

Direction des Ressources AQUACOLES
Laboratoire Conchylicole Normand
Port-en-Bessin

M. ROPERT, J. KOPP

Juin 2000 DRV/RA/RST/2000-10.

Etude des mortalités ostréicoles de l'hiver 1998/1999 en Baie des Veys

Caractérisation et analyse temporelle des dessalures observées sur les parcs conchylicoles de la baie des Veys depuis 1996.



Numéro d'identification du rapport : DRV/RA/RST/2000-10.	date de publication Avril 2000
Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/>	nombre de pages 53
Validé par : Jean BARRET	bibliographie (Oui / Non) 13
Version du document : définitive	illustration(s) (Oui / Non) 22
	langue du rapport Français

Titre et sous-titre du rapport :

ETUDE DES MORTALITÉS OSTRÉICOLES DE L'HIVER 1998/1999 EN BAIE DES VEYS

Caractérisation et analyse temporelle des dessalures observées sur les parcs conchylicoles de la baie des Veys depuis 1996.

Titre traduit :

characterisation and time series analysis of low salinity events associated with winter oyster mortality in Bay of Veys (western bay of seine, france)

Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom

ROPERT, michel
KOPP, Joël

Organisme / Direction / Service, laboratoire

IFREMER / DRV-RA / LCN

Collaborateur(s) : nom, prénom

Organisme / Direction / Service, laboratoire

Travaux universitaires :

diplôme :

discipline :

établissement de soutenance :

année de soutenance :

Titre du contrat de recherche :

n° de contrat IFREMER

Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse

Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s)

Responsable scientifique :

Cadre de la recherche :

Programme :

Convention :

Projet :

Autres (préciser) :

Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire)

Résumé :

Dans le cadre de l'étude des mortalités ostréicoles importantes (20 à 30 %), qui ont frappé la Baie des Veys (Baie de Seine Occidentale) durant l'hiver 1998/1999, le Laboratoire Conchylicole de Normandie (LCN IFREMER) a pu mettre en évidence de fortes anomalies hydrologiques durant cette période. Ces anomalies se traduisaient par de brutales variations de salinité au cours du cycle de marée, en particulier en début de flot. Les mesures de terrain ont été réalisées au moyen d'une sonde multiparamétrique (salinité, température, pression) placée sur le terrain en continu depuis 1996 (fréquence d'acquisition : 10 à 20 minutes). Après traitement et filtrage des données, deux critères de dessalure ont été retenus : amplitude et durée. Dans un premier temps, la technique des sommes cumulées (Ibanez *et al.*, 1993), appliquée à cette série temporelle, a permis d'évaluer les tendances sur trois années (1996-1999). Les processus inducteurs de l'apparition de ces dessalures ont été déterminés par analyse multivariée associant dynamique de salinité et données climatologiques. Ce travail a permis de mettre en évidence un cycle annuel marqué par de fortes dessalures (durant 2 mois l'hiver) et de faibles dessalures (le reste de l'année). Les années 1998 et 1999 se caractérisent par une dérive importante tant dans l'allongement des périodes de fortes dessalures (5 mois en 1999) que de l'amplitude de variation de ces salinités. L'apparition de ces anomalies est fortement corrélée à des vents de secteur ouest associés à une pluviométrie importante, cumulée sur les 5 jours précédents. L'ensemble de ces processus est replacé dans le contexte de la dynamique environnementale globale de la baie pour expliquer leur caractère récent.

Abstract :

The Shellfish Laboratory of Normandy (LCN : Laboratoire Conchylicole de Normandie) observed unusual hydrologic anomalies associated with important oyster mortalities during the winter of 1999. These anomalies were described as sudden salinity variations during the tidal cycle, particularly on the rising tide. Starting in 1996 a multi-parameter probe was used to monitor salinity, temperature and depth every 10 to 20 minutes in the inter-tidal zone. After data processing and filtering, two criteria concerning low salinity were chosen : amplitude and duration. Application of a cumulative function (Ibanez *et al.*, 1993) to this time series data treatment showed the 3 year trend (1996-1999). Salinity variation data and climatic data were used in a multivariate analysis to determine the processes inducing low salinity events. This study demonstrated the occurrence of an annual cycle characterised by high variation in salinity during 2 months in winter and low variation during the other months. However, 1998 and 1999 were characterised by longer periods of low salinity (5 months in 1999) and an overall higher variability in salinity concentrations. These anomalies were strongly correlated to westerly winds coupled with high rainfall for 5 days prior to measurement. To explain these recent low salinity events, all these phenomena were considered within the context of the dynamic environment of the entire bay.

Mots-clés :

Crassostrea gigas, mortalités, salinité, Baie des Veys, suivi

Keywords :

Crassostrea gigas, mortality, salinity, Baie of Veys, monitoring

Commentaire :

SOMMAIRE

1	Mortalités ostréicoles de la Baie des Veys en 1998/1999.....	4
1.1	Contexte environnemental et géographique.....	4
1.2	La conchyliculture en Baie des Veys.....	7
1.3	Mortalités hivernales survenues en Baie des Veys durant l'hiver 98/99.....	7
2	Suivi hydrologique pluriannuel.....	8
2.1	Techniques et moyens développés par le LCN.....	8
2.1.1	Sondes "SENSOR TPS".....	8
2.1.2	Sonde SOLOMAT "803PS" et YSI "6920".....	9
2.1.3	Positionnement des points de suivi.....	9
2.2	Présentation des données.....	10
2.2.1	Données brutes.....	10
2.2.2	Données filtrées.....	11
2.2.3	Impact physiologique.....	13
3	Méthodologie de l'étude de la variabilité de la salinité en Baie des Veys..	15
3.1	Critères d'étude des écarts de salinité.....	15
3.1.1	Dynamique de la salinité pendant le cycle de marée.....	15
3.1.2	Critères d'évaluation du choc salin.....	16
3.2	Traitement informatique.....	18
3.2.1	Traitement des données de dessalure.....	18
3.2.2	Traitement des données climatologiques.....	19
3.3	Analyse des données.....	21
3.3.1	Méthode des sommes cumulées appliquées à l'analyse des séries chronologiques.....	21
3.3.2	Analyses multivariées.....	22



	2
4 Résultats.....	23
4.1 Variabilité temporelle des phénomènes de dessalure.....	23
4.1.1 Données brutes	23
4.1.2 Tendances pluriannuelles	24
4.2 Influence des facteurs climatiques	28
4.2.1 Mise en forme des données	28
4.2.2 Paramètres retenus	30
4.2.3 Résultats de l'analyse en composante principale	30
4.2.4 Comportement des variables environnementales.....	31
4.2.5 Analyse des cycles de marée.....	34
5 Discussions.....	36
6 Perspectives.....	42
6.1 Nature qualitative des lentilles d'eau douce.....	42
6.2 Variabilité spatiale des dessalures	42
6.3 Approche physiologique de réponse des huîtres à la dessalure.....	43
7 Bibliographie.....	44
8 Annexe.....	45



AVANT PROPOS

Durant l'hiver 1998/1999 des mortalités importantes d'huîtres (20 à 30 %) ont été observées en Baie des Veys. Dès février 1999, le Laboratoire Conchylicole de Normandie (L.C.N.) publiait une note de synthèse (Kopp & Ropert, 1999) sur les travaux réalisés dans ce domaine depuis 1990. Les conclusions de ce premier travail faisaient ressortir le caractère exceptionnel de ces mortalités qui pour la première fois intervenaient durant une période de l'année habituellement épargnée. Les circonstances exactes et l'origine de ces facteurs de mortalité n'étaient pas connus. Toutefois, des orientations de réflexion et de recherches étaient proposées. Il ressortait également, de cette note, le lien étroit qui semblait unir ces mortalités brutales, observées sur le cheptel ostréicole, et le contexte environnemental évolutif du secteur conchylicole de la Baie des Veys.

En effet, les résultats d'une étude topographique, réalisée en 1995, mettaient en évidence le caractère préoccupant des processus d'engraissement sédimentaire. La morphologie des fonds se singularise par un important exhaussement des fonds dans la partie sud des parcs, exhaussement accompagné de la formation de deux couloirs de circulation constituant des zones de convergence des masses d'eau pendant le flot. Des travaux récents (Ropert, 1999) ont pu montrer l'importance présentée par ces chenaux dans la dynamique d'immersion des parcs conchylicoles. En effet, pendant toute la première moitié du flot, les parcs sont isolés des apports d'eau douce issus du chenal d'Isigny par une importante dune hydraulique en bordure sud-ouest des parcs. Les masses d'eau recouvrant progressivement les parcs ont donc une origine marine, depuis l'ouverture de la Baie au nord des concessions conchylicoles. Malgré cette particularité, les sondes multiparamétriques (pression, température, salinité) placées sur le terrain de manière continue, détectent régulièrement des passages d'eau saumâtre sur les parcs, en particulier durant la première moitié du flot. Des dessalures importantes, pouvant atteindre des valeurs de l'ordre de 2 ‰, sont susceptibles d'apparaître brutalement et de se prolonger dans le temps (jusqu'à 4 heures après le début de l'immersion).

C'est dans ce contexte que sont apparus les épisodes récents de mortalités ostréicoles. L'hypothèse développée, par le L.C.N., mettait en relation ces mortalités avec l'apparition régulière des phénomènes de fortes dessalures sur les parcs. C'est donc dans le compartiment hydrologique que se dirige actuellement la recherche des facteurs de risque pour la survie du cheptel conchylicole. Un vaste programme de recherche pluridisciplinaire, associant l'IFREMER (direction DEL et département RA) et différents services extérieurs de l'état, est proposé pour répondre à ces interrogations.

Le travail présenté ici s'intègre dans cette dynamique. Il consiste, dans un premier temps à présenter la méthodologie d'exploitation des résultats hydrologiques obtenus par le L.C.N.. Par la suite, une analyse approfondie des données acquises depuis 1996 tentera d'évaluer l'évolution temporelle des phénomènes de dessalure observés pendant le flot, sur les parcs conchylicoles de la Baie des Veys. Parallèlement, une approche climatologique est réalisée afin de pouvoir apprécier l'influence du vent et de la pluviométrie sur la formation et la présence de lentilles d'eau fortement dessalées sur les parcs ostréicoles.

1 Mortalités ostréicoles de la Baie des Veys en 1998/1999

1.1 Contexte environnemental et géographique

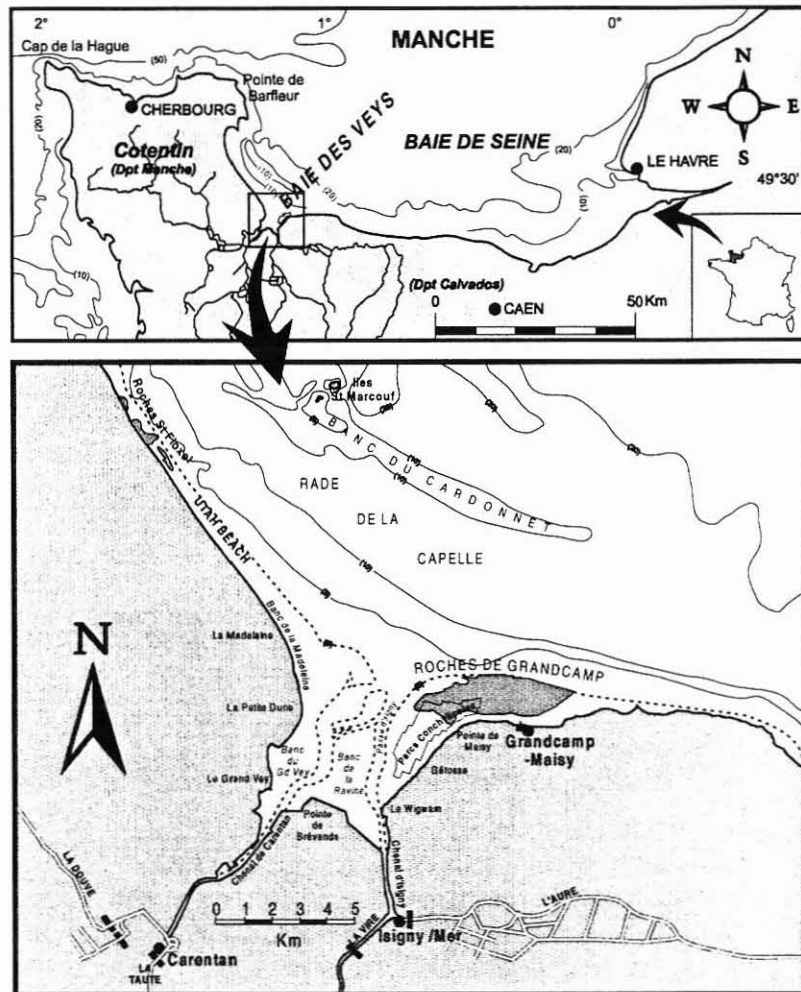


Figure 1 : Localisation et environnement géographique de la Baie des Veys en Baie de Seine Occidentale (d'après Ropert, 1999).

Localisée à l'intersection des départements de la Manche et du Calvados, la Baie des Veys (37 Km²) constitue le point de convergence d'un bassin versant d'environ 3 500 Km². Les apports d'eau douce représentent en moyenne 50 m³.s⁻¹ (valeur calculée sur 15 ans : Sylvand, 1995). Un double système de chenaux (Carentan et Isigny) partage la zone intertidale en trois secteurs distincts. C'est sur le flanc Est de la baie, isolée par le chenal d'Isigny, que s'est développé l'essentiel de l'activité conchylicole en Baie des Veys depuis le milieu des années 60.

Sur le plan hydrodynamique, cette baie se singularise par la double confrontation entre un milieu marin présentant des caractéristiques hydrodynamiques fortes (courant de flot pouvant atteindre 3 m.s^{-1} à l'ouverture de la baie) et un secteur estuarien naturellement abrité de l'Ouest (vent dominant) par la presqu'île du Cotentin. Toutefois, la nature des aménagements réalisés depuis le siècle dernier (poldérisation, aquaculture...) ont amené cet écosystème à subir de profondes transformations.

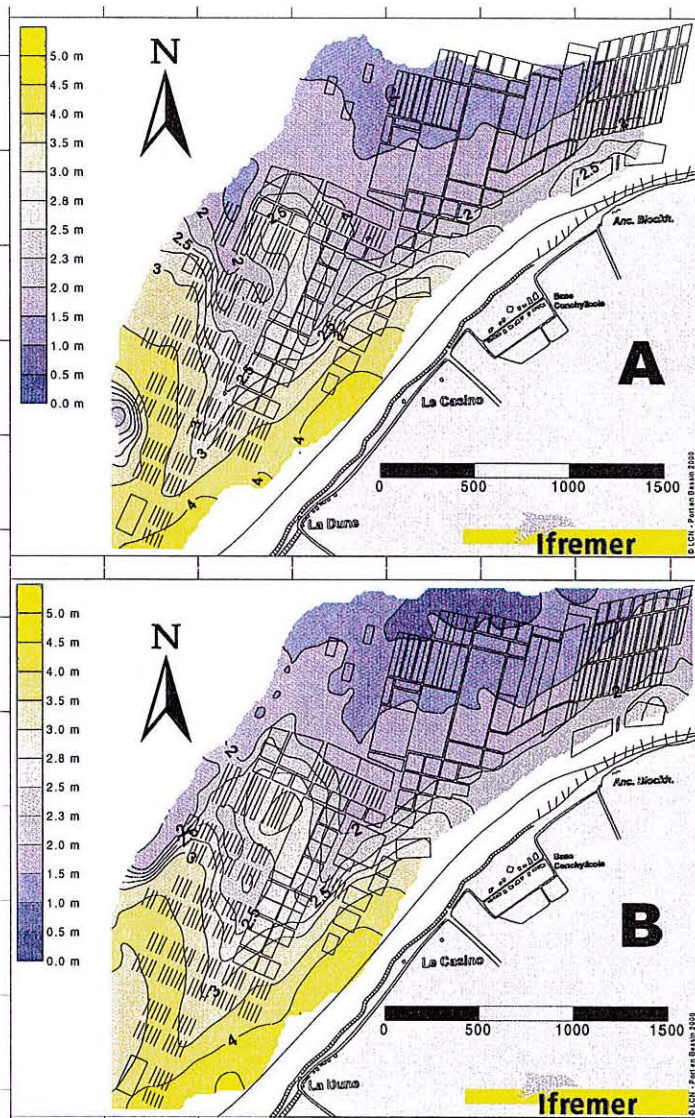


Figure 2 : Résultats des études topographiques du secteur conchylicole entre 1995 (A) et 2000 (B). Altitude en cote marine.

Actuellement, la Baie des Veys se caractérise par une forte tendance à l'engraissement et à l'ensablement. La principale conséquence de cette dynamique hydrosédimentaire se traduit par un exhaussement progressif des fonds sablo-vaseux, en particulier sur le secteur conchylicole du flanc Est (Ropert, 1999). Ces processus d'engraissement généralisé de la baie se traduisent sur les parcs conchylicoles par des problèmes d'ensablement essentiellement localisés dans la partie sud-ouest des parcs. La partie nord (zone de Grandcamp-Maisy) repose sur un platier rocheux (Figure 2).

La bathymétrie fait ressortir un gradient topographique important orienté du sud-ouest vers le nord-est, parallèle au trait de côte, et présentant un dénivelé de près de 3,80 m entre les points extrêmes (soit une pente moyenne de 0,13%).

Cette morphologie particulière conditionne l'hydrodynamisme local, tant en ce qui concerne l'immersion des parcs, pendant le flot, que pendant leur vidange, au jusant (Ropert, 1999). La présence de deux couloirs de circulation parfaitement individualisés dans le secteur de Gefosse (sud) canalise les masses d'eau pendant le flot (Figure 3).

Entre 1995 et 2000, le bilan sédimentaire est positif de plus de $175\,000 \text{ m}^3$, malgré d'une part, les érosions liées à la dérive du chenal d'Isigny touchant la bordure ouest des parcs et, d'autre part, les extractions de sédiment réalisées au cours du printemps 1999 dans la partie centrale des parcs (volume de sédiment retiré : $10\,000 \text{ m}^3$). Les problèmes d'ensablement touchent essentiellement la partie sud des parcs (secteur de Gefosse), avec par endroits (entre les deux couloirs de circulation) un gain sédimentaire représentant 40 cm en 5 ans.

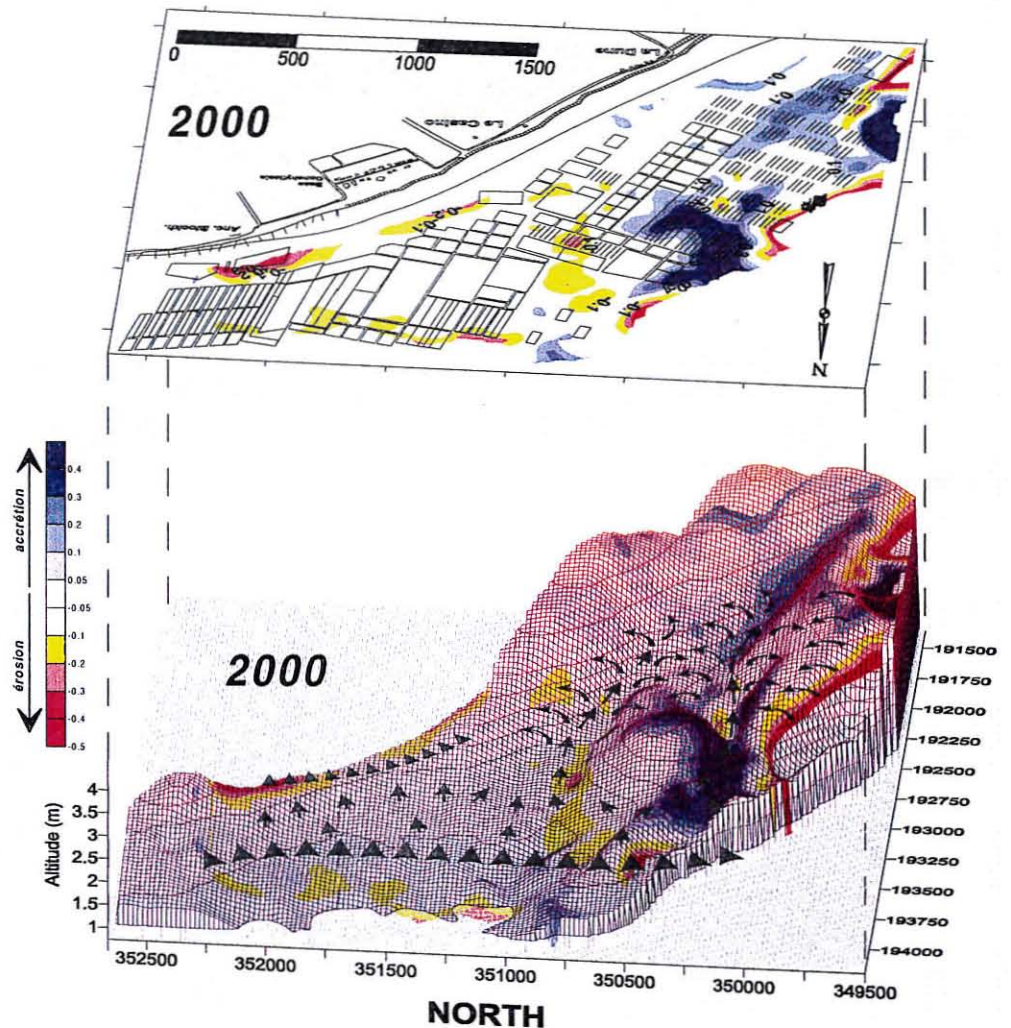


Figure 3 : Bilan topographique différentiel entre 1995 et 2000 mettant en évidence les secteurs d'érosion et d'accrétion sédimentaire. Les flèches grises symbolisent la progression du front de marée durant le flot mettant en évidence les deux couloirs de circulation sur Gefosse (sud). Les zones laissées blanches représentent une variation inférieure à 5 cm (non significatif).

Une telle hétérogénéité dans la morphologie de ce secteur n'est pas sans conséquences sur les circulations des masses d'eau dans les parcs. Cette particularité constitue incontestablement une contrainte importante dans l'équilibre de l'écosystème, et malgré son caractère stable et persistant, il reste indispensable de se doter des moyens nécessaires pour en suivre l'évolution.

1.2 La conchyliculture en Baie des Veys

La Baie des Veys, avec 160 ha de parcs ostréicoles concédés, constitue le troisième bassin conchylicole de Basse-Normandie, avec une production totale, estimée en 1995, à 12 000 tonnes (Kopp *et al.*, 1997) (dont 8 700 t. commercialisables). Elle se distingue des autres bassins conchylicoles normands par l'importance de la charge en matière organique de ses eaux (Ropert, 1999). Cette richesse en fait un secteur à forte productivité et se traduit par des performances de croissances, d'engraissement et de rendement ostréicole élevés (Fleury *et al.*, 1999).

Si la production est supérieure en Baie des Veys, comparée aux autres bassins normands, la mortalité y est également plus élevée (Kopp *et al.*, 1991). C'est habituellement en période estivale que ces épisodes de mortalités importantes ont été observés par le passé (Kopp & Ropert, 1999). En dehors de toutes causes pathogènes, les hypothèses explicatives de ces pertes ostréicoles s'appuyaient sur d'éventuelles perturbations environnementales (fortes températures, déplétion en oxygène...etc.).

1.3 Mortalités hivernales survenues en Baie des Veys durant l'hiver 98/99

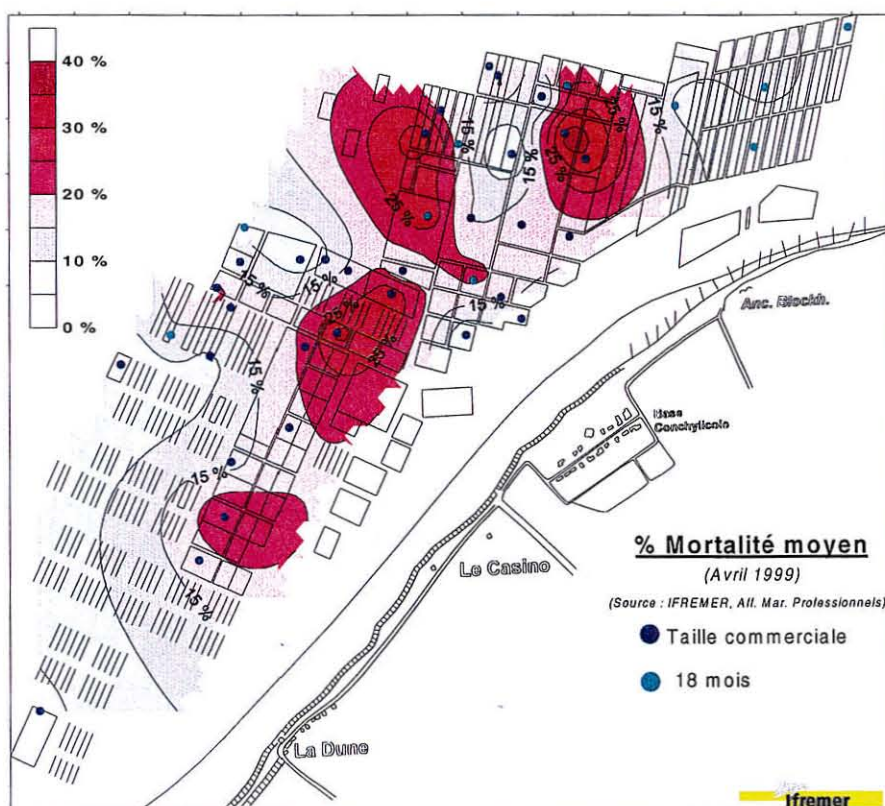


Figure 4 : Cartographie définitive des mortalités ostréicoles survenues en baie des Veys au cours de la période comprise entre les mois d'octobre 1998 et avril 1999. (Estimations réalisées à partir de comptages aléatoires exhaustifs des individus sur trois poches ostréicoles par point).

Contrairement aux années précédentes, la période hivernale 1998/1999 s'est caractérisée, en baie des Veys, par des pertes importantes constatées dans le stock ostréicole du flanc est de la baie. Ce nouvel épisode de mortalités s'est prolongé jusqu'au mois de mars 1999. Dès cette période, le L.C.N. de Port-en-Bessin, en collaboration avec les services des Affaires Maritimes de Caen ainsi que les professionnels de la baie, entreprenait une estimation de ces pertes. Rapidement un bilan fut proposé sous la forme d'une cartographie provisoire des comptages réalisés sur le terrain. Dès le mois d'avril 1998, la situation semblait être revenue à la normale. La cartographie définitive des mortalités constatées en Baie des Veys put alors être réalisée (Figure 4).

Contrairement aux mortalités précédentes, observées durant l'été 1997, ces pertes hivernales concernent l'ensemble de la zone centrale des parcs conchylicoles. Leur répartition spatiale est hétérogène, se distribuant selon un gradient orienté nord-sud. Les taux relevés les plus importants (> 35 %) se localisent dans la partie nord sur la commune de Grandcamp. En descendant vers le sud, tout en restant élevés, les comptages montrent que le taux de mortalité se réduit pour atteindre 5 % sur la dernière concession localisée sur la commune de Géfosse.

C'est donc dans la partie marine, vers l'ouverture de la baie, que les pertes les plus importantes ont été constatées. Cette observation est tout à fait particulière par son caractère inhabituel. Depuis 1991, date des premières estimations chiffrées (Kopp *et al.*, 1991), ce secteur c'était toujours distingué par les faibles pertes qu'il subissait.

2 Suivi hydrologique pluriannuel

2.1 Techniques et moyens développés par le LCN

Dans le cadre de ses activités, le L.C.N. de Port-en-Bessin dispose de différents moyens techniques lui permettant de suivre dans le temps les caractéristiques hydrologiques des masses d'eau sur les secteurs conchylicoles.

2.1.1 Sondes "SENSOR TPS"

Les sondes "SENSOR TPS", développées par la société MICREL permettent l'enregistrement de mesures de température, de profondeur et de salinité. Le laboratoire conchylicole de Normandie dispose actuellement de cinq de ces sondes destinées avant tout à des suivis en continu. Depuis le mois de juin 1996, une sonde est placée en permanence en Baie des Veys. La fréquence d'acquisition des données est calibrée sur 20 minutes, afin de permettre de disposer d'une autonomie suffisante du matériel. La sonde est relevée tous les mois, pour permettre la récupération des données et son entretien.

Dans le cadre du suivi des mortalités ostréicoles, l'ensemble des moyens de la station IFREMER de Port en Bessin a été concentré sur la Baie des Veys depuis le mois de mars 1999. Actuellement cinq sondes sont déployées sur les parcs, prochainement complétées par deux autres. La fréquence d'échantillonnage a été réduite à 10 minutes, afin d'affiner l'acquisition des données. Ce pas de temps implique le relevage systématique du matériel tous les 15 jours pour éviter la saturation de la mémoire du TPS.

2.1.2 Sonde SOLOMAT "803PS" et YSI "6920"

Le second type de matériel utilisé par le L.C.N. dans le suivi hydrologique est une sonde multiparamétrique SOLOMAT 803PS. Elle permet la mesure et l'enregistrement d'un nombre de paramètres hydrologiques plus important (jusqu'à 8 différents) que ne le fait la sonde TPS. Ces paramètres sont déterminés par les capteurs placés sur l'appareil. La sonde actuellement utilisée est équipée de cinq capteurs : température, conductivité, pH, turbidité, Oxygène dissout. Cette multiplicité des paramètres enregistrables s'accompagne d'une certaine complexification dans son utilisation tant en terme de manipulation que de paramétrage. Les contraintes liées à l'utilisation spécifique qu'en fait le laboratoire (mesures *in situ* en continu), ainsi qu'à la sensibilité et la fragilité du matériel, n'ont pas permis, pour le moment, d'exploiter le potentiel représenté par cette sonde. Par conséquent, son utilisation en est encore à la phase de test, et les efforts développés jusqu'à présent ne permettent pas de valider la fiabilité de ce matériel en tant qu'outil de suivi hydrologique dans les conditions d'utilisations locales.

Depuis, ce matériel a été complété par une sonde multiparamétrique YSI 6920. Les caractéristiques de mesure sont les mêmes, mais son encombrement moindre et sa facilité d'utilisation l'ont fait préférer au matériel SOLOMAT. Cette seconde sonde est venue remplacer la SOLOMAT depuis le mois de juillet 1999.

Les données acquises depuis quelques mois par ces sondes ne font pas, ici, l'objet d'une présentation et d'une analyse approfondie.

2.1.3 Positionnement des points de suivi

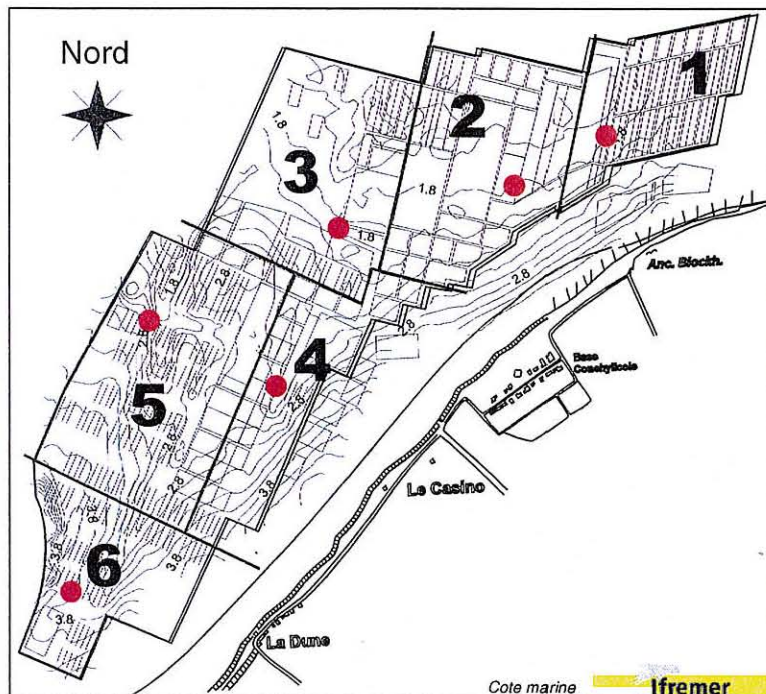


Figure 5 : Localisation des 6 zones ateliers suivies dans le cadre de l'étude des facteurs de mortalité ostréicole en Baie des Veys

En concertation avec le laboratoire de la DEL, chargé du suivi de qualité bactériologique des coquillages, le secteur conchylicole a fait l'objet d'un partage en six zones (Figure 5). A l'intérieur de chacune d'elles, un site atelier est déterminé selon des critères tenant compte des particularités spatio-temporelles locales. Les critères de choix sont les suivants :

- ☑ Les stations 1, 2 (secteur de Grandcamp) et 3 (moulière de Guinehaut) sont placées à un même niveau bathymétrique (cote marine 1,75 m). Leur immersion est donc simultanée et permet donc d'appréhender une variabilité spatiale des paramètres mesurés.
- ☑ Les stations 4 et 5 sont également positionnées sur la même cote (2,40 m). Elles se caractérisent de plus par leur localisation au sein des 2 chenaux de remplissage mis en évidence par le modèle numérique de terrain (Ropert, 1999).
- ☑ La station 6, positionnée sur le point culminant des parcs est la dernière à être en contact avec les masses d'eau lors du flot. C'est de plus la station la plus au sud, donc potentiellement la plus exposée à l'influence des apports terrigènes.
- ☑ Les stations 3, 4 et 6 suivent le profil du chenal principal de remplissage. C'est donc la même masse d'eau qui recouvre ces trois points pendant le flot, permettant d'appréhender l'évolution temporelle des paramètres mesurés.

A terme, chacun de ces six points sera équipé d'un "Sensor TPS" destiné à évaluer les variations de la salinité au cours du flot. Pour le moment, seules 5 des 6 sondes du LCN sont en place sur le terrain, respectivement sur les points 1, 2, 3, 5 et 6. La dernière unité est conservée au laboratoire, prête à remplacer, sur le terrain, une sonde défectueuse.

Afin de bien refléter les conditions environnementales subies par les huîtres en élevage sur le site, les "Sensor" sont placés à l'intérieur d'une poche ostréicole.

1.1 Présentation des données

1.1.1 Données brutes

Lors du relevage du matériel, la récupération des données est rendue possible par l'intermédiaire du logiciel "WinMemo" fourni par la société MICREL avec le Sensor TPS. Un rapide traitement permet de disposer des résultats sous forme graphique (Figure 6).

L'interprétation de ces résultats bruts est délicate, du fait du caractère continu des enregistrements pendant tout le cycle de marée. Ainsi, en période de basse mer de vive-eau, le matériel est susceptible de passer un temps prolongé à l'air libre tout en poursuivant les enregistrements.

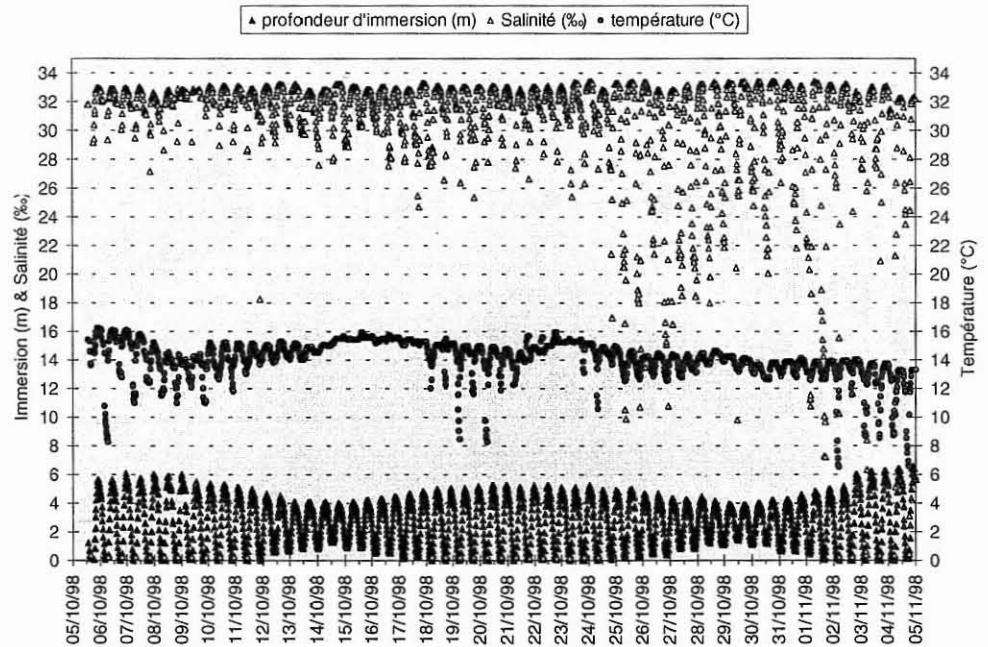


Figure 6 : Données brutes issues des mesures réalisées par les sondes multiparamétriques TPS

2.2.2 Données filtrées

Le protocole de filtrage et de validation des données fait l'objet d'un exposé détaillé présenté en annexe de ce rapport (Voir Annexe). Nous rappellerons pour mémoire que la détermination de la salinité, par mesure de la conductivité, nécessite obligatoirement que la sonde soit immergée. Dans le cas contraire, le "Sensor TPS" attribue une valeur de conductivité telle que le résultat de salinité est systématiquement inférieur à 0,8 ‰. De telles valeurs présentent un caractère tout à fait exceptionnel, voire jamais atteint, dans un milieu marin comme celui de la zone conchylicole, même placé sous forte influence estuarienne. De plus, dès l'instant où le "Sensor TPS" est découvert, durant la basse mer, le capteur de profondeur renvoie un signal constant, proche de zéro (des fluctuations de l'ordre du centimètre sont susceptibles d'intervenir en fonction des conditions barométriques environnementales). Dans ces conditions, les données mesurées à l'air sont identifiables à la double condition que : d'une part, la valeur de salinité enregistrée soit inférieure à 0,8 ‰ et d'autre part, la valeur de profondeur indiquée soit inférieure à 5 cm.

La Figure 7 illustre les résultats d'un filtrage des données de salinité selon les critères précisés ci-dessus. Ainsi, jusqu'au 11/10/98 (12h00), les coefficients de marée sont suffisamment importants pour provoquer l'émergence de la sonde. Par conséquent, le filtrage induit une rupture brutale dans la série de données représentée par l'absence de points sur la courbe de salinité. Au contraire, au-delà de cette date, les coefficients de marée plus faibles permettent une immersion de la sonde durant tout le cycle de marée. Il n'y a donc pas d'interruptions dans la série de données. A ce stade, il est intéressant d'observer l'influence importante du rythme tidal sur la variabilité de ce

paramètre. En effet, si à pleine mer, la salinité semble constante (comprise entre 32 et 33 ‰) des variations sensibles, de l'ordre de 2 à 4 ‰, sont susceptibles d'intervenir entre la fin du jusant et le début du flot.

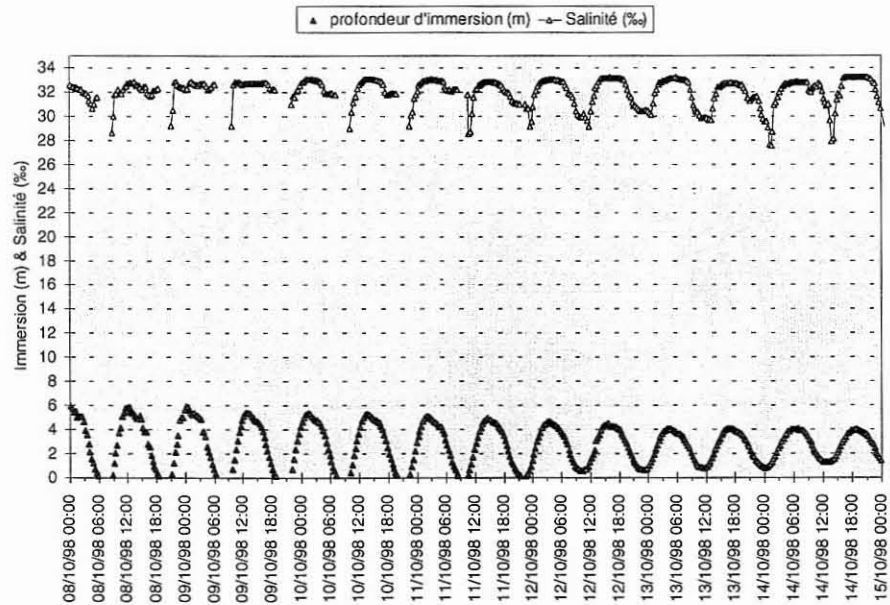


Figure 7 : Variations des paramètres de Salinité et d'Immersion sur le point 3 entre le 8 et le 15 octobre 1998

La Figure 8 illustre des mesures similaires effectuées sur le même point deux semaines plus tard. Les ruptures dans la série de données, liées à un fort coefficient, se retrouvent à partir du début du mois de novembre. Cette période se distingue de la précédente par l'amplitude des variations de salinité mesurées. En effet, que ce soit en période de morte-eau (29/10/98) ou de vive-eau (au-delà du 01/11/98) les données montrent des valeurs pouvant atteindre des niveaux particulièrement bas (2,5 ‰ le 03/11/98 à 17h26).

Au début du mois d'octobre (Figure 7), les variations de salinité étaient observées, au cours du cycle de marée, préférentiellement pendant les périodes de basse-mer. Au début du mois suivant (Figure 8), les écarts, qui ont considérablement augmenté, se partagent toujours entre la fin du jusant et le début du flot suivant. Cependant, on constate que si les écarts de salinité sont importants pendant le jusant, ceux-ci sont progressifs dans leur évolution temporelle. Par contre, le flot suivant se caractérise presque systématiquement par une diminution brutale traduisant un retour de masse d'eau saumâtre sur le point. Cette particularité est particulièrement visible en période de vive-eau où le premier contact entre les biomasses ostréicoles et la masse d'eau se fait dans des conditions extrêmes de dessalure.

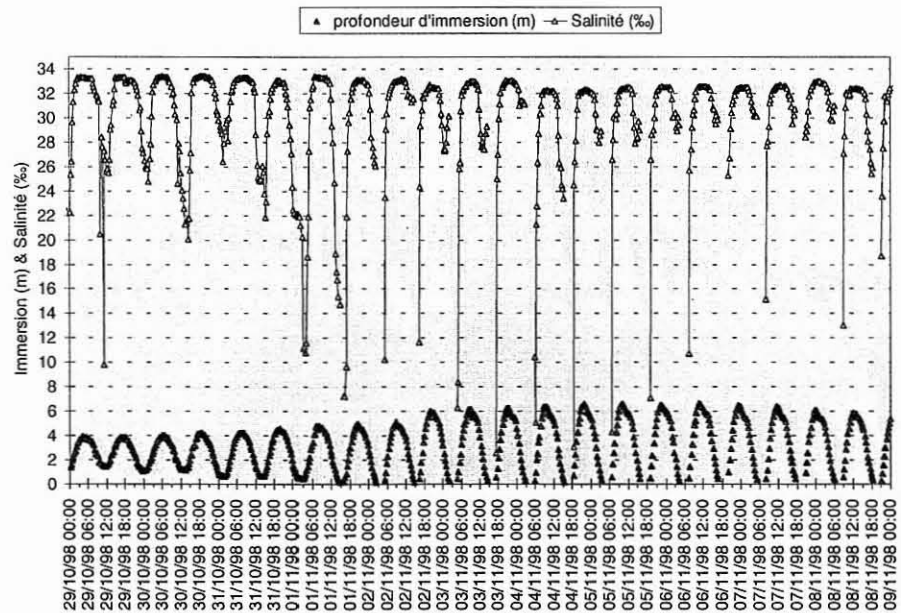


Figure 8 : Variations des paramètres de Salinité et d'Immersion sur le point 3 entre le 29 octobre et le 9 novembre 1998

2.2.3 Impact physiologique

L'élevage de l'huître japonaise en Baie des Veys date du début des années 70. La qualité de production ostréicole de ce site suggère que jusqu'à présent ce secteur, typiquement sous influence estuarienne, ait toujours été particulièrement bien approprié au développement de cette activité.

L'huître est reconnue comme présentant une grande tolérance vis-à-vis des conditions environnementales (Kinne, 1971 ; Sundaram & Syed Shafee, 1989 ; Gouletquer, 1997). L'huître japonaise (*Crassostrea gigas*) se développe dans des habitats présentant des salinités et des températures respectivement supérieures à 18‰ et 15°C (Chu et al., 1996). Elles sont toutefois susceptibles de pouvoir tolérer des températures de 35 °C et des salinités de 10 ‰ sur de courtes périodes (Mann *et al.*, 1991). Il n'en demeure pas moins que toutes fluctuations de ces conditions constituent pour l'animal une source de stress pouvant avoir des conséquences directes sur la qualité de la production (Abbe & Sanders, 1998). Peu de travaux portent spécifiquement sur *Crassostrea gigas*, cependant, ceux de Hutchinson et Hawkins (1992), sur *Ostrea edulis*, ont permis de quantifier ce stress à travers l'étude de l'effet de la température et de la salinité sur le bilan physiologique de l'huître. Le potentiel de croissance (Scope for Growth), bilan énergétique des processus de filtration, d'assimilation, de respiration et d'excrétion, est fonction de l'état physiologique de l'animal mais surtout des caractéristiques environnementales du milieu (charge sestonique, température et salinité). L'activité physiologique de l'huître est réduite en période hivernale du fait des températures basses. Cette particularité permet à l'animal de supporter des salinités basses. Au contraire, toujours pour des raisons

physiologiques, l'huître est beaucoup plus sensible aux dessalures si la température est élevée. De fortes températures combinées à de faibles salinités ne se rencontrent généralement pas. Toutefois, de telles conditions peuvent s'avérer létales à cours terme pour des huîtres exposées (Hutchinson & Hawkins, 1992). La raison essentielle, à cet effet léthal, tient du fait que l'huître doit concilier à la fois une stimulation de son métabolisme lié à la température élevée avec la nécessité de minimiser son exposition à la dessalure pour des raisons d'équilibre osmotique.

Cette contrainte nécessite, chez cet animal, un investissement énergétique en rapport avec la variation de salinité à compenser, et son adaptation présente des limites au-delà desquelles la survie de l'animal peut être compromise.

En Baie des Veys, des variations de salinité, comme celles qui ont été observées au début du mois d'octobre, sont courantes. Les huîtres y sont habituées et parfaitement adaptées. Par contre, celles qui sont survenues durant le mois de novembre sont plus importantes, et très vraisemblablement génératrices de stress physiologique chez les animaux (à cette période, la température de l'eau est encore supérieure à 10 °C). De plus, on peut penser que l'impact de ces dessalures est exacerbé lorsqu'elles interviennent en période de vive-eau, après plusieurs heures d'exondations. Il est possible de s'interroger sur l'impact physiologique provoqué chez *Crassostrea gigas* par de telles conditions, qui plus est, répétées lors de chaque marée et susceptibles de s'étaler dans le temps sur plusieurs heures. Dans quelles mesures un accroissement progressif des phénomènes de dessalures, au cours de ces dernières années, ne serait-il pas à l'origine d'un "épuiement" physiologique de l'animal (ce dernier devenant incapable de faire face à de telles variations environnementales qui prendraient un caractère léthal pour les individus les plus faibles ou possédant des réserves moindres) ?

3 Méthodologie de l'étude de la variabilité de la salinité en Baie des Veys

La station 3 est actuellement celle qui dispose de la plus longue série de données. Une sonde est en effet placée sur ce point depuis juin 1996. Les données de profondeur, de température et de salinité y ont été enregistrées selon une fréquence de 20 minutes jusqu'en mars 1999, réduite à 10 minutes depuis. Cela représente, pour ce seul point, un volume de mesures d'environ **120 000 enregistrements** des 5 paramètres (date, heure, profondeur, salinité, température) soit au total près de **650 000 données**. Parmi elles, seule la température avait, jusqu'à présent, bénéficié d'une exploitation approfondie du fait de la simplicité de son déterminisme saisonnier lié principalement à la température atmosphérique. Comme nous l'avons montré ci-dessus, le paramètre de salinité présente, quant à lui, une variabilité beaucoup plus complexe. Ses variations sont directement liées aux apports d'eau douce dans l'estuaire. Toutefois, l'examen rapide des données acquises (Figure 7 & Figure 8) montre que ces fluctuations répondent également aux particularités du cycle tidal. Il est également possible d'imaginer un effet important des facteurs climatiques locaux, en particulier du vent, susceptible d'être à l'origine d'une dérive des masses d'eau stagnantes en surface à l'ouverture de la baie. C'est donc sur ces deux aspects que notre attention s'est portée.

3.1 Critères d'étude des écarts de salinité

3.1.1 Dynamique de la salinité pendant le cycle de marée

Comme il a été signalé précédemment, les phénomènes de dessalure interviennent durant la période comprise entre la fin du jusant et le début du flot suivant.

En période de morte-eau, les fluctuations de salinité commencent à intervenir dès le début du jusant. La Figure 9 illustre bien cette particularité. Toutefois ces écarts sont lents et progressifs. Pendant cette période, les valeurs qui sont enregistrées se réduisent de 32,9 ‰ à 21,7 ‰ sur une période de 5 heures. Le flot suivant se caractérise, quant à lui, par une diminution soudaine de ce paramètre de 20 à 10 ‰ au cours des 20 premières minutes. Par la suite, la salinité se maintient à ce niveau pendant 60 minutes, puis au cours des 70 minutes suivantes retrouve une valeur supérieure à 30 ‰. Pendant un intervalle de temps de 2 heures 20 en début de flot, les huîtres ont donc été soumises à des écarts de salinité de plus de 20 ‰, ce qui représente un choc beaucoup plus significatif que l'écart observé en fin de jusant (10 ‰ pendant 5 heures).

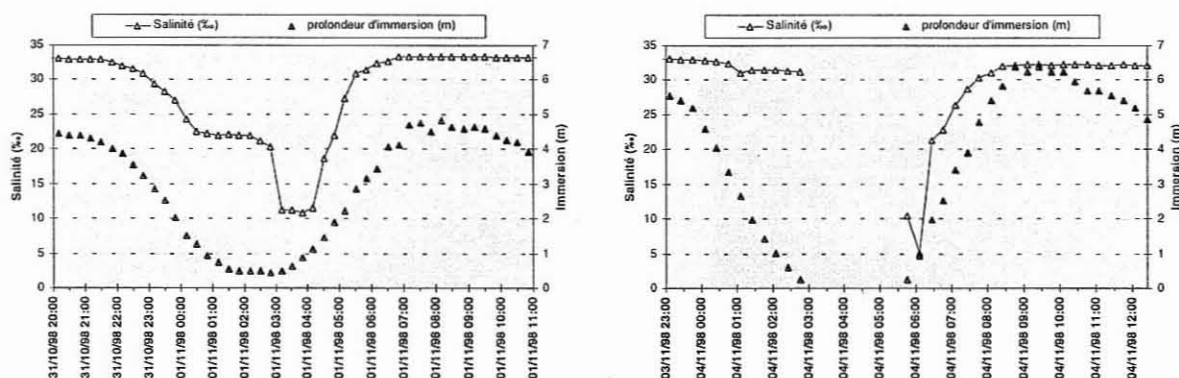


Figure 9 : détail des écarts de salinité observés en période de morte eau (1/1/98) et de vive eau (4/11/98)

Le schéma en période de vive-eau paraît encore plus important à l'image des fluctuations observées lors de la marée du 04/11/98. Lors de leur exondation, les huîtres baignaient dans une eau présentant une salinité supérieure à 30 ‰. Elles sont alors restées exondées entre 2h45 et 5h45, soit une durée de 3 heures. Lors du retour du flot, la première eau qui baignait les huîtres était à 10 ‰. Dans les 40 minutes qui ont suivies, elle chutait à 5 ‰ et remontait à plus de 20 ‰. Elle atteignait de nouveau une valeur supérieure à 30 ‰ à 7h46, soit deux heures après le début de l'immersion. Il est donc fortement probable que ces huîtres aient dû répondre à ces fluctuations par un effort physiologique accru ou par une fermeture hermétique de leurs valves empêchant ainsi le déroulement normal des fonctions physiologiques vitales de nutrition, de respiration et d'excrétion.

Il nous est donc apparu intéressant de focaliser notre attention sur la seule période du flot, susceptible de présenter les fluctuations les plus importantes. Ce choix permettait en plus de se dégager de la contrainte liée à l'éventualité d'une période d'exondation précédant les mesures (en coefficient de vive-eau), source d'une complexité accrue du problème. Par conséquent, nos analyses ont porté uniquement sur la période du flot comprise entre l'instant où les masses d'eau entrent en contact avec les huîtres et le moment où la salinité est maximum (peu de temps après la pleine-mer).

3.1.2 Critères d'évaluation du choc salin

Une exploitation préalable de plusieurs cycles de marée nous a permis de cibler deux critères essentiels permettant de caractériser le choc salin subi par les huîtres pendant le flot. D'une part, l'écart de salinité lui-même, d'autre part la durée de cette fluctuation.

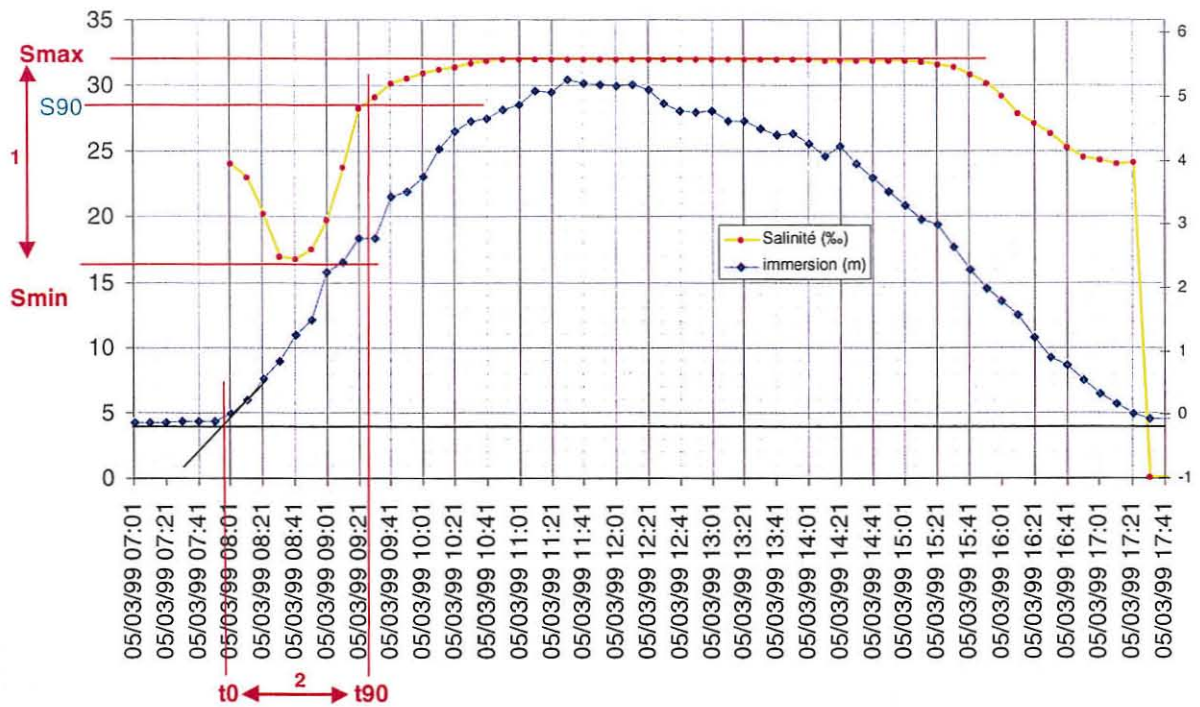


Figure 10 : Détail de la méthode d'évaluation des critères d'amplitude et de durée permettant de caractériser le choc salin subit par les biomasses ostréicoles

3.1.2.1 Amplitude de salinité

Ce critère est simple à déterminer. Nous le définirons par la différence (Δ_S) entre la salinité maximum (S_{max}) durant le cycle de marée, et la salinité minimum (S_{min}) mesurée. Toutefois, l'instant de la mesure de la valeur minimum de salinité ne coïncidant pas systématiquement avec le début du flot, lors du traitement informatique des données, nous avons pris la précaution de relever la valeur de temps correspondant à la mesure (t_{min}) afin de pouvoir évaluer un éventuel effet de décalage entre le début du flot et l'instant où la valeur minimum de dessalure est enregistrée.

3.1.2.2 Durée de la dessalure

La détermination précise de ce critère présente plus de difficulté pour deux raisons :

- ❖ D'une part, si l'instant de départ (T_0) est facile à identifier (par définition c'est le début du flot) l'instant de fin de dessalure est plus délicat à envisager. Considérer l'instant où la salinité devient maximum comme fin de la période n'est pas envisageable. Dans le cas illustré par la Figure 10, cet instant intervient 5 heures après le début du flot, alors qu'il est clair que la dessalure n'est réellement importante qu'au cours des 2 premières heures. Après analyse de différents cas de figures, notre choix s'est porté sur l'instant où la salinité atteint 90 % de la salinité maximum

(S_{90}), ce qui représente un écart maximum de 3,5 ‰ avec la valeur maximum enregistrée.

- ❖ D'autre part, la durée d'exposition à la dessalure peut être courte, inférieure à 1 heure. Dans ces conditions, l'erreur liée au pas d'échantillonnage (10 à 20 minutes) ne permet pas une estimation satisfaisante de la durée de la période considérée. Pour pallier à ce problème, le point de départ (t_0) est estimé, à la minute près, par régression linéaire entre les deux premières mesures de profondeur effectuées après immersion. L'instant précis d'arrêt de la période de dessalure (t_{90}) est estimé quant à lui, à partir de la courbe de salinité (également par régression linéaire entre les deux points de mesures encadrant la valeur estimée S_{90}).

3.2 Traitement informatique

3.2.1 Traitement des données de dessalure

Les critères de références déterminés, nous avons développé, sous Visual Basic, un programme informatique permettant le traitement en chaîne de l'ensemble des données à partir des fichiers bruts directement issus des "Sensor TPS". Nous ne présenterons pas le corps du programme ici, mais préciserons simplement la démarche envisagée. Il s'agit d'une méthode itérative permettant de traiter les données par cycle de marée. Les étapes importantes sont les suivantes :

- 1) Sélection d'une plage de données étendue sur 13 heures encadrant un cycle complet de marée
- 2) Détermination du type de marée (vive-eau ou morte eau) en fonction des critères combinés de profondeur minimum (< 5 cm) et de salinité (< 0,8 ‰ en morte-eau)
- 3) Détermination de la salinité maximum (S_{max}) durant le cycle et calcul du seuil 90 % (S_{90})
- 4) Calcul par interpolation linéaire de l'instant (t_{90}) où la salinité atteint S_{90}
- 5) Détermination de la valeur de salinité minimum (S_{min}) et recherche de l'instant (t_{min}) où S_{min} est atteint.
- 6) Détermination de l'heure exacte de début de flot (t_0) par interpolation linéaire en période de vive-eau et sur les critères de profondeurs en période de morte-eau.
- 7) Création d'un tableau de données synthétiques récapitulant l'ensemble des données pour chacune des marées.

Dans le cas où la salinité minimum (S_{min}) dépasse le seuil de 90 % de la salinité maximum (S_{90}), il est alors considéré que les fluctuations sont négligeables. La valeur 0 est alors attribuée à l'ensemble des paramètres de dessalures. Les résultats de ces traitements se présentent sous la forme suivante (Tableau 1) :

DONNEES MAREE			DONNEES SALINITE				DONNEES DESSALURE		
Heure Exacte début de flot	Heure Enregistr. Fin de flot	Hauteur d'eau à PM	Valeur mini. Salinité	heure Sal Min	Valeur maxi. Salinité	heure Sal 90% de Sal Maxi.	Amplitude de salinité	Tps pour atteindre Smin	Durée totale Variation Salinité
15/10/98 14:20	16/10/98 02:50	4.19	30.28	15/10/98 14:20	32.83	15/10/98 14:20	0.00	00:00	00:00
16/10/98 02:50	16/10/98 15:10	4.32	29.93	16/10/98 02:50	33.00	16/10/98 02:50	0.00	00:00	00:00
16/10/98 15:20	17/10/98 03:30	4.44	28.04	16/10/98 16:50	32.93	16/10/98 17:21	1.60	01:30	02:00
17/10/98 03:40	17/10/98 15:50	4.64	27.86	17/10/98 05:10	32.86	17/10/98 05:56	1.72	01:30	02:15
17/10/98 16:00	18/10/98 04:10	4.83	24.70	17/10/98 17:30	33.27	17/10/98 18:16	5.24	01:30	02:16
18/10/98 05:00	18/10/98 16:10	4.95	27.61	18/10/98 05:10	33.07	18/10/98 06:41	2.16	00:10	01:41
18/10/98 17:37	19/10/98 03:50	5.02	28.32	18/10/98 18:10	32.97	18/10/98 18:36	1.35	00:33	00:58
19/10/98 06:02	19/10/98 16:30	5.02	26.39	19/10/98 06:30	33.00	19/10/98 07:09	3.31	00:28	01:07
19/10/98 18:13	20/10/98 04:30	5.14	25.34	19/10/98 18:50	32.97	19/10/98 19:37	4.34	00:36	01:23
20/10/98 06:46	20/10/98 16:50	5.21	27.76	20/10/98 07:10	33.06	20/10/98 07:40	1.99	00:24	00:54
20/10/98 18:58	21/10/98 04:50	5.21	28.98	20/10/98 19:50	32.99	20/10/98 19:58	0.71	00:52	01:00
21/10/98 07:15	21/10/98 16:50	5.08	27.38	21/10/98 07:30	32.88	21/10/98 08:19	2.22	00:15	01:04
21/10/98 19:36	22/10/98 05:30	5.21	26.60	21/10/98 19:50	33.02	21/10/98 20:21	3.12	00:14	00:45
22/10/98 07:37	22/10/98 17:30	5.21	28.34	22/10/98 08:10	33.06	22/10/98 08:37	1.42	00:33	01:00
22/10/98 20:03	23/10/98 06:30	5.08	27.88	22/10/98 20:30	33.09	22/10/98 21:02	1.90	00:26	00:59
23/10/98 07:45	23/10/98 18:30	5.08	25.39	23/10/98 09:10	33.30	23/10/98 09:25	4.57	01:25	01:40
23/10/98 19:55	24/10/98 06:50	5.21	26.32	23/10/98 20:50	33.41	23/10/98 21:28	3.75	00:55	01:33
24/10/98 08:18	24/10/98 20:10	4.89	27.35	24/10/98 09:10	32.84	24/10/98 09:28	2.20	00:52	01:10
24/10/98 20:10	25/10/98 08:10	4.89	14.83	24/10/98 21:10	33.29	24/10/98 21:49	15.13	01:00	01:39
25/10/98 08:10	25/10/98 20:30	4.95	9.86	25/10/98 09:10	33.34	25/10/98 10:08	20.14	01:00	01:57
25/10/98 20:40	26/10/98 08:30	4.64	10.71	25/10/98 21:10	33.33	25/10/98 22:41	19.29	00:30	02:01
26/10/98 08:40	26/10/98 20:50	4.64	21.42	26/10/98 10:10	32.82	26/10/98 11:00	8.12	01:30	02:19
26/10/98 20:50	27/10/98 09:10	4.32	10.79	26/10/98 22:10	32.82	26/10/98 23:24	18.75	01:20	02:34
27/10/98 09:10	27/10/98 21:30	4.25	18.48	27/10/98 10:30	33.13	27/10/98 11:40	11.34	01:20	02:29
27/10/98 21:30	28/10/98 10:30	4.44	18.46	27/10/98 22:50	33.21	28/10/98 00:03	11.43	01:20	02:33
28/10/98 10:30	28/10/98 22:50	4.13	17.98	28/10/98 11:10	33.31	28/10/98 12:55	11.99	00:40	02:25
28/10/98 22:50	29/10/98 11:30	3.93	21.87	28/10/98 23:50	33.32	29/10/98 01:15	8.12	01:00	02:24
29/10/98 11:40	29/10/98 23:50	3.87	25.47	29/10/98 12:50	33.39	29/10/98 13:58	4.58	01:10	02:17
29/10/98 23:50	30/10/98 13:30	4.00	24.73	30/10/98 01:50	33.40	30/10/98 02:49	5.33	02:00	02:59
30/10/98 13:30	31/10/98 01:50	4.19	20.04	30/10/98 14:30	33.41	30/10/98 15:42	10.03	01:00	02:12
31/10/98 01:50	31/10/98 14:10	4.25	26.39	31/10/98 01:50	33.30	31/10/98 03:50	3.58	00:00	01:59
31/10/98 14:10	01/11/98 02:50	4.57	21.81	31/10/98 15:30	33.08	31/10/98 16:24	7.96	01:20	02:14
01/11/98 02:50	01/11/98 15:30	4.83	10.79	01/11/98 03:50	33.42	01/11/98 05:26	19.29	01:00	02:35
01/11/98 15:30	02/11/98 02:30	4.95	7.20	01/11/98 16:30	33.16	01/11/98 17:55	22.63	01:00	02:25
02/11/98 04:37	02/11/98 15:10	5.14	10.27	02/11/98 05:10	33.19	02/11/98 06:03	19.61	00:33	01:26
02/11/98 15:56	03/11/98 02:06	6.03	11.64	02/11/98 16:26	32.68	02/11/98 17:06	17.77	00:29	01:09
03/11/98 04:32	03/11/98 14:46	6.16	6.30	03/11/98 04:46	33.02	03/11/98 06:02	23.42	00:13	01:29
03/11/98 17:08	04/11/98 03:06	6.23	2.58	03/11/98 17:26	33.06	03/11/98 18:24	27.17	00:18	01:16
04/11/98 05:38	04/11/98 15:06	6.37	5.09	04/11/98 06:06	32.25	04/11/98 07:29	23.93	00:28	01:51
04/11/98 18:11	05/11/98 03:26	6.57	3.10	04/11/98 18:26	32.32	04/11/98 19:33	25.99	00:15	01:22
05/11/98 06:39	05/11/98 15:46	6.57	4.28	05/11/98 06:46	32.50	05/11/98 07:37	24.97	00:06	00:57
05/11/98 19:00	06/11/98 04:26	6.51	7.12	05/11/98 19:06	32.54	05/11/98 20:12	22.17	00:05	01:12
06/11/98 07:19	06/11/98 16:46	6.64	10.75	06/11/98 07:26	32.57	06/11/98 08:27	18.56	00:06	01:08
06/11/98 19:51	07/11/98 04:46	6.51	25.27	06/11/98 20:06	32.52	06/11/98 20:47	4.00	00:14	00:56
*	07/11/98 17:26	6.37	15.19	07/11/98 08:06	32.68	07/11/98 09:07	14.22	00:01	01:03
...

Tableau 1 : paramètres de dessalure déterminés pour chaque marée

Au total, pour le point 3 considéré, 2 300 cycles de marée ont fait l'objet de ce traitement pour la période comprise entre les mois de juin 1996 et mars 2000.

3.2.2 Traitement des données climatologiques

Un second programme informatique, sous Visual Basic, a également été développé pour traiter les données climatologiques obtenues auprès de METEO-FRANCE. Les paramètres retenus sont les suivants :



- 1) Vent moyen enregistré sur 10 minutes durant les trois heures qui précèdent la marée considérée (heure, direction, force).
- 2) Vent moyen maximum enregistré sur 10 minutes le jour de la marée considérée (heure, direction, force).
- 3) Rafale instantanée enregistrée le jour de la marée considérée (heure, direction, force).
- 4) Pluviométrie enregistrée le jour de la marée considérée.
- 5) Pluviométrie cumulée sur les 5 jours précédents la marée considérée.
- 6) Pluviométrie cumulée sur les 10 jours précédents la marée considérée (temps de réponse du bassin versant de la Baie des Veys).

Les résultats se présentent sous la forme suivante (Tableau 2) :

Date Marée	VENT Tri Horaire			VENT Maxi Moy			RAFALE Maxi instant.			PLUVIOMETRIE			
	Heure	Dir.	Vit.	Heure	Dir.	Vit.	Heure	Dir.	Vit.	Date	Jour	Cum. 5 J	Cum. 10 J
15/10/98 14:20	15/10/98 12:00	310	2	15/10/98 00:46	260	4	15/10/98 10:27	300	5	15/10/98	2	62	208
16/10/98 02:50	16/10/98 00:00	180	3	16/10/98 23:46	210	12	16/10/98 23:40	200	20	16/10/98	60	110	262
16/10/98 15:20	16/10/98 15:00	200	7	16/10/98 23:46	210	12	16/10/98 23:40	200	20	16/10/98	60	110	262
17/10/98 03:40	17/10/98 03:00	200	10	17/10/98 12:59	260	13	17/10/98 06:47	200	21	17/10/98	6	95	259
17/10/98 16:00	17/10/98 15:00	250	11	17/10/98 12:59	260	13	17/10/98 06:47	200	21	17/10/98	6	95	259
18/10/98 05:00	18/10/98 03:00	260	3	18/10/98 00:08	280	6	18/10/98 00:15	270	10	18/10/98	4	99	257
18/10/98 17:37	18/10/98 15:00	40	3	18/10/98 00:08	280	6	18/10/98 00:15	270	10	18/10/98	4	99	257
19/10/98 06:02	19/10/98 06:00	250	5	19/10/98 11:19	310	8	19/10/98 11:17	310	13	19/10/98	14	95	216
19/10/98 18:13	19/10/98 18:00	270	4	19/10/98 11:19	310	8	19/10/98 11:17	310	13	19/10/98	14	95	216
20/10/98 06:46	20/10/98 06:00	220	6	20/10/98 11:59	220	9	20/10/98 23:29	200	16	20/10/98	1	87	147
20/10/98 18:58	20/10/98 18:00	180	5	20/10/98 11:59	220	9	20/10/98 23:29	200	16	20/10/98	1	87	147
21/10/98 07:15	21/10/98 06:00	200	12	21/10/98 02:06	200	13	21/10/98 06:28	210	21	21/10/98	27	112	162
21/10/98 19:36	21/10/98 18:00	210	8	21/10/98 02:06	200	13	21/10/98 06:28	210	21	21/10/98	27	112	162
22/10/98 07:37	22/10/98 06:00	220	9	22/10/98 10:34	220	12	22/10/98 22:32	210	20	22/10/98	38	90	179
22/10/98 20:03	22/10/98 18:00	200	10	22/10/98 10:34	220	12	22/10/98 22:32	210	20	22/10/98	38	90	179
23/10/98 07:45	23/10/98 06:00	210	9	23/10/98 03:23	220	15	23/10/98 02:38	210	22	23/10/98	200	284	379
23/10/98 19:55	23/10/98 18:00	260	10	23/10/98 03:23	220	15	23/10/98 02:38	210	22	23/10/98	200	284	379
24/10/98 08:18	24/10/98 06:00	190	7	24/10/98 21:59	250	18	24/10/98 21:59	260	26	24/10/98	284	564	645
24/10/98 20:10	24/10/98 18:00	240	13	24/10/98 21:59	250	18	24/10/98 21:59	260	26	24/10/98	284	564	645
25/10/98 08:10	25/10/98 06:00	250	8	25/10/98 00:11	260	15	25/10/98 00:02	250	22	25/10/98	72	622	708
25/10/98 20:40	25/10/98 18:00	230	7	25/10/98 00:11	260	15	25/10/98 00:02	250	22	25/10/98	72	622	708
26/10/98 08:40	26/10/98 06:00	230	9	26/10/98 14:16	280	12	26/10/98 14:10	280	19	26/10/98	22	643	728
26/10/98 20:50	26/10/98 18:00	260	9	26/10/98 14:16	280	12	26/10/98 14:10	280	19	26/10/98	22	643	728
27/10/98 09:10	27/10/98 09:00	220	13	27/10/98 10:45	230	15	27/10/98 06:37	230	26	27/10/98	30	646	698
27/10/98 21:30	27/10/98 21:00	210	12	27/10/98 10:45	230	15	27/10/98 06:37	230	26	27/10/98	30	646	698
28/10/98 10:30	28/10/98 09:00	240	12	28/10/98 01:26	250	16	28/10/98 01:20	250	25	28/10/98	118	726	810
28/10/98 22:50	28/10/98 21:00	240	8	28/10/98 01:26	250	16	28/10/98 01:20	250	25	28/10/98	118	726	810
29/10/98 11:40	29/10/98 09:00	300	12	29/10/98 08:10	310	13	29/10/98 18:22	240	20	29/10/98	15	541	821
29/10/98 23:50	29/10/98 21:00	240	8	29/10/98 08:10	310	13	29/10/98 18:22	240	20	29/10/98	15	541	821
30/10/98 13:30	30/10/98 12:00	290	10	30/10/98 12:59	300	14	30/10/98 05:24	270	18	30/10/98	65	322	672
31/10/98 01:50	31/10/98 00:00	240	5	31/10/98 17:25	220	15	31/10/98 12:34	210	23	31/10/98	160	410	1031
31/10/98 14:10	31/10/98 12:00	220	13	31/10/98 17:25	220	15	31/10/98 12:34	210	23	31/10/98	160	410	1031
01/11/98 02:50	01/11/98 00:00	260	14	01/11/98 01:06	310	16	01/11/98 00:36	260	21	01/11/98	1	389	1005
01/11/98 15:30	01/11/98 15:00	280	4	01/11/98 01:06	310	16	01/11/98 00:36	260	21	01/11/98	1	389	1005
02/11/98 04:37	02/11/98 03:00	210	6	02/11/98 16:58	220	12	02/11/98 22:03	250	18	02/11/98	94	453	1061
02/11/98 15:56	02/11/98 15:00	190	6	02/11/98 16:58	220	12	02/11/98 22:03	250	18	02/11/98	94	453	1061
03/11/98 04:32	03/11/98 03:00	240	12	03/11/98 02:46	250	15	03/11/98 05:49	240	22	03/11/98	61	396	922
03/11/98 17:08	03/11/98 15:00	230	6	03/11/98 02:46	250	15	03/11/98 05:49	240	22	03/11/98	61	396	922
04/11/98 05:38	04/11/98 03:00	360	10	04/11/98 04:41	360	12	04/11/98 04:57	360	16	04/11/98	3	384	641
04/11/98 18:11	04/11/98 18:00	240	4	04/11/98 04:41	360	12	04/11/98 04:57	360	16	04/11/98	3	384	641
05/11/98 06:39	05/11/98 06:00	230	6	05/11/98 11:32	220	10	05/11/98 16:12	260	17	05/11/98	28	347	597
05/11/98 19:00	05/11/98 18:00	230	8	05/11/98 11:32	220	10	05/11/98 16:12	260	17	05/11/98	28	347	597
06/11/98 07:19	06/11/98 06:00	240	6	06/11/98 01:07	260	9	06/11/98 01:03	260	14	06/11/98	2	189	577
06/11/98 19:51	06/11/98 18:00	220	4	06/11/98 01:07	260	9	06/11/98 01:03	260	14	06/11/98	2	189	577
07/11/98 08:04	07/11/98 06:00	190	4	07/11/98 23:58	180	9	07/11/98 23:59	180	14	07/11/98	2	190	549
...

Tableau 2 : paramètres climatologiques déterminés pour chaque marée (source METEO-FRANCE).

Au total, seules 2 300 cycles de marée ont pu faire l'objet de ce traitement informatique, les données météorologiques du mois en cours n'étant pas encore disponibles au moment de l'analyse.



3.3 Analyse des données

L'importance qualitative et quantitative des matrices de données issues du traitement informatique précédent rend difficile l'utilisation de méthodes courantes d'analyses statistiques de données. Les techniques d'analyses multivariées, très bien appropriées à ce type de données, ont été préférées. De plus, ces tableaux de données constituent en eux-mêmes une longue série temporelle. C'est pourquoi, dans un premier temps, nous avons développé une approche analytique des dessalures basée sur une technique récente d'analyse de données, simple, efficace et peu utilisée : la méthode des sommes cumulées.

3.3.1 Méthode des sommes cumulées appliquées à l'analyse des séries chronologiques

La présentation de cette méthode récente est tirée des travaux d'Ibanez *et al.* (1993). Utilisée dans le domaine du contrôle industriel, cette méthode a été adaptée par cet auteur à l'analyse des séries chronologiques en océanographie. Pour établir des bilans, il est souvent utile de pouvoir dégager des tendances pluriannuelles et de reconnaître des intervalles de temps homogènes afin de les confronter aux variations observées dans l'environnement. La méthode présentée ici se propose de segmenter une série par la reconnaissance des tendances locales. De nombreuses techniques affichent un objectif similaire, mais elles sont souvent complexes et requièrent des conditions d'application contraignantes, souvent difficiles à respecter. L'intérêt de la méthode des sommes cumulées réside justement dans sa très grande simplicité et sa robustesse. Elle permet en outre de :

- 1) détecter les changements survenant dans le niveau moyen de la série,
- 2) déterminer la date d'apparition de ces changements,
- 3) estimer la valeur moyenne d'intervalles homogènes.

Notre série chronologique est constituée par les valeurs de dessalure $[x(t)]$, " t " représentant le temps en jours/heure variant de 1 à N (N = 1870). Nous choisissons une valeur de référence " k " correspondant à la dessalure moyenne observée entre juin 1996 et juin 1997 (considérant cette période comme référence initiale). La méthode consiste à centrer les valeurs $[x(t)]$ sur " k " puis à les cumuler progressivement ($k = 2,78$). D'où :

$$S_p = \sum_i^p x_i - pk$$

Les sommes cumulées sont très sensibles au changement de la valeur moyenne d'une série, même si cette dernière n'est pas visible sur la série originelle. Si l'on considère le diagramme des sommes cumulées (S_p) en fonction de " t ", toute modification de la moyenne se traduit par une rupture de pente tout à fait identifiable. Une propriété intéressante du graphique des sommes cumulées est que toute moyenne locale se déduit de la pente de la courbe. Soit deux points de

coordonnées (i, S_i) et (j, S_j) , limites inférieure et supérieure d'une séquence homogène de la courbe des sommes cumulées. Par définition la pente sera égale à :

$$p = \frac{S_j - S_i}{n} \quad \text{avec} \quad n = j - i$$

Ibanez (1993) démontre alors que la moyenne locale, entre deux points distants de n , est égale à la pente du graphique des sommes cumulées plus la valeur de référence choisie. D'où :

$$\text{si} \quad p = \frac{S_j - S_i}{n} \quad \text{alors} \quad \bar{x}_{ij} = p + k$$

Si des valeurs successives de la série sont égales au seuil k , la courbe des sommes cumulées sera horizontale, si elles sont inférieures, la pente sera négative, et inversement si elles sont supérieures à k . S'il existe une forte valeur erratique (un grand pic ou un grand creux), cela se traduira également par une forte anomalie sur la courbe des sommes cumulées. Par contre, les alternances de faible amplitude seront atténuées.

3.3.2 Analyses multivariées

Les techniques d'analyses multivariées sont beaucoup plus anciennes, et très largement utilisées actuellement. De nombreux ouvrages présentent ces méthodes qui ne feront pas l'objet d'une description détaillée ici. Rappelons cependant brièvement que ces techniques ont été développées pour permettre l'analyse de grands tableaux de données à double entrée caractérisant un "objet" (un cycle de marée dans notre cas) par un grand nombre de "variables" (dessalure, durée, vent, pluviométrie...). Parmi les différentes techniques à notre disposition, c'est l'analyse en composante principale qui a été choisie, la mieux adaptée aux données à analyser.

Cette technique présente l'avantage de synthétiser sous forme graphique l'ensemble des relations liant les différentes variables et objets de la matrice de données. Dans notre cas, l'objectif est de déterminer les éventuelles corrélations existantes entre l'apparition des phénomènes de dessalure et les différentes variables environnementales (coefficient de marée, durée de dessalure, variables temporelles et climatologiques).

4 Résultats

4.1 Variabilité temporelle des phénomènes de dessalure

4.1.1 Données brutes

Les valeurs extrêmes d'écart de salinité (Δ_S) supérieures à 24 ‰ ont été atteintes en 1998 (janvier, avril, novembre), en 1999 (janvier, février, mars), ainsi qu'en décembre 1999, lors du passage des deux dépressions qui ont marquées cet hiver (Figure 11). Sur les quatre années de suivi, les périodes hivernales présentent systématiquement des écarts importants, au contraire des périodes estivales. Ces particularités sont en accord avec le cycle saisonnier des apports d'eau douce dans l'estuaire. Il est en effet logique que la période d'étiage corresponde également à une phase d'équilibre hydrologique des eaux de la baie.

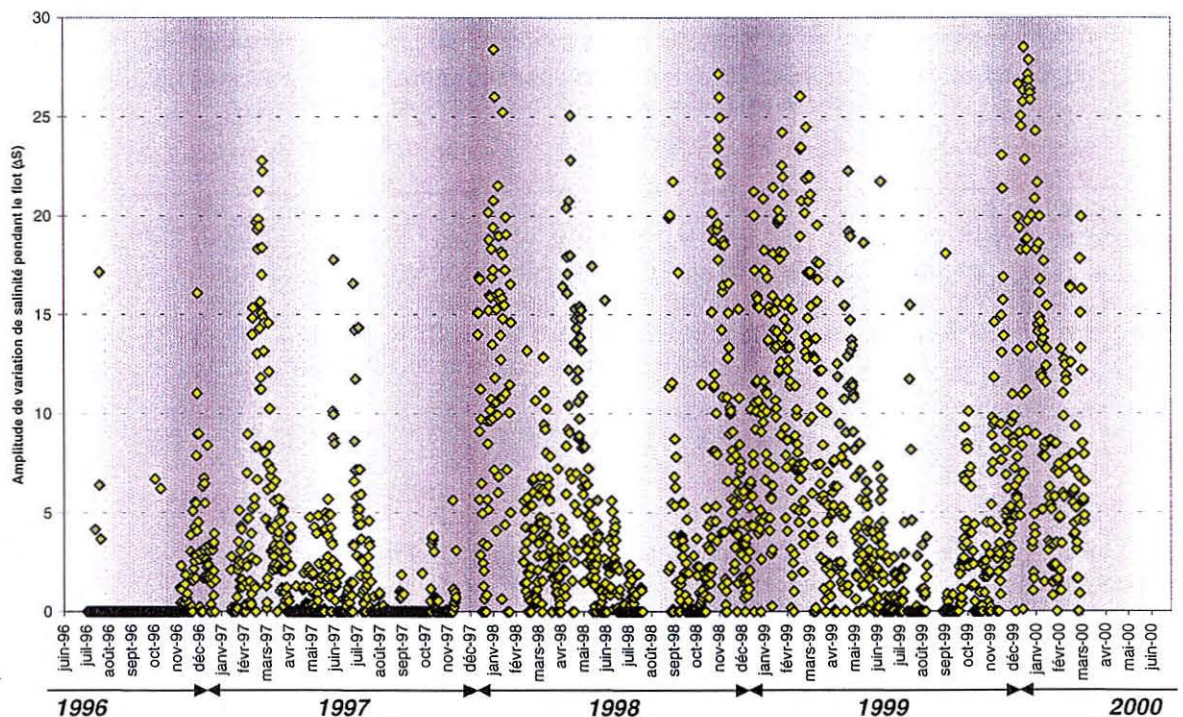


Figure 11 : Evolution temporelle des écarts de salinité (Δ_S) observés pour chaque cycle de marée entre juin 1996 et mars 2000

Les deux premières années (1996, 1997) se caractérisent également par l'existence de périodes consécutives durant lesquelles les valeurs sont nulles, traduisant l'absence d'épisode de dessalure. Cette particularité apparaît

particulièrement bien au début du suivi (juin 1996 – octobre 1997). Cette tendance tend à disparaître à partir de 1998.

Sur l'ensemble des quatre années, la valeur moyenne des écarts de salinité, lors de l'apparition des dessalures, est de 6,46 ‰ ($\pm 6,22$) (Tableau 3). La forte valeur de l'écart type traduit le caractère chaotique du phénomène. Durant cette période, seul un tiers des cycles de marée ne présente pas de dessalure. Il s'agit donc d'un phénomène qui n'a pas un caractère inhabituel pour la zone conchylicole. 85 % des marées présentent une fluctuation de salinité (ΔS) comprise entre 0 et 10 ‰ et seulement 2,4 % présentent un (ΔS) supérieur à 20 ‰.

ΔS			T_{min}			T_{90}		
> 20 ‰	2.9%	2.9%	> 2 h	2.0%	2.0%	> 3 h	2.9%	2.9%
15 - 20 ‰	5.6%	8.5%	1 h - 2 h	18.1%	20.2%	1 h - 3 h	16.1%	19.0%
10 - 15 ‰	6.9%	15.4%	30 min - 1 h	14.6%	34.8%	1 h - 2 h	27.2%	46.2%
5 - 10 ‰	13.6%	29.0%	15 min - 30 min	14.8%	49.5%	30 min - 1 h	15.1%	61.4%
0 - 5 ‰	36.6%	65.6%	5 min - 15 min	11.8%	61.3%	15 min - 30 min	3.3%	64.6%
0 ‰	34.4%	100.0%	< 5 min	38.7%	100.0%	< 15 min	35.4%	100.0%
minimum	0.00		minimum	0:00		minimum	0:06	
maximum	28.51		maximum	4:40		maximum	4:46	
moyenne	6.46 (± 6.22)		moyenne	0:45 ($\pm 0:39$)		moyenne	1:33 ($\pm 0:49$)	

Tableau 3 : Paramètres statistiques de base pour les critères de dessalures : ΔS (estimé sur l'ensemble de la série), T_{min} , T_{90} (estimés uniquement sur les périodes de dessalure)

En terme de temps, la valeur minimum de salinité est atteinte en moyenne 45 minutes (± 39 min) après le début du flot dans une gamme de temps comprise entre 0 (valeur minimum dès le début du flot) et 4h40 (Tableau 3). Le temps moyen mis par la masse d'eau pour retrouver son équilibre (t_{90}) sur l'ensemble de la série est de 1h33 (± 49 min). Cette période durant laquelle les huîtres sont soumises à la dessalure peut atteindre 4h46.

4.1.2 Tendances pluriannuelles

Le diagramme des sommes cumulées (Figure 12), réalisé à partir des données de dessalure sur l'ensemble de la série fait particulièrement bien ressortir l'existence de périodes successives caractérisées par des tendances linéaires homogènes. Les pentes de ces périodes permettent de déterminer les écarts moyens de salinité (ΔS) pour chacune d'elles. Plusieurs caractéristiques se dégagent de cette analyse :

- 1) La dernière moitié de l'année 1996 se caractérise par une pente faible, traduisant des écarts de salinité réduits, estimés à 0,96 ‰. Cette situation se maintient jusqu'au mois de janvier 1997.
- 2) A partir de février 1997, une rupture brutale fait apparaître une nouvelle tendance homogène s'étalant sur environ deux mois. Les écarts de salinité (ΔS) estimés durant cette période sont de 18,1 ‰.

- 3) Dès le mois d'avril 1997, une nouvelle rupture de pente se produit. La tendance locale horizontale permet de mettre en évidence une disparition soudaine des phénomènes de dessalures qui se limitent en moyenne à 1,46 ‰. Cette situation se maintient jusqu'au mois de novembre.

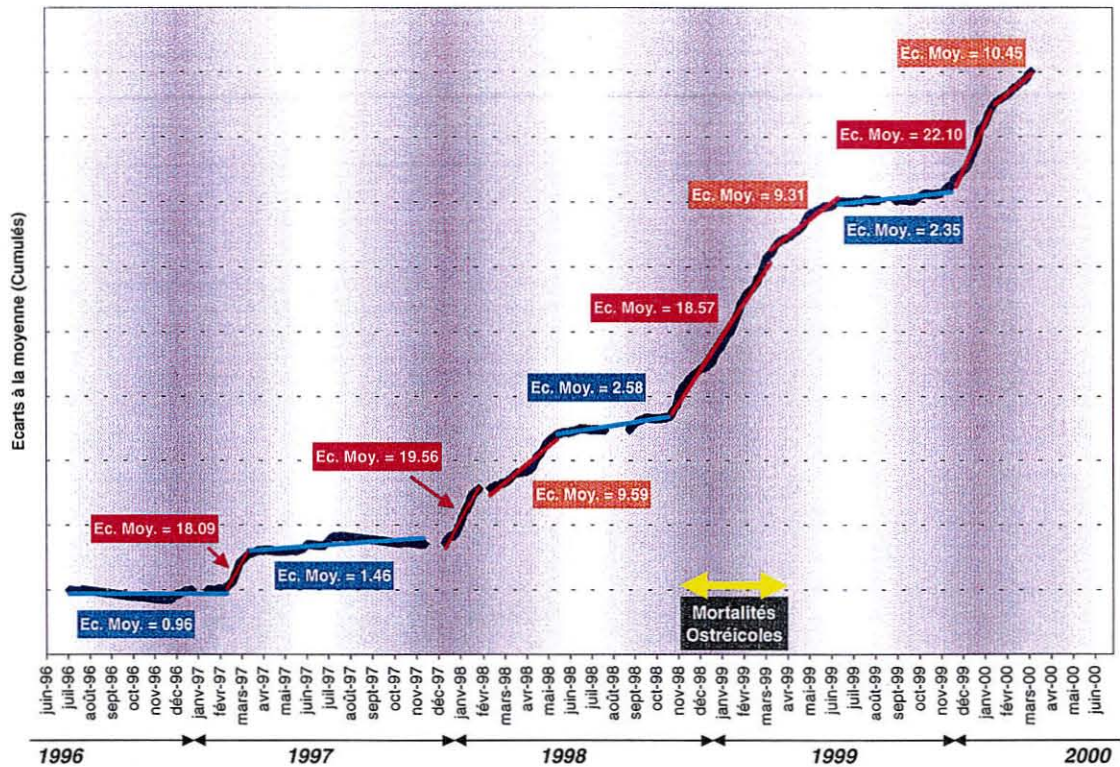


Figure 12 : Diagramme des sommes cumulées des écarts de dessalure pour la série de données comprise entre juin 1996 et mars 2000. Les écarts moyens signalés sont estimés à partir de la pente des tendances locales linéaires.

- 4) Dès le mois de décembre, une nouvelle période de fortes dessalures apparaît. Elle présente des écarts moyens (Δ_S) de l'ordre de 19,56 ‰ jusqu'au mois de février 1998. Cette situation est tout à fait comparable à celle observée l'année précédente à la même époque.
- 5) Le mois de mars 1998 est l'occasion d'observer une anomalie dans la structure de la courbe. En effet, contrairement à l'année précédente la tendance locale conserve une pente élevée. Les périodes de dessalure se sont prolongées dans le temps jusqu'au mois de mai. Les valeurs de Δ_S , bien qu'inférieures à celles rencontrées durant l'hiver, conservent des valeurs élevées (9,59 ‰)
- 6) Ce n'est qu'à partir du mois de mai que les dessalures retrouvent les niveaux qu'elles présentaient en 1996 et 1997. La pente de la tendance locale reprend son aspect habituel pour la période estivale. Toutefois, on

peut noter que les valeurs d'écart (Δ_S), bien que réduites (2,58 ‰), sont supérieures à celles des années précédentes.

- 7) Dès le mois d'octobre 1998 une nouvelle rupture de pente signale le retour précoce des phénomènes de dessalure sur les parcs conchylicoles. Les valeurs observées ($\Delta_S = 18,57$ ‰) sont du niveau de celles observées lors des deux hivers précédents (janvier 1997 et janvier 1998). En 1998, c'est donc avec plus de 3 mois d'avance, par rapport à 1997, que ces dessalures apparaissent. Cette particularité est d'autant plus marquée qu'elle se prolonge longtemps jusqu'au mois de mars 1999 et même au-delà.
- 8) En effet, une situation intermédiaire ($\Delta_S \sim 10$ ‰), analogue à celle de l'année 1998, se met en place. Elle prolonge pendant près de 2 mois les observations de dessalures importantes sur les parcs.
- 9) Ce n'est qu'en juin 1999 que la situation se stabilise autour de dessalures faibles de l'ordre de 2.4 ‰, situation habituelle pour la période estivale. Cette situation se maintient jusqu'au mois de novembre 1999.
- 10) Dès le mois de décembre 1999, une nouvelle période de fortes dessalures apparaît. Les écarts observés sont les plus importants des 4 dernières années ($\Delta_S = 22.1$ ‰). Cette particularité peut trouver son origine dans le passage successif des deux violentes dépressions qui ont marquées le mois de décembre 1999. Ces conditions climatiques particulières ont engendré dans la région des crues ayant un caractère exceptionnel. Mais, contrairement à l'hiver 1998/1999, cette situation ne se prolonge pas dans le temps.
- 11) Dès le mois de janvier 2000, l'amplitude des dessalures se réduit sensiblement pour se situer à des niveaux intermédiaires ($\Delta_S = 10.4$ ‰). Comme les deux années précédentes, une situation transitoire de dessalures moyennes apparaît en fin de période hivernale

En conclusion, quelques particularités essentielles ont pu être mises en évidence par cette analyse :

- D'une part, le cycle annuel des dessalures se décompose en deux phases différentes, bien marquées, liées au rythme saisonnier. En période estivale les fluctuations de la salinité au cours du flot sont faibles, de l'ordre de 1 à 3 ‰. Au contraire des fluctuations importantes sont susceptibles d'apparaître pendant l'hiver (Δ_S compris entre 18 et 22 ‰) sur des périodes plus courtes (1 à 2 mois).
- D'autre part, si cette dualité d'amplitude entre la période estivale et hivernale se retrouve chaque année, il est intéressant d'observer que sur l'ensemble de la période concernée (4 ans), les écarts moyens de dessalures (Δ_S) présentent une légère tendance à l'augmentation, que ce soit en période estivale ou hivernale. Toutefois, cette observation doit être relativisée du fait du peu de recul dont on dispose.
- De plus, en regard des résultats obtenus sur l'ensemble de la période, l'apparition d'une nette anomalie au cours du début de l'année 1998 est

montrée. Les dessalures hivernales, bien que moindres en amplitude, se sont prolongées anormalement durant une période de 3 mois jusqu'en mai 1998. Cette anomalie s'est répétée de manière amplifiée en 1999, et elle est toujours présente en 2000. Cette persistance, sur 3 ans, tendrait à lui donner aujourd'hui un certain caractère de normalité dans le cycle saisonnier des dessalures observées en Baie des Veys. Ce cycle se décomposerait donc en 3 périodes, fortes et faibles dessalures, séparées par une période intermédiaire d'écart moyens de salinité.

- Enfin, entre 1996 et 1998, une tendance à l'augmentation de la durée des périodes de fortes dessalures apparaît nettement. En effet, en 1996/1997, elles se sont établies sur une durée de moins de 1 mois. L'année suivante (1997/1998), elles ont duré plus de deux mois, prolongées dans le temps par l'apparition de la période intermédiaire ($\Delta S \sim 10 \text{ ‰}$) jusqu'au mois de mai 1999. Mais c'est durant l'hiver 1998/1999 que la durée est la plus importante. Apparues avec 3 mois d'avance (octobre 1998), elles se sont étalées jusqu'en mars 1999 (soit 6 mois) allant même jusqu'à 9 mois (juin 1999) si l'on y intègre les dessalures moyennes (période intermédiaire).

En tout état de cause, lors de l'apparition brutale de l'épisode de mortalité ostréicole de l'hiver 1998/1999, nous mettons clairement en évidence un contexte environnemental tout à fait particulier, caractérisé à la fois par de fortes amplitudes de dessalures pendant le flot, et une prolongation inhabituelle dans le temps du phénomène.

L'absence de mortalités ostréicoles au cours de l'hiver 1999/2000 (alors que les amplitudes de dessalures étaient plus importantes que l'année précédente) tend à montrer que c'est probablement l'effet cumulé de l'amplitude de dessalure et de la durée dans le temps qui pourrait être à mettre en relation avec l'apparition de mortalités massives dans le cheptel ostréicole de la Baie des Veys.

4.2 Influence des facteurs climatiques

4.2.1 Mise en forme des données

Le traitement et l'analyse des données au moyen de l'outil multivarié nécessite au préalable, après vérification, leur mise au format adapté au logiciel utilisé. Dans notre cas, les Analyses en Composante Principale (ACP) ont été réalisées avec l'aide du logiciel STATlab[®].

4.2.1.1 Données hydrologiques

Concernant les données hydrologiques, seuls les paramètres temporels de date et de durée ont nécessité d'être modifiés. Pour faciliter le traitement mathématique de la matrice de données, toutes les valeurs de dates ont été converties en format alphanumérique. Les variables de durée (T_{min} , T_{90}) ont fait l'objet d'une conversion au format décimal, et deux nouvelles variables ont été créées représentant respectivement le mois et l'année. Toutes les autres variables (S_{min} , S_{max} , ΔS , hauteur d'eau à pleine mer...) n'ont fait l'objet d'aucune modification.

4.2.1.2 Données climatologiques

Le caractère quantitatif des données relatives à la pluviométrie et la force du vent nous a permis de les conserver telles qu'elles étaient. Ce n'est pas le cas des directions des vents. Exprimée en degré, variant de 0 à 360, la direction d'un vent est une variable qualitative qui nécessite souvent une transformation si l'on cherche à l'exploiter dans le cadre de traitements mathématiques. Utilisées telles quelles, ces données risquent d'induire un biais important du fait de la différence mathématique entre les deux extrêmes (0 et 360°) alors que leur signification environnementale est la même. Plusieurs techniques peuvent être développées pour pallier cet effet. Une bonne connaissance environnementale peut permettre de reconnaître, *a priori*, les directions de vent ayant une influence importante sur le processus étudié de celles qui n'en ont pas. Dès lors, une notation binaire peut être employée afin de caractériser les directions choisies et de rejeter les autres. Cette technique simple et rapide présente néanmoins l'inconvénient d'écartier une quantité d'informations importante, avec un risque accru de délaissier un processus non connu. Nous avons donc préféré une autre méthode, un peu plus complexe, qui présente cependant l'avantage de limiter la perte d'informations.

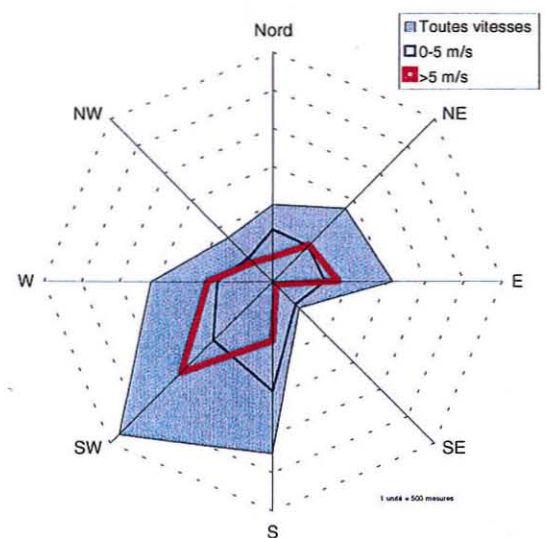


Figure 13 : Rose des vents réalisée à partir de l'ensemble des données trihoraires sur la période allant de juin 1996 à janvier 2000 (12 000 données).

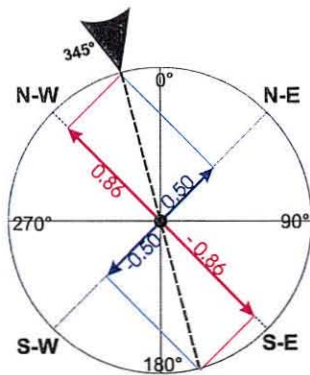


Figure 14 : expression d'un vent d'orientation 345° selon ses quatre composantes nord-ouest (0,86), nord-est (0,50), sud-est (-0,86) et sud-ouest (-0,5).

Le principe repose sur une approche vectorielle. Une direction peut être repérée, dans l'espace, selon deux composantes projetées sur les axes directeurs des vents dominants. Ainsi, dans le cas de la Baie des Veys (Figure 13), ces derniers présentent une orientation nord-est, en particulier pour ce qui concerne les vents forts. Cette particularité est d'autant plus intéressante que c'est également l'axe directeur de la baie, dont l'ouverture est orientée dans cette même direction.

Nous avons donc choisi d'exprimer ces orientations de vents, pour chacun des cycles de marée considérés, par leurs projections vectorielles sur deux axes trigonométriques orientés nord-est / sud-ouest et nord-ouest / sud-est. Cette technique présente l'avantage de pouvoir exprimer la totalité des directions de vent en leur attribuant des coefficients trigonométriques relatifs à leurs composantes selon les axes directeurs considérés (Figure 14). Cette démarche a été développée dans les quatre directions.

De plus, cette méthode permet d'attribuer, pour chaque composante déterminée, un poids proportionnel à la vitesse (produit de la composante par la vitesse) et ainsi d'exprimer à la fois la direction et la force du vent par l'intermédiaire d'une seule variable.

Si cette technique de décomposition du vent selon les 4 directions a l'avantage de pouvoir transformer ces données en variable quantitative, elle présente cependant une contrainte importante lors de son application dans le cadre d'analyses multivariées. En effet, pour un axe de vent donné (e.g. nord), le résultat se traduit par deux composantes opposées (nord et sud) parfaitement corrélées négativement. Le résultat se traduit par une opposition systématique des directions de vents complémentaires. Cette particularité connue, il convient donc d'en tenir compte lors de l'interprétation des résultats issus de l'ACP.

Dans le cadre de notre analyse, seules les directions principales (N,E,S,W) ont été retenues. Toutefois, les composantes de vent selon les axes directeurs intermédiaires (NE, SE, SW, NW) ont également été déterminées. Ces composantes intermédiaires n'ont toutefois pas été intégrées directement dans l'analyse, mais considéré comme variables supplémentaires. Cette précaution, limitant l'autocorrélation dans les calculs, permet cependant d'apporter des informations supplémentaires quant aux projections des variables sur les différents plans factoriels.

4.2.2 Paramètres retenus

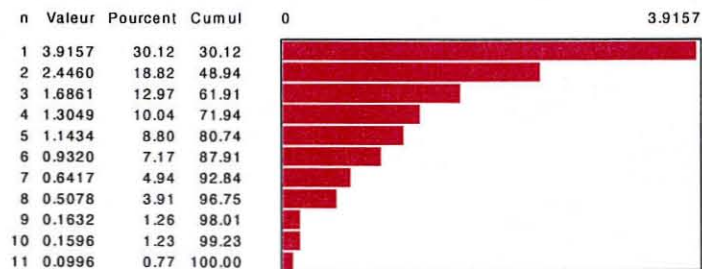
Les paramètres suivants ont été inclus dans le tableau de données destiné à l'ACP :

	Paramètres	Signification	Code ACP
Var. Principales	▪ Hauteur d'eau à PM	– Fonction du coefficient de marée	HTPM
	▪ Critères de dessalure	– Salinité minimum observée pendant le flot	SMIN
		– Salinité maximum atteinte lors de la marée	SMAX
		– Amplitude de la variation de salinité	DS
	▪ Critères temporels	– Durée écoulée entre le début du flot et l'instant de SMIN	TMIN
		– Durée totale de la variation de salinité	T90
	▪ Pluviométrie	– Valeur enregistrée le jour de la marée	PLUV1
		– Valeur cumulée durant les 5 jours précédents la marée	PLUV5
		– Valeur cumulée durant les 10 jours précédents la marée	PLUV10
	▪ Vent (principal)	– Composante nord x force	N
– Composante est x force		E	
– Composante sud x force		S	
– Composante ouest x force		W	
Var. Suppl.	▪ Vent (secondaire)	– Composante nord-est x force	NE
		– Composante sud-est x force	SE
		– Composante sud-ouest x force	SW
		– Composante nord-ouest x force	NW

Tableau 4 : Tableau descriptif des différents critères hydrologiques et climatologiques utilisés dans l'étude multivariée des dessalures apparues en Baie des Veys entre 1996 et 1999.

4.2.3 Résultats de l'analyse en composante principale

Les quatre premières composantes permettent d'expliquer près de 72 % de la variance totale de la matrice de données, dont plus de 30 % pour le seul premier axe (Figure 15).



Variance totale = 13

Figure 15 : Histogramme des valeurs propres pour chacune des 13 composantes de l'ACP

4.2.4 Comportement des variables environnementales

4.2.4.1 Analyses des caractéristiques factorielles

	Qlt	Poids	Inr	Axe :1			Axe :2			Axe :3			Axe :4		
				Coord	Cor	Ctr	Coord	Cor	Ctr	Coord	Cor	Ctr	Coord	Cor	Ctr
HTPM	0.610	1.000	0.077	-0.136	0.018	0.005	-0.113	0.013	0.005	-0.236	0.056	0.033	-0.723	0.523	0.401
SMIN	0.757	1.000	0.077	-0.661	0.436	0.111	-0.427	0.183	0.075	-0.008	0.000	0.000	0.372	0.138	0.106
SMAx	0.351	1.000	0.077	-0.336	0.113	0.029	-0.307	0.094	0.039	-0.377	0.142	0.084	-0.048	0.002	0.002
DS	0.787	1.000	0.077	0.644	0.415	0.106	0.440	0.193	0.079	-0.021	0.000	0.000	-0.422	0.178	0.136
TMIN	0.704	1.000	0.077	0.481	0.231	0.059	0.453	0.205	0.084	0.243	0.059	0.035	0.456	0.208	0.159
T90	0.836	1.000	0.077	0.659	0.435	0.111	0.552	0.305	0.125	0.207	0.043	0.025	0.232	0.054	0.041
PLUV1	0.561	1.000	0.077	0.413	0.171	0.044	-0.267	0.071	0.029	-0.512	0.262	0.156	0.238	0.057	0.044
PLUV5	0.837	1.000	0.077	0.643	0.414	0.106	-0.040	0.002	0.001	-0.631	0.398	0.236	0.151	0.023	0.017
PLUV10	0.818	1.000	0.077	0.628	0.395	0.101	0.014	0.000	0.000	-0.649	0.422	0.250	0.040	0.002	0.001
N	0.791	1.000	0.077	-0.435	0.189	0.048	0.747	0.558	0.228	-0.174	0.030	0.018	-0.116	0.014	0.010
E	0.755	1.000	0.077	-0.675	0.455	0.116	0.363	0.132	0.054	-0.349	0.122	0.072	0.215	0.046	0.036
S	0.791	1.000	0.077	0.435	0.189	0.048	-0.747	0.558	0.228	0.174	0.030	0.018	0.116	0.014	0.010
W	0.755	1.000	0.077	0.675	0.455	0.116	-0.363	0.132	0.054	0.349	0.122	0.072	-0.215	0.046	0.036

Tableau 5 Caractéristiques des facteurs pour les différentes variables principales ("Qlt" : Qualité de la représentation factorielle ; "Coord" : Coordonnées sur l'axe factoriel ; "Cor" : corrélation entre la variable et l'axe factoriel ; "Ctr" : contribution de la variable à la détermination de l'axe factoriel). Les valeurs principales apparaissent en vert (positif) et rouge (négatif). Les critères de qualifications retenus sont 1) somme des contributions les plus fortes supérieures au seuil de 80 %, 2) corrélation supérieure au seuil 0,09. Les variables n'entrant pas dans ces critères sont laissées en bleu.

D'un point de vue qualitatif, sur l'ensemble des treize variables retenues, trois présentent un indice de qualité (Qlt) supérieur à 0,8 (Tableau 5). Il s'agit de T90, PLUV5 et PLUV10 qui représentent respectivement la durée de dessalure et la pluviométrie cumulée 5 et 10 jours avant la marée considérée. On remarquera qu'immédiatement après, se sont les variables caractérisant les vents (N,E,S,W) et l'amplitude de dessalure (DS) qui sont les mieux représentées dans l'analyse.

Le premier axe factoriel, avec plus de 30,1 % d'explication de la variance, se caractérise par une forte opposition entre SMIN (dans la partie négative de l'axe), et les critères d'amplitude et de durée de la dessalure (DS et T90 dans la partie positive). Ce résultat est logique étant donné que des valeurs élevées de Smin traduisent une dessalure réduite et souvent limitée dans le temps.

Sur ce même axe, les critères de dessalure (DS, T90) sont associés d'une part à la pluviométrie cumulée sur 5 et 10 jours (PLUV5, PLUV10), et d'autre part aux vents de secteur ouest (W). L'apparition des dessalures est donc à mettre en relation directe avec la combinaison de vents d'ouest et la pluviométrie des jours précédents.

Au contraire, l'opposition des vents de secteur Est aux variables de dessalure indique clairement que ces vents ne favorisent pas l'apparition de lentille d'eau douce pendant le flot. Cette particularité est confirmée par l'association entre Smin et les vents d'est, ces derniers favorisant donc une valeur élevée de Smin.

On retrouve sur le deuxième axe (18,8 %) les critères de durée et d'amplitude de dessalure (T90, TMIN et DS) associés, cette fois, aux vents de secteur nord (N). La différence essentielle avec l'axe 1 vient de la corrélation entre les vents de Nord et la variable TMIN. Les vents de nord contribuent, d'une part, à retarder l'instant où la masse d'eau présente la valeur minimum de la salinité, et d'autre

part, à prolonger la durée de l'exposition à la dessalure. La pluviométrie du jour (PLUV1), bien que moins bien représenté sur cet axe, contribuerait à l'effet inverse par son opposition. Cette dernière observation peut s'expliquer par une dilution accrue de la couche superficielle de la masse d'eau. Cette couche baigne la sonde TPS en début de flot, induisant des valeurs de dessalure importantes. Ces dernières sont ensuite rapidement compensées, au fur et à mesure de la progression de la marée, par des enregistrements effectués à des profondeurs croissantes, non influencés par une éventuelle dilution de surface.

La pluviométrie contribue à près de 75 % à la formation du 3^{ème} axe (13 %). Ce poids très important rend difficile toute interprétation des liens susceptibles d'exister avec les autres facteurs. Toutefois, on peut remarquer une association entre les valeurs de salinité maximum (SMAX) enregistrées à pleine mer et la présence de vents de secteurs est (E). On retrouve ici l'opposition mise en évidence sur l'axe 1 entre l'apparition de phénomènes de dilution et les vents d'est.

Le quatrième axe, qui n'explique plus que 10 % de la variance totale, est cependant intéressant. En effet, il est déterminé par la hauteur d'eau à pleine mer (HTPM), paramètre dépendant directement des coefficients de marées. Or, ces coefficients sont corrélés positivement avec l'amplitude des dessalures (DS). C'est donc en période de vive eau que les écarts de salinité sont susceptibles d'être les plus importants. Cette remarque est d'importance, car c'est au cours de ces périodes que les huîtres sont exondées. Il en résulte un risque de stress plus important pour l'animal lors du retour du flot.

Au contraire une opposition apparaît entre TMIN et HTPM. En cycle de vive eau, la valeur minimum de salinité est atteinte plus rapidement qu'en morte eau. Il faut certainement y voir l'effet direct d'un hydrodynamisme plus élevé en période de vive eau. Toutefois, cette remarque est à pondérer du fait de la représentativité relativement faible de cet axe factoriel.

4.2.4.2 Représentation graphique des variables projetées sur les axes

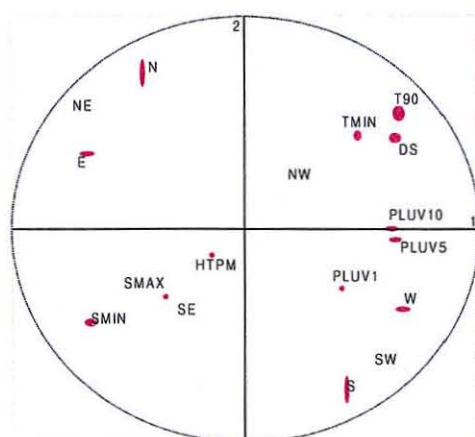


Figure 16 : projection des variables principales selon les deux premières composantes (taille des symboles fonction de la qualité dans la représentation, forme fonction de la contribution à la formation de l'axe)

La projection des variables selon les deux premiers axes factoriels (Figure 16) fait bien ressortir la corrélation entre les critères d'amplitude et de durée de la dessalure avec la pluviométrie cumulée à 5 et 10 jours. La proximité des vents de secteur ouest (vents dépressionnaires dans nos régions) et leur contribution à la formation du premier axe confirme leur rôle dans l'apparition des phénomènes de dessalure. Malgré sa faible représentativité, la position de la variable supplémentaire NW (composante nord-ouest du vent) à proximité des critères de dessalure confirme l'importance des vents de nord et d'ouest dans l'apparition des lentilles d'eau douce sur les parcs conchylicoles.

La projection des variables sur les axes 1-3 est très fortement influencée par le poids important des variables pluviométriques (PLUV5 et PLUV10) sur l'axe 3. Toutefois, une relation étroite s'établit entre les critères de durée de dessalure (T90 et TMIN) et les vents de secteur ouest (W) et sud-ouest (SW, var. supplémentaire). Cette particularité semblerait montrer un effet du vent de sud-ouest sur la durée du passage de la lentille d'eau douce. Au contraire, les vents de secteurs nord et nord-est limitent ces dessalures.

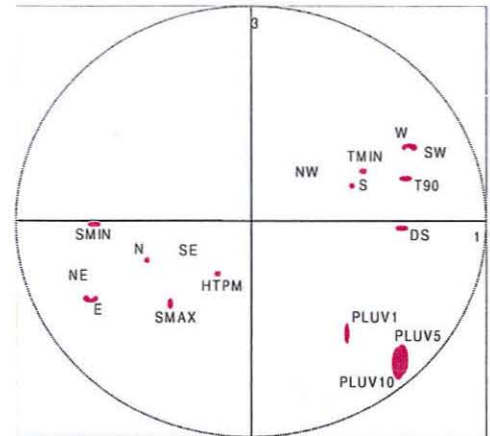


Figure 17 : projection des variables principales sur le plan factoriel déterminé par les axes 1 et 3 (taille des symboles fonction de la qualité dans la représentation, forme fonction de la contribution à la formation de l'axe)

Cette dernière observation correspond à une certaine logique sur le terrain. L'axe d'ouverture de la baie est orienté selon une direction sud-ouest /nord-est. Les apports d'eau douce se faisant par le sud, les vents de sud-ouest sont susceptibles, à basse-mer, de repousser les masses d'eau douce vers le large, favorisant donc leur retour possible sur les parcs lors du flot suivant. L'effet des vents de nord-est est inverse. Non seulement, ils favorisent un brassage important (homogénéisation de la colonne d'eau), mais ils maintiennent les masses d'eau dessalées en fond de baie et empêchant ainsi leur contact avec la zone conchylicole.

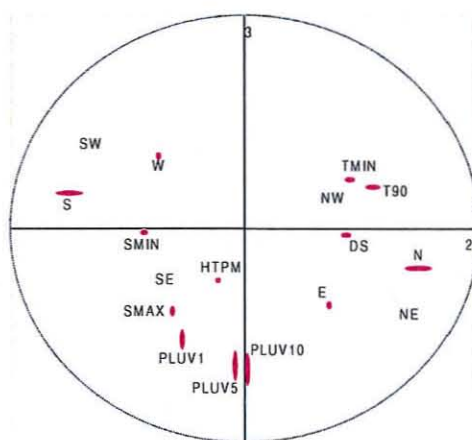


Figure 18 : projection des variables principales sur le plan factoriel déterminé par les axes 2 et 3 (taille des symboles fonction de la qualité dans la représentation, forme fonction de la contribution à la formation de l'axe)

La projection selon le plan factoriel 2-3 (Figure 18) confirme l'effet du vent sur le phénomène. Si, comme nous l'avons signalé précédemment, l'amplitude de dessalure (ΔS) est liée à la pluviométrie cumulée des jours précédents (Figure 16), il apparaît nettement dans cette représentation un effet du vent de secteur nord.

L'apparition et la persistance de lentilles d'eau douces sur les parcs pendant le flot doit donc bien trouver son explication dans une combinaison entre des facteurs pluviométriques cumulés et des conditions de vent particulières (vent d'ouest favorisant la durée, et vent de nord favorisant l'amplitude).

Les représentations des projections des variables sur les autres plans factoriels n'apportent pas d'informations supplémentaires, se contentant de mettre en relation les différents critères climatologiques, indépendamment des phénomènes de dessalures.

4.2.5 Analyse des cycles de marée

Le nombre important (2 835) de cycles de marée étudiés ne permet pas d'envisager une analyse détaillée des facteurs de corrélation et de contribution. Par conséquent, nous avons préféré nous appuyer uniquement sur les représentations graphiques, mises en formes spécifiquement, pour illustrer nos résultats d'analyse.

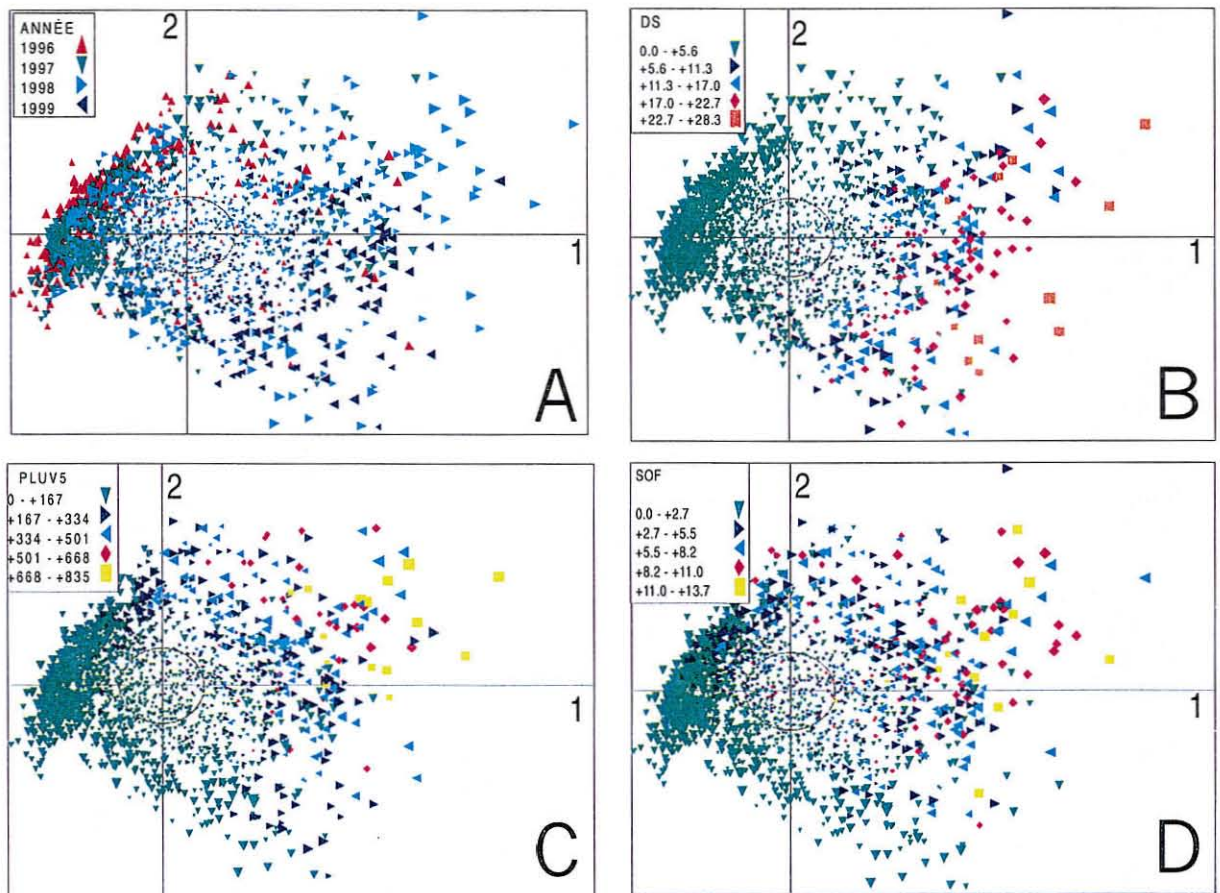


Figure 19 : Projection sur le plan factoriel 1-2 de l'ensemble des marées de juin 1996 à juin 1999. (Stratification selon : A : année ; B : amplitude de dessalure mesurée pendant le flot ; C : pluviométrie cumulée sur les 10 jours précédents ; D : produit de la composante sud-ouest des vents et de la vitesse)

La première caractéristique qui se dégage de la projection des "objets", sur les axes factoriels, concerne le caractère évolutif, au fil des dernières années, de

l'apparition des phénomènes de dessalures. Déjà mis en évidence par l'analyse des tendances inter-annuelles dans la partie précédente de ce travail, la stratification du plan factoriel 1-2 selon un critère de date fait nettement apparaître l'apparition progressive des passages de lentilles d'eau douce depuis 1997 (Figure 19 A). En effet, si le nuage de point correspondant à la période de 1996 à 1997 reste bien groupé dans la partie négative de l'axe 1, l'année 1998 constitue une période transitoire caractérisée par un glissement du centre d'inertie du nuage de point vers la partie droite de l'axe. Cette tendance est nettement confirmée en 1999, où la presque totalité des points sont passés dans la partie positive de l'axe 1. On peut également noter une légère pente négative dans ce glissement progressif.

Ce schéma est similaire à celui des dessalures (Figure 19 B) pour lequel il n'est cependant pas observé de pente négative dans la tendance. Les données de pluie (Figure 19 C), et de vent de secteur sud-ouest (Figure 19 D) répondent aux mêmes contraintes, avec une légère pente positive. Cette analyse confirme donc, une fois de plus, le rôle prédominant des périodes de fortes pluies cumulées sur plusieurs jours comme susceptibles de favoriser l'apparition de phénomènes de dessalures sur la zone conchylicole de la Baie des Veys. Toutefois, si de fortes pluies induisent la formation de lentilles d'eau douce en baie, elles ne constituent qu'un facteur de risque vis à vis de leur passage sur les parcs. En effet, c'est la combinaison entre des fortes pluies et des conditions particulières d'orientation et de force de vent qui va provoquer l'apparition des dessalures sur la zone conchylicole.

5 Discussion

La Baie des Veys est une zone estuarienne qui par définition est le siège privilégié de la rencontre entre les masses d'eau douce d'origine terrestre et les eaux salées d'origine marine. Cette confrontation se traduit par un mélange progressif de ces masses d'eau au gré du rythme des marées. La zone conchylicole, située à l'ouverture nord-est de la baie, a toujours été caractérisée par une forte influence marine depuis le début de son développement en 1970. Les travaux de suivi écologique, réalisés en baie depuis plus de 20 ans, le confirment (Sylvand, 1995, Ropert, 1999). Toutefois ces mêmes travaux mettent en évidence le caractère évolutif de cet écosystème. La Baie des Veys se caractérise, depuis les derniers aménagements réalisés dans les années 1960, par le développement de processus d'engraissement conduisant à une accumulation sédimentaire depuis le fond de la baie vers le large. Cette dynamique, commune à l'ensemble des espaces estuariens du milieu littoral, adopte un rythme beaucoup plus rapide en Baie des Veys. Ainsi, l'évolution morphosédimentaire de ces 20 dernières années représente, en accéléré, des processus d'échelle séculaire. Un tel rythme n'est pas sans conséquences à moyen terme, et l'apparition croissante, ces dernières années, d'épisodes de mortalités ostréicoles est certainement à replacer dans ce contexte évolutif général de l'écosystème.

C'est durant l'hiver 1998-1999 que, pour la première fois, des mortalités anormales d'huîtres ont été observées en Baie des Veys. La présence sur le terrain, durant cette période, d'une sonde de mesure de la salinité a permis de caractériser l'existence régulière sur les parcs conchylicoles de lentilles d'eau douce. Cette particularité, prévisible en milieu estuarien, prenait un caractère singulier par les valeurs de salinité mesurées pouvant atteindre 2 ‰ à certains moments (particulièrement en début de flot). La sonde de mesure automatique, présente en continu depuis trois ans, offrait l'occasion d'observer plus finement ce phénomène à travers une approche analytique temporelle de ces dessalures. Le but premier de cette démarche n'était pas d'expliquer les causes des mortalités observées. Comme nous l'avons signalé au début de ce document, un vaste programme pluridisciplinaire est en cours de développement pour tenter de caractériser les facteurs inducteurs de ces mortalités. L'objectif du présent travail était plus simplement de replacer ces épisodes de mortalités dans le contexte environnemental estuarien qui caractérise la zone conchylicole de la Baie des Veys, et ainsi, à travers l'analyse temporelle des dessalures, d'essayer de mettre en évidence d'éventuelles particularités hydrologiques. Deux caractères essentiels se dégagent de ce travail :

[1] Evolution temporelle des dessalures

Il ressort avant tout de cette étude, la mise en évidence d'une nette augmentation dans la fréquence d'apparition des lentilles d'eau douce. Il est également possible de localiser dans le temps le moment précis où ces processus ont commencé à développer un caractère anormal : mars 1998. Cependant, c'est surtout depuis le mois d'octobre 1998 que la situation semble la plus préoccupante, les amplitudes de dessalure restant tout au long de l'année 1999 à des niveaux particulièrement élevés.

Deux caractéristiques essentielles sont à retenir de cette première approche temporelle :

- ❖ une tendance à l'augmentation des amplitudes de dessalures, tant en été (faibles variations) qu'en hiver (fortes variations).
- ❖ une tendance à l'allongement des période de fortes dessalures (1,5 mois en 1997, 2 mois en 1998, 6 mois en 1999)

Depuis, les choses semblent s'être stabilisées, et aucune mortalité anormale n'a été relevée au cours de l'hiver 1999/2000. Toutefois, les résultats obtenus pendant cette période restent inquiétant par l'ampleur des dessalures observées lors des crues du mois de décembre 1999. Les conditions hydrologiques de l'hiver 1998/1999 pourraient donc avoir un caractère exceptionnel par leur durée. Cependant, rien ne permet actuellement de le confirmer avec certitude. Le comportement chaotique semblant régir l'apparition des lentilles d'eau douce, sur les parcs conchylicoles de la Baie des Veys, doit nous pousser à la plus grande prudence pour l'avenir. La vigilance est de rigueur vis à vis du suivi de cet écosystème fragilisé. C'est un des objectifs majeurs développés par le L.C.N. (IFREMER Port-en-Bessin) à travers la mise en place d'un vaste programme de suivi conchylicole et environnemental pour les deux années qui viennent.

[2] Facteurs inducteurs des dessalures

L'apparition de lentilles d'eau douce est directement lié aux conditions hydroclimatiques. Concernant leur influence sur l'apparition, l'amplitude et la durée de la dessalure pendant le flot, nos résultats montrent différentes choses :

- ❖ l'amplitude de la dessalure est liée principalement à la pluviométrie cumulée des 5 jours précédant la marée considérée,
- ❖ La durée de la dessalure (stress) est fonction de la composante nord-ouest du vent et de sa force,
- ❖ Lorsqu'elle n'est pas liée à une pluviométrie importante, l'apparition de la dessalure est favorisée par des conditions de vent de sud-ouest qui repoussent les eaux du fond de baie vers le large avant que les courants de flot ne les rabattent sur les parcs conchylicoles.

Cependant, au cours des trois dernières années, la tendance à l'augmentation de la fréquence et de l'amplitude des dessalures sur les parcs conchylicoles ne peut être exclusivement et uniquement liée aux seules conditions hydroclimatiques. En effet, en regard des données météorologiques des 17 dernières années (Figure 20), il ressort que notre année de référence, 1996, s'est caractérisée par un bilan annuel des précipitations très en dessous de la normale. Ainsi, la période 1992-1994 présente un

niveau de pluviométrie comparable, voire supérieur, à celui de la période 1998/1999. Il en est de même en 1986 et 1982. Or, à notre connaissance, aucune mortalité hivernale particulière n'a été signalée sur les parcs conchylicoles de la Baie des Veys à l'époque. L'hiver 1999/2000 s'est caractérisé par la plus forte pluviométrie enregistrée sur les 20 dernières années. A lui seul, le mois de Décembre représente près de 2500 mm d'eau, soit une progression de plus de 260% par rapport à la moyenne de ce mois.

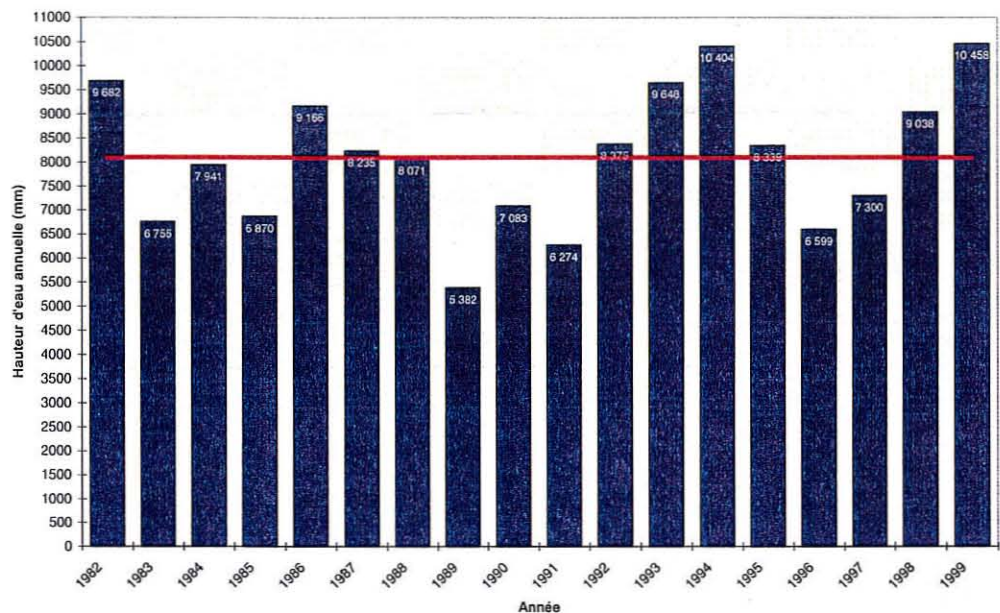


Figure 20 : Bilan annuel des précipitations à la station météorologique d'Englesqueville "le château" entre 1982 et 1999.

S'il faut voir dans des niveaux élevés de précipitations un facteur inducteur de l'apparition de lentilles d'eau douce en baie, c'est leur présence et leur stagnation sur les parcs conchylicoles qui semblent constituer un réel élément nouveau. A ce stade, la question essentielle n'est donc plus de comprendre les raisons de l'apparition de ces lentilles d'eau dessalée, mais plutôt les causes de leur présence sur les parcs conchylicoles. Pour y répondre, c'est à l'échelle de la Baie des Veys toute entière qu'il faut se projeter pour replacer la dynamique des phénomènes de dessalure dans un contexte plus général d'évolution morphosédimentaire de la baie à long terme. Cette démarche nous a amené à développer l'hypothèse suivante :

au cours des 20 dernières années (Figure 21), les processus combinés d'engraissement et d'ensablement du fond de la baie ont conduit à un exhaussement progressif des fonds, réduisant de fait le volume de la baie alors que les débits des apports n'ont pas évolué. Les surfaces occupées par les masses d'eau douce, initialement limitées au fond de baie, ce sont alors graduellement étalées vers l'ouverture de la baie. Cette tendance a induit une progression vers le large de la zone d'influence des eaux douces. Du fait d'une légère pente négative d'est en ouest de la Baie des Veys (Sylvand, 1995), le flanc est (zone conchylicole) est particulièrement

concernée par cette dynamique. Trois conséquences, directement visibles sur la zone conchylicole, illustrent bien ces processus :

1. Exhaussement accéléré du substrat, en particulier dans la partie sud des parcs, la plus estuarienne;
2. Augmentation de la fréquence et de l'amplitude des variations de la salinité sur les parcs
3. Modifications des biocénoses benthiques (Sylvand, 1995 ; Ropert, 1999) de la zone conchylicole par l'apparition de nouvelles espèces à caractères estuariens (polychète *Hediste diversicolor* en particulier) et disparition d'espèces marines (polychète *Lumbrineis imaptiens* et crustacé *Urothoe grimaldii*)

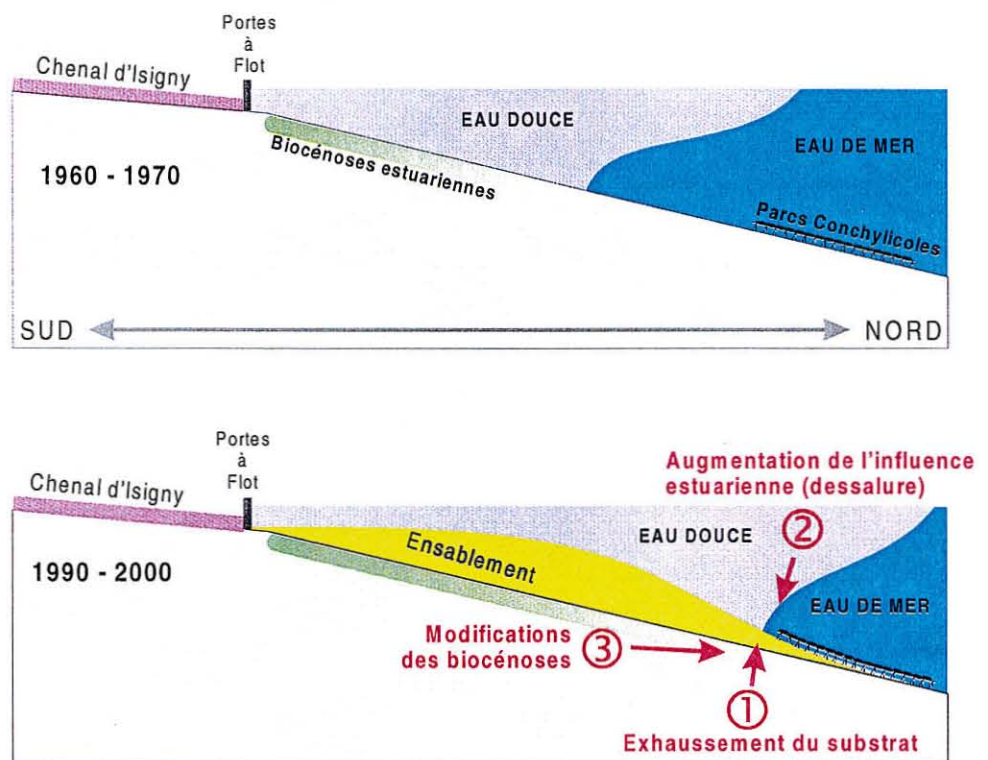


Figure 21 : Schéma illustrant les conséquences de la dynamique évolutive du flanc est de la Baie des Veys sur la zone conchylicole de Grandcamp-Maisy

Ces processus d' "estuarinisation" du flanc est de la Baie des Veys, sont cependant lents et progressifs dans le temps. S'ils éclairent sur la tendance croissante, à moyen terme, de la dynamique des dessaures, il n'en reste pas moins qu'ils ne peuvent permettre de comprendre sa brutale modification de fréquence observée depuis la fin de l'année 1998.

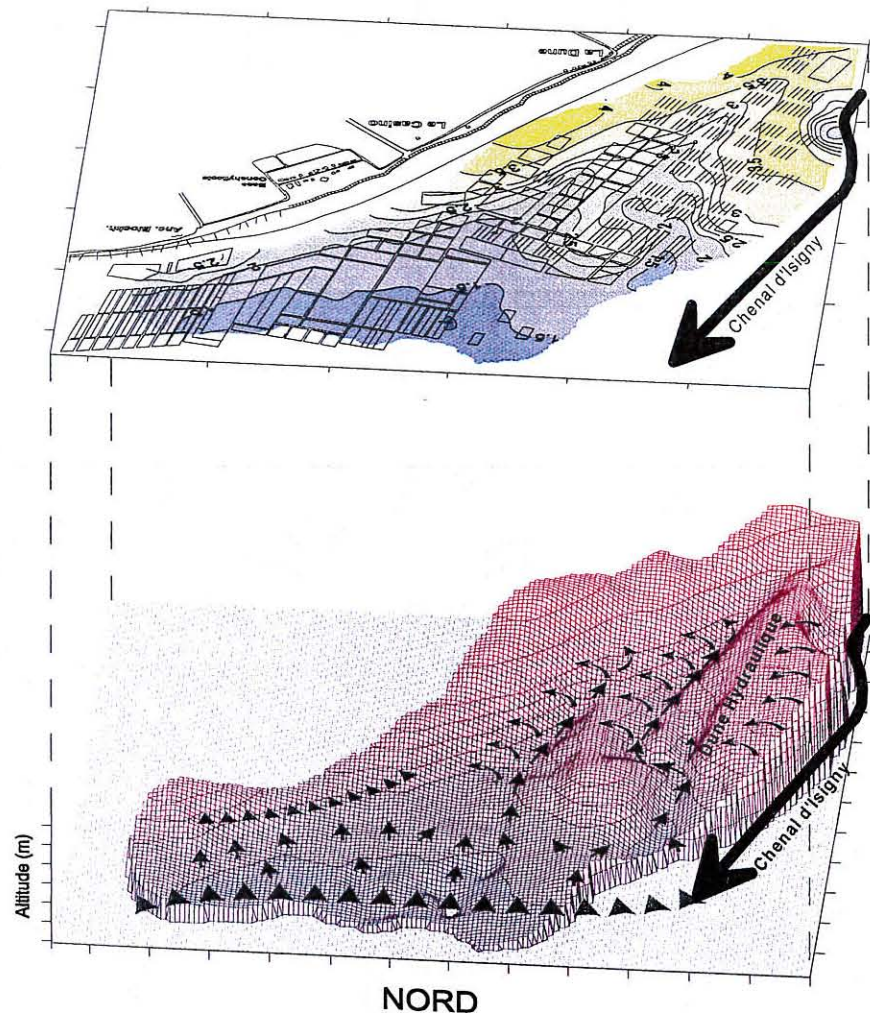


Figure 22 : Caractéristiques topographiques de la zone conchylicole et localisation du chenal d'Isigny en 1995 (les flèches grises symbolisent la progression du flot sur les parcs)

L'hypothèse explicative de cet accroissement des chocs salins sur les parcs est certainement à mettre en relation avec la dérive observée depuis plusieurs mois du chenal d'Isigny en bordure immédiate des parcs conchylicoles. En effet, depuis de nombreuses années, ce chenal, le plus important de la baie en terme d'apport d'eau douce, longeait la zone conchylicole sur toute sa longueur. Les parcs en étaient isolés par une importante formation sédimentaire hydraulique (Figure 22). Au cours de l'année 1998 ce chenal s'est considérablement écarté de la zone conchylicole. Distant de quelques dizaines de mètres des concessions en 1995, il se situait alors à plusieurs centaines de mètres. Son rôle dans la dynamique locale de flot était certainement prépondérant jusqu'en 1998. Par sa présence, il permettait probablement de canaliser, dès le début du flot les masses d'eau dessalées présentes à l'ouverture de la baie, jouant ainsi un rôle de barrière protégeant la zone conchylicole de leur influence. Lors de l'hiver 1998/1999, sa dérive vers l'ouest l'a écarté des parcs, son influence s'en est certainement trouvée amoindrie, et les

mêmes masses d'eau dessalée pouvaient alors plus facilement se maintenir de manière prolongée sur les parcs conchylicoles.

Actuellement, la situation a changé. En effet, ce chenal s'est de nouveau déplacé vers l'est, allant jusqu'à pénétrer dans le périmètre de la zone cadastrale. Les concessions les plus à l'ouest de la zone sont d'ailleurs à présent menacées de disparition.

Le lien entre cette observation et l'absence de mortalité ostréicole pendant l'hiver 1999/2000 n'est pas démontré de manière objective. Il constitue cependant aujourd'hui un élément important à prendre en compte dans la réflexion menée pour tenter d'expliquer le caractère particulier de l'hiver 1998/1999.



6 Perspectives

La réalisation de la cartographie spatiale des mortalités ostréicoles survenues durant l'hiver 1998/1999, fait ressortir le caractère hétérogène des secteurs touchés. Contrairement aux épisodes précédents (mortalités estivales de 1997), les pertes les plus importantes (> 20 %) concernent quatre zones se répartissant le long d'un gradient nord / sud. Les mortalités les plus conséquentes se sont produites dans la partie la plus marine (nord) du secteur. Après avoir abordé la problématique à l'échelle de l'écosystème, et dans l'hypothèse d'un possible effet létal du passage de lentilles d'eau douce sur les biomasses ostréicoles, il est nécessaire aujourd'hui d'accentuer la réflexion et la recherche à l'échelle de la zone conchylicole seule. La demande sociale conduit le L.C.N. à s'orienter dans cette direction. Pour cela plusieurs orientations de recherche sont envisagées :

6.1 Nature qualitative des lentilles d'eau douce.

Une relation existe entre les passages d'eau douce et l'épisode des mortalités hivernales 1998/1999. Toutefois, nous ne sommes pas en mesure d'en déduire la nature. Les pertes ostréicoles peuvent en effet être liées à un éventuel facteur anthropique (agent toxique et/ou polluant) transporté par ces masses d'eau. Les quelques analyses effectuées à l'époque n'ont pas permis de le confirmer. Elles peuvent également être consécutives à un épuisement de l'huître face à une importante dépense énergétique induite par un effort brutal d'osmorégulation.

Le programme pluridisciplinaire précité dans notre avant propos était destiné à répondre à cette question. Rassemblant les moyens combinés des laboratoires DEL et RA de Port-en-Bessin, ainsi que de nombreux services extérieurs de l'Etat, son objectif était de déterminer l'éventuelle existence d'éléments toxiques (facteurs pathogènes et/ou polluants) dans le milieu. Le projet n'a pu aboutir dans les temps, et la question reste aujourd'hui posée. Bien qu'aucune mortalité ostréicole n'ait été à déplorer depuis, il est capital de pouvoir répondre à cette question à moyen terme. En l'absence d'étude spécifique sur le sujet, l'IFREMER tente malgré tout de poursuivre ses efforts dans le domaine, que ce soit à travers les suivis conchylicoles en cours mais également par le maintien et le renforcement des moyens de suivis hydrologiques en baie. Cet investissement est cependant lourd et, de ce fait, ne pourra être maintenu à long terme. De plus, il ne permet de caractériser qu'une fraction réduite de la qualité hydrologique du milieu. Il est donc particulièrement important, à court terme, de pouvoir se doter des moyens adéquats à la hauteur des risques encourus en Baie des Veys, et l'IFREMER ne peut qu'appuyer et soutenir toute initiative dans ce domaine.

6.2 Variabilité spatiale des dessalures

Le travail exposé dans le présent document détaille l'analyse approfondie des mesures réalisées par une sonde unique présente sur le terrain depuis 4 ans. Il

ne s'agit là que d'une première étape. Depuis le mois de mars 1998, trois puis cinq autres sondes sont en place sur différents points des parcs. Elles devraient bientôt être rejointes par une nouvelle unité, permettant ainsi de disposer au total de six appareils de mesure en continu, répartis en différents points des parcs conchylicoles. Après avoir exploité l'aspect temporel des dessalures, et se basant sur la méthodologie présentée ici, l'objectif du laboratoire conchylicole est d'envisager leur variabilité spatiale. Cette démarche est d'ores et déjà engagée, mais nécessite également un lourd investissement en temps. Elle devrait, au cours des mois qui viennent, pouvoir être développée au sein du LCN de Port-en-Bessin.

6.3 Approche physiologique de réponse des huîtres à la dessalure.

Comme précisé dans le premier point, l'hypothèse d'une mortalité induite par les seuls écarts de salinité ne peut encore être écartée. Selon le principe de précaution, il est urgent que soit développée une approche ciblée sur les conséquences pour les huîtres d'une exposition répétée à des conditions de dessalures. Cette approche, purement physiologique, peut être menée de manière expérimentale. Si les moyens pour y parvenir n'existent pas au L.C.N., ils sont présents au sein de l'institut et chez ses différents partenaires universitaires. Des contacts sont en cours afin de pouvoir déterminer les conditions d'une collaboration efficace destinée à permettre de répondre à cette question.

L'étude des facteurs de mortalité ostréicole en Baie des Veys constitue un des axes de recherche prioritaire du L.C.N.. Si ces travaux ont conservé jusqu'à présent un caractère régional, les premiers résultats tendent à démontrer que leurs implications sont potentiellement beaucoup plus larges. A plus grande échelle, cette recherche s'inscrit directement dans le cadre de "l'optimisation des productions aquacoles". L'ambition du Laboratoire Conchylicole de Normandie est aujourd'hui de parvenir à fédérer autour cette problématique l'ensemble des moyens de l'institut et de ses différents partenaires, dans le but de préserver l'avenir d'une activité essentielle pour le maintien des structures socio-économiques côtières.

7 Bibliographie

- Abbe G.R. and J.G. Sanders**, (1988). Rapid decline in oyster condition in the Patuxent River, Maryland. *J. Shellfish Res.* **7** : 57-59.
- Chu F.E., A.K. Volety and G. Constantin**, (1996). A comparison of *Crassostrea gigas* and *Crassostrea virginica*: effects of temperature and salinity on susceptibility to the protozoan parasite, *Perkinsus marinus*. *J. Shellfish Res.* **15** : 375-380.
- Fleury P.G., F. Ruelle, S. Claude, H. Palvadeau, S. Robert, F. d'Amico, C. Vercelli and J.M. Chabirand**, (1999). Réseau de suivi de la croissance de l'huître creuse sur les côtes Française (REMORA). Résultats des stations nationales pour l'année 1998. *IFREMER DRV/RA, Rapport Interne DRV/RA/RST/99-03*. 41 p.
- Gouletquer P.**, (1995). Cycle de reproduction naturelle de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. In : La reproduction naturelle et contrôlée des Bivalves cultivés en France *IFREMER DRV/RA/RST/97-11* : 7-19,
- Hutchinson S. and L.E. Hawkins**, (1992). Quantification of the physiological responses of the european flat oyster *Ostrea edulis* L. to temperature and salinity. *J. Moll. Stud.* **58** : 215-226.
- Ibanez F., J.M. Fromentin and J. Castel**, (1993). Application de la méthode des sommes cumulées à l'analyse des séries chronologiques en océanographie. *C. R. Acad. Sci. Ser. 3, Sci. Vie.* **316** : 745-748.
- Kinne O.**, (1971). Salinity : Animals, Invertebrates. In: Marine Ecology: a comprehensive, integrated treatise on life on oceans and coastal waters. (O. Kinne ed.), Wiley-Interscience New York, p. 821-945.
- Kopp J., J.P. Joly, E. Le Gagneur and F. Ruelle**, (1997). Biomasses ostréicoles et mytilicoles de Normandie en 1995. *IFREMER, Rapport Interne DRV/RA/RST/97-07*. 65 p.
- Kopp J., J.P. Joly, J. Moriceau, E. Legagneur and F. Jacqueline**, (1991). La conchyliculture en Baie des Veys : historique, situation actuelle et perspectives. *Rapport Interne IFREMER DRV-RA* . 89 p.
- Kopp J. and M. Ropert**, (1999). Mortalités récentes en Baie des Veys : observations et suggestions. *IFREMER DRV/RA/LCN, Note interne*. 12 p.
- Mann R., E.M. Bureson and P.K. Baker**, (1991). The decline of the virginica oyster fishery in Chesapeake Bay: considerations in the introduction of a non-endemic species, *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793). *J. Shellfish Res.* **10** : 379-388.
- Ropert M.**, (1999). Caractérisation et déterminisme du développement d'une population de l'annélide tubicole *Lanice conchilega* (Pallas, 1766) (Polychète Térébellidé) associé à la conchyliculture en Baie des Veys (Baie de Seine Occidentale). *Thèse de 3ème Cycle: Muséum National d'Histoire Naturelle*. 172 p.
- Sundaram K.S. and M. Syed Shafee**, (1989). Salinity Tolerance of some bivalves of ennore estuary. *J. Mar. Biol. Ass. India.* **31** : 299-302.
- Sylvand B.**, (1995). La Baie des Veys, 1972 - 1992 : structure et évolution à long terme d'un écosystème benthique intertidal de substrat meuble sous influence estuarienne. *Thèse de Doct. d'Etat, ès Sciences Naturelles: Univ. de Caen*. 409 p.

8 Annexe

PROCOLE DE VALIDATION DES DONNÉES ACQUISES PAR LES SONDES TPS (MICREL) EN BAIE DES VEYS¹

I	PROBLÉMATIQUE:.....	47
II	SENSIBILITÉ ET STABILITÉ DU MATÉRIEL.....	48
	Caractéristiques Techniques (Source documentation MICREL).....	48
	Sensibilité et stabilité des mesures.....	48
	1. Expérience 1 : Labo	48
	2. Expérience n° 2 : labo	49
	Conclusion	49
III	CRITÈRES DE VALIDATION DES DONNÉES DE TERRAIN.....	50
	Mesures de terrain.....	50
	Courbe de marée en Baie des Veys.....	50
	Critère de validation d'immersion.....	51
IV	PARTICULARITÉS LIÉES À LA FRÉQUENCE D'ACQUISITION DES MESURES....	51
	Efficacité des critères de filtrage dans la validation des données.....	53
	Sous estimation des salinités minimum	53

¹ Cette dernière partie présente en détail la démarche de filtrage des données brutes, acquises par les sondes TPS sur le terrain. Du fait de son caractère plus technique, s'appuyant sur des expérimentations en laboratoire, nous avons préféré la présenter en annexe plutôt que de l'inclure au rapport, au risque d'alourdir inutilement le texte

I Problématique:

- Des sondes d'acquisition de type MICREL TPS sont placées sur estran par le LCN dans le but de suivre l'évolution de la **salinité**, de la **température** et de l'**immersion** au cours de cycles de marée successifs.
- Les enregistrements sont réalisés selon une **fréquence d'acquisition de 10 minutes à 20 minutes**.
- Les sondes, disposées au sein d'une poche ostréicole, sont soumises quotidiennement au **rythme d'immersion / émerSION du cycle tidal**. Les mesures étant réalisées en continu, les valeurs enregistrées sont successivement significatives de la masse d'eau et de l'air.
- Un **capteur d'immersion** (pression) enregistre, dans le même temps, la courbe de marée, permettant de **différencier** les **mesures** réalisées alors que la sonde est immergée (**marée haute**) de celles faites à l'air (**marée basse**).

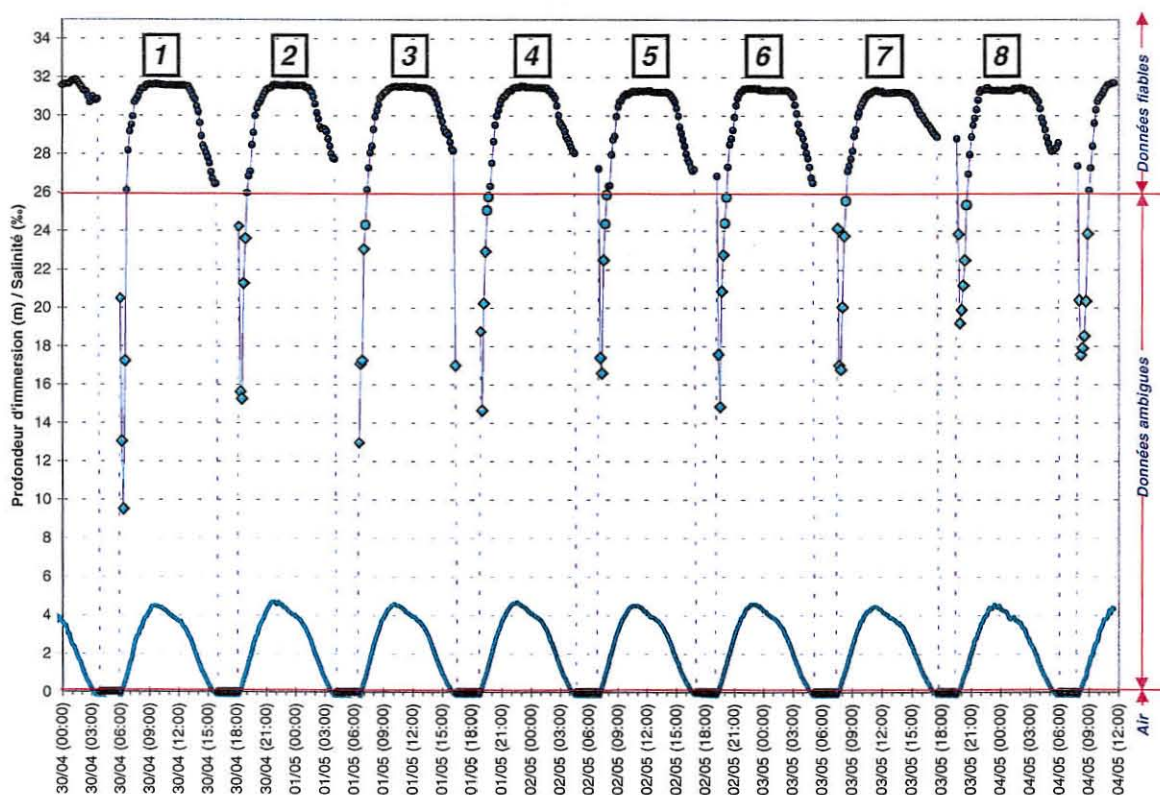


Fig. 1 : Données brutes (salinité, profondeur d'immersion) obtenues sur 9 cycles de marée par une sonde TPS (MICREL)

La Figure 1 illustre le résultat d'un enregistrement continu de la salinité sur plusieurs cycles de marée (1 à 8). Au regard de ces résultats, il est possible de considérer les données enregistrées sous trois points de vue :

- 1) **Données acquises pendant l'immersion** : elles présentent des valeurs comprises entre 32 et 26 ‰ et se caractérisent par une périodicité très régulière, liée au cycle tidal. Nous pouvons donc considérer ces valeurs comme significatives de la masse d'eau.
- 2) **Données acquises pendant l'exondation** : Les valeurs mesurées par le capteur de conductivité pendant toute la durée de basse-mer, alors que la sonde est émergée, sont

parfaitement constantes et inférieures à 1 ‰. Nous pouvons donc considérer ces mesures comme significatives de l'exondation.

- 3) **Données acquises en début de flot** : le début du flot se caractérise par une grande variabilité des mesures (de 1 à 26 ‰). Les variations de salinité observées pendant cette période n'adoptent pas un comportement chaotique mais semblent au contraire évoluer de manière progressive dans le temps. Toutefois, sur le plan quantitatif comme sur le plan qualitatif, le signal enregistré en début de flot ne présente pas de périodicité aussi régulière que durant le reste du cycle de marée. Elles ont donc un **caractère ambiguë**.

Cet aspect est d'autant plus important qu'en Baie des Veys, des variations considérables de salinité sont susceptibles d'apparaître au cours des premières heures après le début du flot : les enregistrements montrant par période des valeurs extrêmes de dessalure pouvant atteindre 2 ‰.

Dans quelles mesures les valeurs enregistrées à cet instant peuvent-elles être considérées comme valides et non altérées par d'éventuels effets extérieurs ?

- **assèchement** du capteur après plusieurs heures à l'air pendant la basse mer,
- influence d'un **clapot** ou d'une **houle** importante à l'instant de la mesure.

La validation des données acquises passe donc par une démarche de filtrage des données tenant compte à la fois des caractéristiques physiques et techniques des capteurs ainsi que des conditions environnementales d'immersion.

II Sensibilité et stabilité du matériel

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES (SOURCE DOCUMENTATION MICREL)

Le capteur de conductivité de la sonde TPS (MICREL) est composé du système "WTW 4 électrodes TeraCon". Le système à 4 électrodes présente divers avantages :

- Absence d'erreurs de mesures dues à une contamination d'électrode (vase, salissures, cristallisation, organismes, végétaux...etc), les résistances de contacts des électrodes étant compensées automatiquement.
- Absence d'erreurs dues à une variation locale du champ magnétique causée par un contact éventuel (table ostréicole)

Selon les indications du constructeur (comm. pers.) la valeur de conductivité renvoyée par la sonde est issue d'une moyenne sur 16 mesures instantanées réalisées dans un laps de temps inférieur au 1/10^{ème} de seconde.

SENSIBILITÉ ET STABILITÉ DES MESURES

Deux expérimentations en laboratoire, ont été réalisées afin d'évaluer le **temps de réponse du capteur de conductivité** de la sonde TPS (MICREL).

Expérience 1 : Labo

La fréquence d'acquisition des mesures est fixée à 1 seconde afin de permettre une visualisation fine du comportement du capteur.

- 1) La sonde est mise en acquisition à l'air. Au préalable, afin d'accroître les contraintes liées aux conditions environnementales (risque de cristallisation saline sur les capteurs pendant l'émersion), la sonde a été humidifiée par une solution saturée en NaCl (~300 g.l⁻¹) puis laissée à sec pendant plusieurs heures avant d'être démarrée.
- 2) La sonde est alors plongée dans une solution saline (~33.5‰). Après quelques instant, le milieu est homogénéisé afin de mettre en évidence une éventuelle altération du signal lié à l'agitation.

- 3) La sonde est retirée de la solution saline est maintenue à l'air ambiant,
- 4) puis elle est de nouveau plongée dans une solution d'eau douce (< 1‰)
- 5) avant d'être retirée puis stoppée.

Le résultat obtenu est présenté sur la figure suivante :

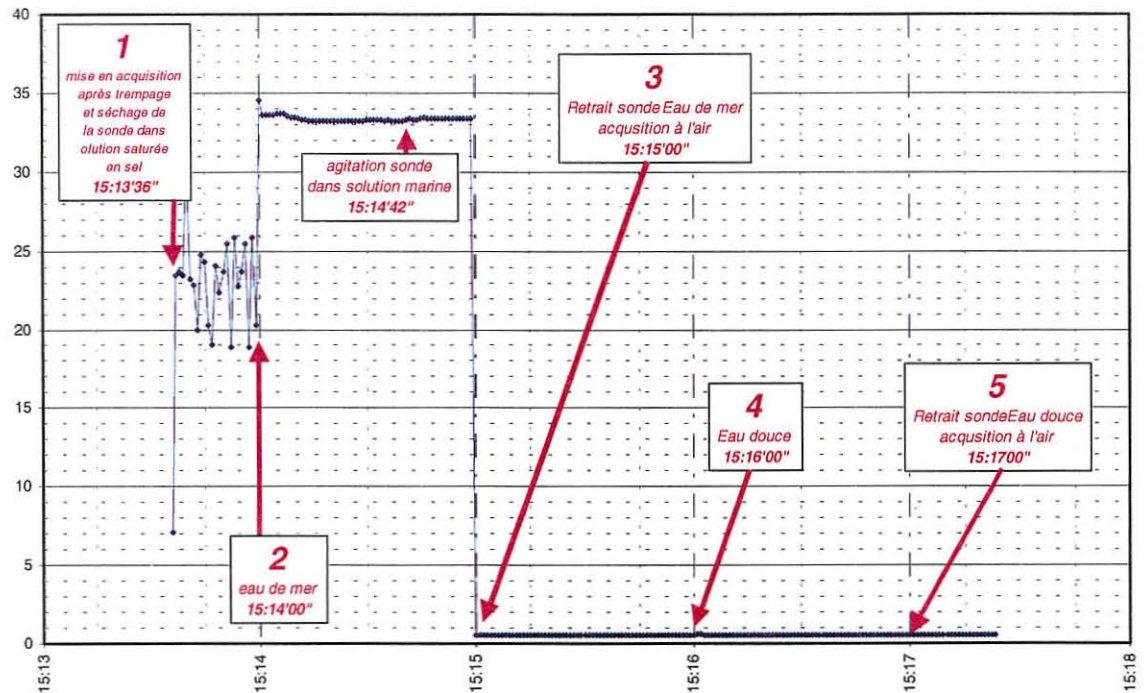


Fig. 2 : Résultats des mesures de la salinité en conditions de laboratoire (Expérience 1) à l'aide d'une sonde TPS MICREL (Fréquence d'acquisition : 1 sec)

- 1) - Le déclenchement (mise en acquisition) de la sonde lorsque cette dernière est à l'air induit une réponse cahotique et non significative du capteur (①-②)
- 2) - Lorsque la sonde est plongée dans une solution saline (15h14'), dans la **seconde** qui suit, le capteur renvoi une valeur **cohérente** (②) avec les caractéristiques du milieu (34,5 ‰).
- La mesure se **stabilise dans les 2 secondes** qui suivent l'immersion (15h14'02").
- Le signal renvoyé par le capteur est particulièrement stable (moy = 33,34 ‰ ; $\sigma = 0,12$ entre 15h14'02" et 15h14'59"), malgré le traitement subi par le capteur avant immersion.
- 3) - Dès l'instant où le capteur est retiré de la solution (15h15'00") et au contact de l'air (③), le signal **renvoit immédiatement** (< 1 sec) une valeur de 0,5 ‰.
- Pendant toute la durée où le capteur est à l'air, **le signal est stable** (moy = 0,52 ‰ ; $\sigma = 0,007$ entre 15h15'00" et 15h16'00")
- 4) Il en est de même lorsque le capteur est plongé en eau douce puis remis à l'air avant l'arrêt de la sonde.

Expérience n° 2 : Labo

L'expérience est répétée, à la différence qu'après le retrait de la sonde du premier bain (~33 ‰) la sonde est maintenue à l'air pendant environ 10 minutes. Au bout de 5 minutes, le capteur est asséché artificiellement par un courant d'air pulsé.

Au terme de ces 10 minutes, il est replongé dans la solution salée afin de comparer les valeurs mesurées, puis retiré et de nouveau maintenu à l'air avant arrêt de l'acquisition.

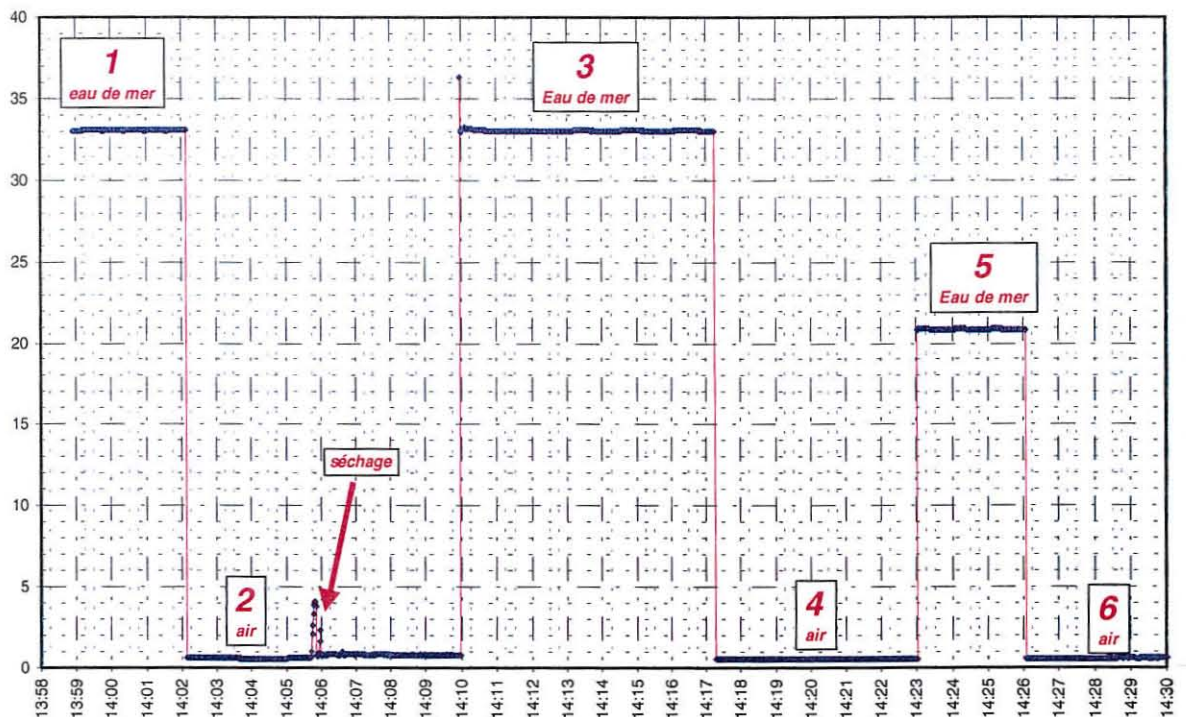


Fig. 3 : Résultats des mesures de la salinité en conditions de laboratoire (Expérience 2) à l'aide d'une sonde TPS MICREL (Fréquence d'acquisition : 1 sec)

- 1) le profil des mesures et la rapidité de stabilisation du capteur sont tout à fait comparable à l'expérience précédente
- 2) Il est possible d'observer, à l'air, une légère dérive de la mesure liée à l'assèchement du capteur. Toutefois, les écarts observés restent minimes puisque de l'ordre de 0,2 ‰.
- 3) La première mesure effectuée dans le second bain d'eau de mer montre une légère surestimation (36,3 ‰) par rapport à la valeur moyenne renvoyée par la suite (Moy = 33,02 ‰). Toutefois, cet écart est à relativiser puisque la seconde mesure (effectuée 2 secondes après l'immersion) est stabilisée.

CONCLUSION

Les deux expérimentations en laboratoire ont permis de confirmer que **le temps de réponse et de stabilisation du capteur** de conductivité de la sonde TPS (MICREL) est **de l'ordre de la seconde**. De plus, les **mesures réalisées hors d'eau** (en condition d'exondation sur le terrain) se caractérisent **systématiquement** par une valeur faible inférieure à 1 ‰.

A l'échelle de temps de l'acquisition des données sur le terrain (10 à 20 minutes), il n'est donc pas déraisonnable de considérer qu'à partir du moment où le capteur renvoie une valeur de salinité supérieure au seuil 1 ‰, la mesure est effectivement réalisée dans l'eau.

De ces deux caractéristiques mises en évidence expérimentalement, nous pouvons dégager une **première condition incontournable dans le filtrage des données acquises sur le terrain : La valeur de salinité mesurée doit être strictement supérieure à 0,8 ‰** (Valeur seuil observée sur le terrain, validée sur l'ensemble des 3 années d'utilisation des sondes)

III Critères de validation des données de terrain

La **validation** des mesures de salinité réalisées par les sondes TPS (MICREL) passe donc obligatoirement par une valeur du **signal supérieure au seuil 0,8 ‰**. Cependant, dans le cas des mesures en continu réalisées sur le terrain, ce seul critère ne peut être pleinement satisfaisant. En effet, l'éventualité d'un synchronisme entre l'arrivée du flot et la première mesure enregistrée rend délicate sa validation sur le seul critère de dépassement du seuil de 0,8 ‰. Il est donc nécessaire, dans le cadre du filtrage des données de terrain, d'imposer une **seconde condition** de validation de la donnée.

C'est en s'appuyant sur la mesure de l'immersion (capteur de pression) que nous avons cherché à confirmer la validité de la mesure réalisée.

MESURES DE TERRAIN

Durant le mois de mai 1999, une série de mesures a été effectuée en double sur un point. A la sonde TPS habituelle (fréquence d'acquisition : 10 minutes), une seconde a été associée, réglée sur une fréquence de mesure d'une minute. Cette démarche avait pour but d'étudier et de comparer avec un maximum de finesse les variations de salinité observées. Une telle précision dans les fréquences de mesures ne peut cependant pas être envisagée en continu du fait d'une saturation rapide de la mémoire de l'appareil (autonomie : 3,5 jours). Cependant, il nous a été possible d'une part, de mieux caractériser le comportement des masses d'eau pendant le flot et d'autre part de mettre en évidence les contraintes liées à l'utilisation de ces sondes TPS sur estran en milieu estuarien.

COURBE DE MARÉE EN BAIE DES VEYS

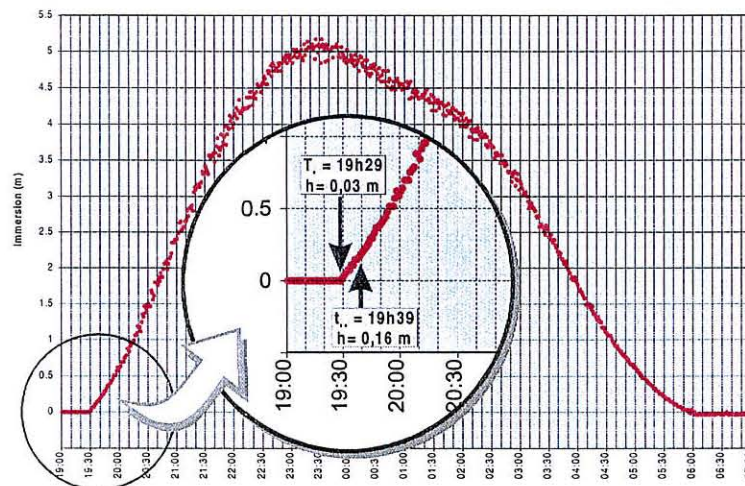


Fig. 4 : Courbe de marée en Baie des Vey's le 03/05/99 (Vent direction : 70° (NE), vitesse : 7 à 15 m.s⁻¹). Fréquence d'acquisition des mesures : 1 minute.

Dans le cadre du filtrage et de la validation des données de terrain, une des questions essentielles reposait sur la validité de la première mesure lors de l'arrivée du flot. Comme précisé précédemment, l'éventualité d'une simultanéité entre l'instant où la sonde entre en contact avec la masse d'eau de flot et l'enregistrement d'une donnée induit un doute sur la significativité de cette mesure.

A partir des données acquises selon une fréquence d'une minute, nous avons pu reconstituer la courbe de marée sur un cycle de marée (Fig. 4)

Avec une fréquence d'acquisition d'une minute, il est possible d'observer, à pleine mer, une variation importante des mesures d'immersion (± 15 cm autour de la valeur moyenne à 23h30). Cette variabilité des mesures s'explique par la présence probable d'une houle ou d'un fort clapot lié à des conditions de vent favorables à une agitation du milieu (vent de nord-est présentant des rafales à 15 m.s⁻¹ en début de nuit le jour de la mesure (source Météo-France)).

CRITÈRE DE VALIDATION D'IMMERSION

Malgré ces conditions contraignantes, le début du flot se caractérise, par une remarquable homogénéité du signal (Cf. Fig. 4) traduisant une absence d'effet de clapot pendant la première heure suivant l'arrivée de l'onde de marée sur la sonde. Cette particularité s'explique par le rôle de protection des structures ostréicole (tables, poches). Elles constituent un frein hydrodynamique particulièrement efficace permettant un repérage très précis de l'instant d'arrivée de l'eau sur la sonde.

A partir de cet instant, au cours des 10 minutes suivantes, (fréquence minimum d'acquisition) la sonde se trouve recouverte par 15 cm d'eau. Les données évoluant de manière quasi linéaire durant cette période, l'enregistrement d'un signal d'immersion de 5 cm (hauteur approximative de la poche ostréicole dans laquelle est placée la sonde) traduit donc une durée d'immersion d'environ 5 minutes après le premier contact entre la sonde TPS et la masse d'eau.

D'après les résultats obtenus en laboratoire concernant le temps de réponse et de stabilisation du capteur de conductivité (1 à 2 secondes), il n'est pas déraisonnable de considérer qu'après 5 minutes d'immersion, la mesure de salinité est parfaitement significative de la masse d'eau et n'est perturbée par aucun effet de clapot ni d'assèchement du capteur.

Dans le cadre du filtrage et de la validation des données de terrain, les deux critères pouvant être retenus sont donc :

- 1) **Valeur de salinité mesurée supérieure à 0,8 ‰** : seuil maximum renvoyé par le capteur lorsque ce dernier est hors d'eau (valeur vérifiée sur la totalité de la série temporelle de 3 ans, soit 1870 cycles de marée)
- 2) **Profondeur d'immersion strictement supérieure à 5 cm** : la sonde est alors plongée dans l'eau depuis environ 5 minutes, délai fiable de stabilisation des capteurs.

IV particularités liées à la fréquence d'acquisition des mesures

Lors des mesures de terrain réalisées en doublon sur le même point selon deux fréquences d'acquisition (1 et 10 minutes), nous avons pu mettre en évidence deux caractéristiques particulières (Cf. Fig. 5):

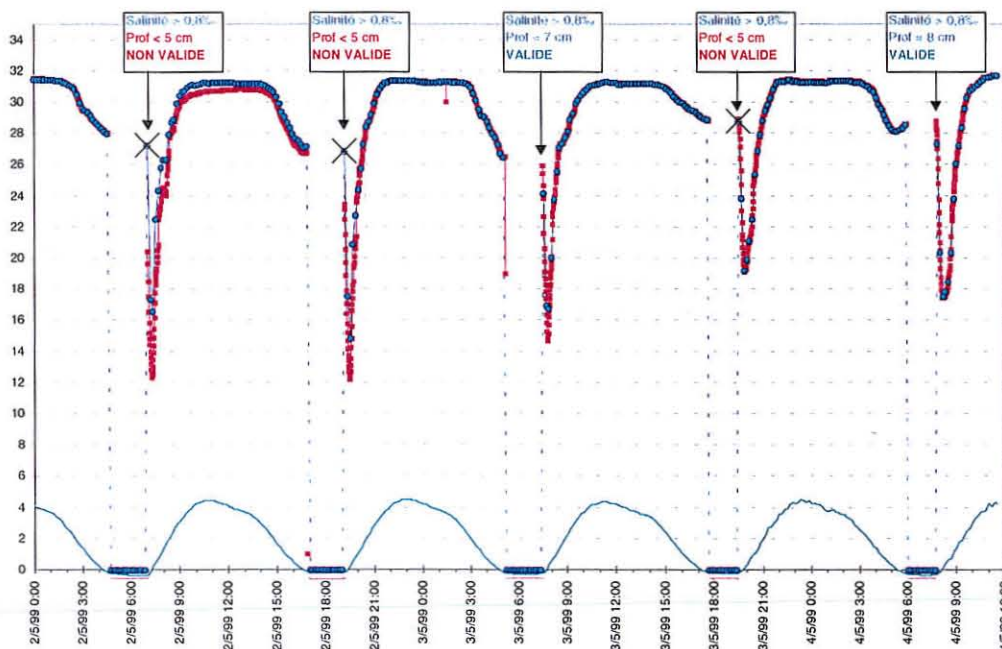


Fig. 5 : Comparaison des enregistrements effectués en doublon selon deux fréquences d'acquisition

(● : sonde TPS de mesure toutes les 10 minutes ; ■ : Sonde supplémentaire de référence toutes les 1 minute) sur le même point. Résultats du filtrage des données acquises toutes les 10 minutes selon les critères de "salinité" et d'immersion.

EFFICACITÉ DES CRITÈRES DE FILTRAGE DANS LA VALIDATION DES DONNÉES

La parfaite correspondance des mesures réalisées par les deux sondes en cours de marée confirme le caractère stable et fiable des résultats.

Toutefois, la première mesure de début de flot est susceptible de varier. Tel est le cas lors des marées du 02/05/99 à 07h00 et 19h00 (respectivement 27,2‰ et 26,8‰, pour la sonde de mesure toute les 10 minutes et 20,5‰ et 23,4‰ pour la sonde supplémentaire à 1 minute). Les conditions d'immersion (< 5 cm), à ces instants, n'étant pas acceptables, ces deux valeurs de salinité ne peuvent être retenues et sont donc écartées du traitement.

Lors de la marée du 03/05/99 à 19h10, les deux sondes renvoient la même valeur de salinité, laissant présager de la validité de la donnée. Toutefois, pour les mêmes raisons que précédemment (immersion < 5cm) la donnée n'est pas validée et, par conséquent, également écartée du traitement. On peut s'interroger sur l'éventualité d'un biais induit par l'exclusion d'une donnée pourtant *a priori* valide. Cependant cette "erreur" est sans incidence sur l'estimation finale de l'amplitude de la dessalure puisque cette valeur ne correspond de toutes façons pas à la valeur minimum atteinte pendant ce cycle de marée.

SOUS ESTIMATION DES SALINITÉS MINIMUM

Le choix de la fréquence d'acquisition de la sonde TPS influence la perception de la dessalure. En effet, (cf. Fig.) lors des marées du 03/05 (19h50) et du 04/05/99 (08h10) les valeurs minimum de salinité retranscrites par les deux sondes sont équivalentes (respectivement 19,2 ‰ et 17,5‰). Ce n'est pas le cas des marées précédentes durant lesquelles les valeurs minimum de salinité ont été atteintes entre les deux intervalles de mesure de la sonde (10 minutes) entraînant une sous estimation de cette dessalure (différence de 4 ‰ entre les deux sondes le 02/05/99 à 7h20).

Cette particularité, liée exclusivement au choix du pas de temps d'échantillonnage de la sonde, entraîne une sous estimation (jusque 5 ‰) régulière de la valeur minimum de la salinité de la masse d'eau pendant le flot. La seule solution à préconiser pour remédier à cet inconvénient serait de réduire la fréquence de mesure, 10 minutes ne permettant pas de caractériser la dessalure avec le maximum de précision souhaité. Cependant, le positionnement bathymétrique de la sonde ne permet pas d'y accéder en dehors des cycles de grandes marées (~15 jours). Or sur une telle période, la capacité d'enregistrement du matériel utilisé ne permet pas de réduire la fréquence de mesure en dessous de ce seuil de 10 minutes. Par conséquent, il faut envisager les résultats de ces mesures comme étant une évaluation potentiellement sous estimée du niveau de salinité réellement atteint dans la masse d'eau.