est  $\geq 70\%$ ), 33 SAT adultes ont été réassignés à un bassin de naissance sur la base du référentiel R4 (4 bassins versants, Tableau 3, Figure 11). 37 SAT adultes l'ont été avec le référentiel R3 (3 groupes, Tableau 4, Figure 12). Parmi les 14 et 10 SAT non réassignés (ceux avec une probabilité  $< 70\%$ ) selon ces deux référentiels respectivement, 9 mêmes individus n'ont pas été réassignés aux bassins sources inclus dans cette étude. Parmi ces 9 individus, 2 ont été capturés à la pêche à la raquette dans la Baie du Mont-Saint-Michel, 2 ont été récupérés sur la Sée, 1 sur la Sienne et 4 sur la Sélune.

**Tableau 3.** Nombre d'individus de saumon atlantique *Salmo salar* assignés par bassin versant d'origine (de naissance) en fonction de leur site de capture au stade adulte (N = 47) d'après référentiel R4 à **4 bassins versants**. PF : probabilité de fidélité (%); PE : probabilité d'émigration (%); PI : probabilité d'immigration (%). NA : individus non assignés à un bassin de naissance au seuil de 70% de probabilité, ne comptent pas dans les calculs du PI; BMSM : individus pris en Baie du Mont-Saint-Michel, ne comptent pas dans les calculs de PF et PE des bassins.

		Site de capture						PF	PE
		BMSM	Sienne	Sée	Sélune	Couesnon	Total		
Bassin versant d'origine (naissance)	NA	4	1	2	6	1	14	-	-
	Sienne	2	<b>4</b>	3	0	2	11	44%	56%
	Sée	0	0	<b>2</b>	0	1	3	67%	33%
	Sélune	1	0	1	<b>6</b>	1	9	75%	25%
	Couesnon	2	0	0	2	<b>6</b>	10	75%	25%
	Total	9	5	8	14	11	<b>47</b>		
	PI	-	0%	67%	25%	40%			



**Figure 11.** Nombre d'individus SAT adultes assignés à un bassin versant de naissance en fonction de leur site de capture - référentiel R4 à 4 bassins versants.

Sur les 47 SAT adultes collectés dans cette étude, les modèles R4 et R3 estiment respectivement que 11 (23%) et 13 (27%) sont nés dans la Sienne, 3 (6%) sont nés dans la Sée, 9 (19%) sont nés dans la Sélune, 10 (21%) sont nés dans le Couesnon ou 21 (45%) sont nés sur le groupement Sélune + Couesnon.

Peu importe le référentiel utilisé, le bassin qui présente la plus forte probabilité d'émigration de ses SAT vers d'autres rivières que celle de naissance est la Sienne (56% selon R4 ; 64% selon R3). Ce bassin présente également les plus faibles probabilités d'immigration (0%) et de fidélité (44% selon R4 ; 36% selon R3). Le bassin de la Sée, représenté seulement par 3 SAT natifs, se place à l'opposé avec une faible probabilité d'émigration (33%) de ses SAT vers d'autres rivières, une forte probabilité de fidélité (67%) et la plus forte probabilité d'immigration (67%). Selon le R4, la Sélune se pose davantage comme une rivière conservatrice avec des faibles probabilités d'émigration et d'immigration (25% chacun) et une probabilité de fidélité de 75%. Le Couesnon présente les mêmes caractéristiques de fidélité et d'émigration que la Sélune mais a reçu 40% de SAT nés dans d'autres bassins.

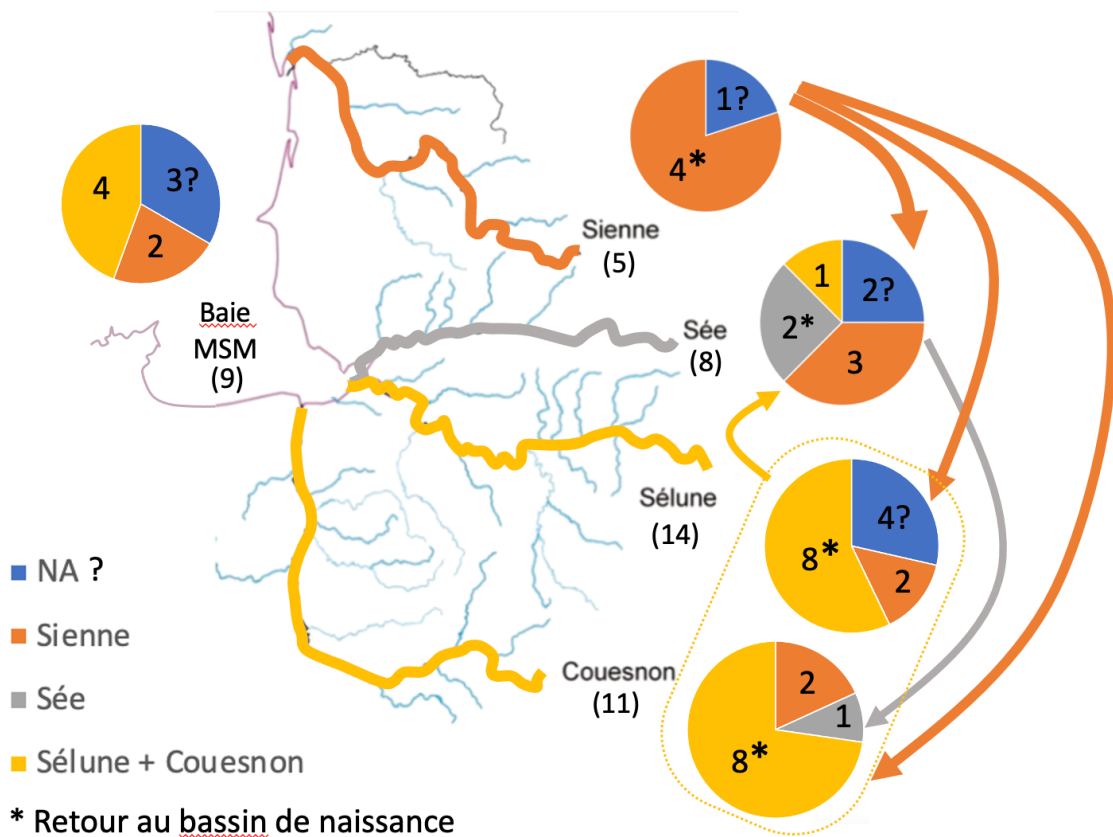
En considérant le R3, le groupement Sélune + Couesnon se caractérise comme un ensemble majoritairement conservatif avec une probabilité de fidélité de 94%. Néanmoins, avec une probabilité d'immigration de 24%, cet ensemble n'apparaît pas totalement déconnecté des autres entités hydrographiques.

**Tableau 4.** Nombre d'individus de saumon atlantique *Salmo salar* assignés par bassin versant d'origine (de naissance) en fonction de leur site de capture au stade adulte (N = 47) d'après le référentiel R3 à 2 bassins versants (Sienne, Sée) et 1 groupement de 2 bassins (Sélune + Couesnon). PF : probabilité de fidélité (%) ; PE : probabilité d'émigration (%) ; PI : probabilité d'immigration (%). NA : individus non assignés à un bassin de naissance au seuil



de 70% de probabilité, ne comptent pas dans les calculs du PI ; BMSM : individus pris en Baie du Mont-Saint-Michel, ne comptent pas dans les calculs de PF et PE des bassins.

		Site de capture						PF	PE
		BMSM	Sienne	Sée	Sélune	Couesnon	Total		
Bassin versant d'origine (naissance)	NA	3	1	2	4	0	10	-	-
	Sienne	2	4	3	2	2	13	36%	64%
	Sée	0	0	2	0	1	3	67%	33%
	Sélune + Couesnon	4	0	1	8	8	21	94%	6%
	Total	9	5	8	14	11	47		
	PI	-	0%	67%	24%				



**Figure 12.** Nombre d'individus SAT adultes assignés à un bassin versant de naissance en fonction de leur site de capture - référentiel R3 à 3 bassins versants. Les flèches indiquent les émigrations d'un bassin de naissance vers un bassin de retour.

## Discussion

L'échantillonnage de 108 SAT juvéniles sur 19 stations réparties sur 16 affluents des bassins versants de la Sienne, de la Sée, de la Sélune et du Couesnon a permis la constitution de deux référentiels de qualité pour la réassignation de 47 SAT adultes à leur rivière de naissance.

### **Apports et limites méthodologiques**

La diversité et la spécificité géochimique des cours d'eau de la Baie du Mont-Saint-Michel (Perrier *et al.* 2011, BRGM 2022) se sont avérées particulièrement intéressantes pour la discrimination des SAT nés dans la Sée et la Sienne (moins de 3% de probabilité d'erreur de réassignation). En revanche, la similarité des signatures des SAT juvéniles prélevés dans certains affluents des bassins de la Sélune (*i.e.* Beuvron) et du Couesnon (*i.e.* Minette et Loisançe) a diminué la robustesse du référentiel R4 et donc la distinction de ces bassins lors de la réassignation des SAT adultes. La probabilité de commettre une erreur de réassignation est néanmoins restée inférieure à 30% sur la Sélune et à 15% sur le Couesnon avec le R4. Ces résultats, dus à une plus importante similarité des signatures géochimiques de ces affluents (BRGM 2022), pointent ainsi une des limites de la méthodologie employée dans cette étude (Martin 2013).

Néanmoins, la résolution à laquelle il a été possible ici de discriminer les rivières en se basant sur les signatures SAT juvéniles s'est révélée plus élevée que l'utilisation des marqueurs génétiques (Faubet *et al.* 2007, Perrier *et al.* 2011). Cependant, au contraire de l'analyse génétique qui peut se faire à partir d'un échantillon de nageoire, la sclérochimie nécessite de sacrifier les individus ou de les récupérer post-mortem. Cette étude met ainsi en évidence le compromis ou le choix méthodologique nécessaire à la résolution d'une problématique en fonction de l'échelle d'observation souhaitée, des possibilités techniques d'échantillonnage et des contraintes ou choix éthiques (Perrier *et al.* 2011, Vignon *et al.* 2020).

### **Contributions des différents bassins versants de la Baie au pool de géniteurs échantillonné**

Cette étude met en évidence des échanges de SAT entre les 4 bassins de la Baie du Mont-Saint-Michel. Ces résultats concordent avec des études réalisées dans le même cadre géographique ces dernières décennies, favorisant l'hypothèse d'un fonctionnement en métapopulation des bassins versants de la Baie (Rivot 2003, Perrier 2010).

Pris individuellement, les 4 bassins versants ou 3 groupes hydrographiques ciblés ont montré des caractéristiques d'échanges contrastés produisant des proportions différentes d'individus au comportement de homing et/ou de straying (Chat *et al.* 2022). La Sienne s'est démarquée par une forte probabilité d'export de ses juvéniles vers les autres bassins et une probabilité nulle à faible d'immigration. Ce bassin, considéré comme ayant un fort potentiel salmonicole (Baglinière *et al.* 2012) présente de bons niveaux de production selon l'indice d'abondance calculé sur la période 2013-2015 (PLAGEPOMI Seine Normandie 2016). La présente étude tend à montrer que cette productivité peut bénéficier à l'ensemble des autres cours d'eau de la Baie.

A l'inverse, sur les 8 individus capturés sur la Sée, cette étude a estimé que seuls 2 en sont originaires et qu'1 seul individu né sur la Sée a été exporté (vers la Sélune). Cette rivière, également considérée comme productive (PLAGEPOMI Seine Normandie 2016), a montré ici une plus faible contribution que la Sienne au pool de géniteurs échantillonné et aux échanges comptabilisés entre les bassins. A contrario, c'est un bassin dont 67% des SAT adultes capturés provenaient d'autres cours d'eau, majoritairement des natifs de la Sienne. Rivot *et al.* (2004) avaient montré que des échanges importants pouvaient être favorisés entre la

Sée et la Sélune, avec un flux majoritairement dirigé de la Sée vers la Sélune (Rivot 2003). Ici, seulement 1 SAT adulte né sur la Sélune a été capturé sur la Sée et aucun SAT adulte né sur la Sée n'a été capturé sur la Sélune. Ainsi, le fait que ces deux bassins partagent le même estuaire ne s'est pas répercuté ici sur l'intensité, ni sur l'exclusivité, des échanges entre ces deux rivières.

La Sélune, selon le référentiel R4, n'a reçu que peu de contribution extérieure (25%) et n'a que très peu approvisionné les autres rivières lui conférant un statut plutôt conservatif. L'arasement du barrage de la Sélune intervenu après l'échantillonnage de cette étude peut avoir modifié les flux entrants et sortants de cette rivière et ainsi la dynamique générale des échanges dans la Baie (Petit *et al.* 2017, Teichert *et al.* 2023). Une reproduction de cette étude serait pertinente compléter les analyses post-arasement (génétique notamment, Druet *et al.* 2021) dans l'optique de caractériser l'effet de la restauration de la continuité écologique de la Sélune sur les flux de SAT entre bassins.

Le Couesnon, situé le plus à l'Ouest du cadre d'étude a montré les mêmes caractéristiques conservatives de ses natifs que la Sélune. Néanmoins, presque la moitié des individus capturés sur le Couesnon ont été assignés à d'autres rivières de naissance, indiquant comme pour la Sée, un potentiel d'approvisionnement significatif par les autres bassins. Cet afflux peut permettre de compenser un déclin de la population localement sur ces 2 cours d'eau, sous réserve d'une quantité et d'une qualité d'habitat favorable à la production et au recrutement de SAT juvéniles (Perrier 2010, Baglinière *et al.* 2012). Si la Sée montre actuellement de bons niveaux de production (PLAGEPOMI Seine Normandie 2016, Seinormigr 2022), c'est moins le cas du Couesnon dont les indices suggèrent une production de SAT juvéniles de niveau moyen peu indexée à la surface de production accessible (BGM 2021). Ainsi, le bénéfice des apports extérieurs sur ces deux bassins semble différer en termes de maintien et de développement des populations locales.

### ***Saumons adultes capturés dans la partie maritime de la Baie du Mont-Saint-Michel***

Sur les 9 SAT adultes pris dans la partie maritime de la Baie du Mont-Saint-Michel, aucun n'a été réassigné à la Sée. 4 ont été réassignés au groupement Sélune + Couesnon. Selon le référentiel R4, 2 d'entre eux (pêchés à la raquette), plus 1 au seuil de 69% de probabilité (récupéré lors d'une saisie OFB), provenaient du Couesnon. Seul le 4<sup>ème</sup>, pêché à la raquette, a été réattribué à la Sélune. Ces résultats suivent ainsi la logique spatialisée de la pêche d'interception dans une baie qui produit des SAT juvéniles et les accueille au stade adulte de retour de migration (Perrier 2010).

2 SAT pris en Baie ont été estimés comme natifs de la Sienne. L'un a été pêché à la raquette dans la zone réglementée, l'autre a été trouvé mort dans le secteur estuarien Sée-Sélune. Ceci témoigne en faveur de la contribution effective de la Sienne au pool de géniteurs pouvant être interceptés par la pêche sur le domaine maritime de la Baie.

### ***Saumons non réassignés par les modèles à un bassin versant de naissance***

De manière cohérente, les deux référentiels n'ont pas permis de réassigner 9 mêmes individus avec une probabilité satisfaisante. Ce résultat montre une autre limite méthodologique de la sclérochimie, qui est celle de l'exhaustivité de l'échantillonnage des potentielles rivières sources (Prichard *et al.* 2019) associée à la définition des seuils de probabilité de réassignation acceptables. Cette limite n'est pas spécifique à la sclérochimie puisqu'elle se pose également dans le cadre d'analyses génétiques (Perrier 2010). Le périmètre d'étude est donc un élément essentiel à déterminer en fonction du cadre géographique de la

problématique. Dans le cas présent, deux principales hypothèses peuvent sous-tendre le fait que 9 individus ne peuvent être réassignés avec robustesse ( $\geq 70\%$ ) à des sites échantillonnés. La première est l'exhaustivité de l'échantillonnage des frayères dans les bassins versants ciblés (Marklevitz *et al.* 2016, Prichard *et al.* 2019). Si celle-ci n'est pas assurée, les signatures chimiques de certaines frayères, toutes ressemblantes soient-elles de celle du bassin de rattachement, peuvent suffisamment différer pour abaisser la probabilité d'assignation de leurs SAT sous le seuil de 70% utilisé dans cette étude. Pour abonder cette hypothèse, 4 des 9 individus auraient été réassignés à un bassin cible si le seuil avait été abaissé à 60% de probabilité. Malgré l'échantillonnage de 19 localités sur les 16 affluents, certaines frayères mineures ont pu être manquées. Aussi, les variations interannuelles des conditions hydrologiques ont pu introduire un biais dans la conservation de la signature entre l'année d'échantillonnage des juvéniles et l'année d'échantillonnage au stade adulte (Martin 2013). Cependant, l'année d'échantillonnage ne s'est pas posée comme un facteur explicatif de la proportion d'individus non-assignés. L'effet potentiel de l'année de naissance reste à investiguer sur la base des lectures des écailles.

Pour les individus dont la probabilité de réassignation est tombée sous les 50% (n=3), une seconde hypothèse serait que ces SAT proviennent d'autres rivières sources, extérieures au cadre d'étude. Ces individus aux signatures diversifiées ont été collectés différentes années sur la Sélune ou en Baie, à la fois post-mortem et par pêche. Aucune tendance n'a pu être mise en évidence sur un afflux directionnel d'une ou plusieurs rivières extérieures au cadre de l'étude vers un ou plusieurs des bassins versants cibles. Ces individus pourraient témoigner de capacités d'échanges élargies entre les rivières à salmonidés, dépassant le cadre de la Baie. Cette hypothèse concorderait avec les études génétiques qui indiquent un taux modéré d'isolement de la Baie avec les populations adjacentes (rivières bretonnes et normandes, Dionne *et al.* 2009, Grandjean *et al.* 2009). Ainsi, même s'il semble relativement faible, le rôle potentiel des rivières « extérieures » dans l'approvisionnement de la Baie du Mont-Saint-Michel en géniteurs de saumon atlantique ne peut être exclu sur la base des résultats obtenus.

Ce travail ne peut enfin pas répondre à la question de l'export des individus produits par les bassins de la Baie vers d'autres rivières à saumons. Cependant, le référentiel constitué dans cette analyse pourrait être utilisé dans le cadre d'un observatoire géographique élargi des flux de SAT, fondé sur la méthodologie de la sclérochimie (Bataille & Bowen 2012, Prichard *et al.* 2019).

En conclusion, cette étude fait état d'une image ponctuelle et relative (n=47 SAT adultes) de la contribution des bassins versants de la Baie du Mont-Saint-Michel à la production de géniteurs de saumon atlantique qui viennent s'y reproduire. Elle conforte des hypothèses soulevées par de précédentes études et d'autres méthodologies et apporte de nouveaux éclairages sur les flux de saumon atlantique entre des cours d'eau se déversant dans une même baie intertidale. Elle apporte ainsi des connaissances essentielles pour la prise de décision en géographie réglementaire en réponse aux enjeux de gestion globale terre-mer de la pêche des espèces de poissons migrateurs amphihalins.

## Principaux résultats de l'étude

---

- Approche méthodologique de sclérochimie pertinente et résolutive à l'échelle des bassins versants de la Baie du Mont-Saint-Michel

- Phylopatric (homing) mais aussi échanges entre les 4 bassins versants. Sur la base de 47 SAT adultes collectés, la Sienne s'est davantage caractérisée par son export d'individus, la Sée par sa faible contribution à l'export et sa probabilité élevée d'immigration, la Sélune pour ses probabilités conservatives et le Couesnon pour sa phylopatric et sa probabilité de recevoir des SAT venant des autres bassins.
- Contribution effective de la Sienne, de la Sélune et du Couesnon, et probable de la Sée, à la production de géniteurs interceptés dans la Baie et dans sa partie réglementée pour la pêche à la raquette.

## Bibliographie

---

Baglinière, J.-L., Beall, E., Jeannot, N., Jouanin, C., Legentil, J., Porcher, J.P., Marchand, F., Perrier, C., Prevost, E., Richard, A., Rivot, E., Roussel, J.-M., Tremblay, J., 2008 Caractéristiques biologiques et écologiques des populations de saumon Atlantique (*Salmo salar*) en France. Les Rencontres Migrateurs LOGRAMI. Orléans.

Baglinière, J.-L. 2012. Quelques éléments sur le statut de conservation des populations de Saumon atlantique en France et dans la baie du Mont Saint Michel. INRAe.

Barnett-Johnson, R., Ramos, F.C., Grimes, C.B., MacFarlane, R.B., 2005. Validation of Sr isotopes in otoliths by laser ablation multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICPMS): opening avenues in fisheries science applications. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62, 2425–2430. <https://doi.org/10.1139/F05-194>.

Barnett-Johnson, R., Pearson, T.E., Ramos, F.C., Grimes, C.B., MacFarlane, R.B., 2008. Tracking natal origins of salmon using isotopes, otoliths, and landscape geology. *Limnol. Oceanogr.* 53, 1633–1642. <https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.4.1633>.

Bataille, C.P., Bowen, G.J., 2012. Mapping  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  variations in bedrock and water for large scale provenance studies. *Chem. Geol.* 304–305, 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.01.028>.

Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine Learning*. 45, 5–32.

BGM-Bretagne Grands Migrateurs, 2021. Indices d'abondance pondérés de juvéniles de saumon atlantique en Bretagne. Observatoire des poissons migrateurs en Bretagne.

Campana, S.E., 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 188, 263–297. <https://doi.org/10.3354/meps188263>.

Campana, S.E., Thorrold, S.R., 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58, 30–38. <https://doi.org/10.1139/f00-177>.

Chat, J., Lamarins, A., Lepais, O., 2022. Sea trout (*Salmo trutta*) straying rate decreases as distance from river mouth increases. *J. Fish. Biol.* 101, 937–944. <https://doi.org/10.1111/jfb.15152>.

Cutler, D.R., Edwards, T.C., Jr., Beard, K.H., Cutler, A., Hess, K.T., Gibson, J., Lawler, J.J., 2007. Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 88, 2783–2792.

Hansen, L.P., Jonsson, N., Jonsson, B., 1993. Oceanic migration in homing Atlantic salmon. *Anim. Behav.* 45, 927–941.

Jonsson, B., Jonsson, N., Hansen, L.P., 2003. Atlantic salmon straying from the river Imsa. *J. Fish Biol.*, 62, 641–657. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00053.x>.

Marklevitz, S.A.C., Fryer, B.J., Johnson, J., Gonder, D., Morbey, Y.E., 2016. Otolith microchemistry reveals spatio-temporal heterogeneity of natal sources and inter-basin migrations of Chinook salmon in Lake Huron. *J. Great Lakes Res.* 42, 668–677. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.03.007>.

Martin, J., 2013. Développement de la microchimie élémentaire et isotopiques ( $^{87}\text{Sr}$  :  $^{86}\text{Sr}$ ) des otolithes de saumon atlantique : évaluation du potentiel pour un appui à la gestion piscicole dans le bassin de l'Adour. Thèse de doctorat. Université de Pau et des Pays de l'Adour. 241 pp.

Mercier, L., Darnaude, A.M., Bruguier, O., Vasconcelos, R.P., Cabral, H.N., Costa, M.J., Lara, M., Jones, D.L., Mouillot, D., 2011. Selecting statistical models and variable combinations for optimal classification using otolith microchemistry. *Ecol. Appl.*, 21, 1352–1364.

Perrier, C., 2010. Structure génétique des populations de saumon atlantique en France. Thèse de doctorat. Université de Caen. 185 pp.

Perrier, C., Evanno, G., Belliard, J., Guyomard, R., Baglinière, J.-L., 2010. Natural recolonization of the Seine River by Atlantic salmon (*Salmo salar*) of multiple origins. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 67, 1–4. <https://doi.org/10.1139/F09-190>.

Perrier, C., Daverat, F., Evanno, G., Pécheyran, C., Baglinière, J.-L., Roussel, J.-M., 2011. Coupling genetic and otolith trace element analyses to identify river-born fish with hatchery pedigrees in stocked Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68, 977-987. <https://doi.org/10.1139/F2011-040>.

Petit, E., Acou, A., Azam, D., Bardonnnet, A., Barloy, D., Benneveault, Y., Besnard, A.L., Bolliet, V., Boulenger, C., Coste, P., Coudreuse, J., Daroux, A., Evanno, G., Feunteun, E., Forget, G., Guillard, J., Huchet, E., Huteau, D., Lassalle, G., Launey, S., Le Quilliec, P., Macel, N., Manicki, A., Marchand, F., Martignac, F., Nevoux, M., Oger, A., Ombredane, D., Paillisson, J.-M., Poupelin, M., Réveillac, E., Rault, P., Rives, J., Fraise, S., Baglinière J.-L., 2017. Dispersion et (re)colonisation du cours de la Sélune et de ses affluents- Rapport final des travaux liés à la convention annuelle 1054505-1. Agence de l'Eau Seine-Normandie, 46 p.

PLAGEPOMI Bassin Seine-Normandie 2016-2021. DRIEAT Ile de France

Prichard, C.G., Student, J.J., Jonas, J.L., Watson, N.M., Pangle, K.L., 2019. Geologic variability underlying stream catchment areas correlates with fish otolith microchemistry across disparate glacial till depths. *Fish. Res.* 216, 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.04.006>.

R Core Team, 2022. R: a Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Rivot, E., 2003. Investigations bayésiennes de la dynamique des populations de Saumon atlantique (*Salmo salar*). Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, spécialité halieutique, Rennes, 226 p.

Rivot, E., Prévost, E., Parent, E., Baglinière, J.-L., 2004. A Bayesian state-space modelling framework for fitting a salmon stage-structured population dynamic model to multiple time series of field data. *Ecol. Model.* 179, 463-485.

Seine Normandie Migrateurs, 2022. Indice d'abondance de saumon atlantique sur la Sée. Réseau de surveillance du saumon normand.

Tabouret, H., 2009. Recherche des marqueurs d'exposition aux contaminants et de fréquentation des habitats chez l'anguille *Anguilla anguilla* de l'estuaire de l'Adour : de la réponse moléculaire à la microchimie de l'otolithe. Thèse de doctorat. Université de Pau et des Pays de l'Adour.

Teichert, N., Lizé, A., Tabouret, H., Gérard, C., Bareille, G., Acou, A., Carpentier, A., Trancart, T., Virag, L. S., Robin, E., Druet, M., Prod'Homme, J., Feunteun, E., 2022. A multi-approach study to reveal eel life-history traits in an obstructed catchment before dam removal. *Hydrobiol.* 849(8), 1885-1903. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04833-9>.

Vignon, M., Bareille, G., Tabouret, H., Semperez, R., 2020. Première étude comparative de la microchimie des otolithes et des écailles pour déterminer l'origine spatiale des populations de saumon atlantique. Rapport final. OFB; INRAE; Agrocampus Ouest; Université de Pau et des Pays de l'Adour; Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement. 2020, 26 p. [hal-03104019](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03104019).