

Diagnostic des contaminations microbiologiques des chenaux du Payré



© Copyright IFREMER/Alain FILLON

Diagnostic des contaminations microbiologiques des chenaux du Payré

Etude co-financée par le Conseil Régional des Pays de La Loire

Convention n° 2008-02187

Remerciements : L'équipe du LERPC remercie M. Patrick Guyau, Président du Syndicat des Conchyliculteurs du Bassin du Payré et M. Daniel Verfaillie, Président du Groupe Associatif Estuaire, pour l'aide matérielle qu'ils nous ont apportée lors de ces études et pour leur amical soutien.

RESUME

De 2007 à 2010, deux études ont été menées sur le Havre du Payré pour recueillir des éléments permettant de mieux appréhender les épisodes de pollution microbiologique menaçant la zone ostréicole. L'objectif est de fournir aux collectivités des informations en vue d'appuyer la politique de reconquête de la qualité du milieu et d'aider la profession à optimiser la gestion de sa production.

Ces études ont montré le caractère particulier de l'hydraulique de ce site avec une forte réactivité vis à vis des apports du bassin versant et un fonctionnement estuarien favorisant la rétention de l'eau selon certaines conditions de marée et lors de circonstances météorologiques particulières. Elles ont également permis de hiérarchiser les flux bactériens provenant des principaux sous bassins versants et de mieux cerner les conditions environnementales favorisant l'apparition des contaminations dans les zones de production.

A partir de ces constats, il a été possible d'établir des propositions visant d'une part à orienter les démarches destinées à réduire les sources de contamination, et d'autre part à anticiper les périodes les plus à risque.

Mots clés :

Chenaux du Payré, Vendée, bassins versants, hydraulique, microbiologie, contamination, huîtres

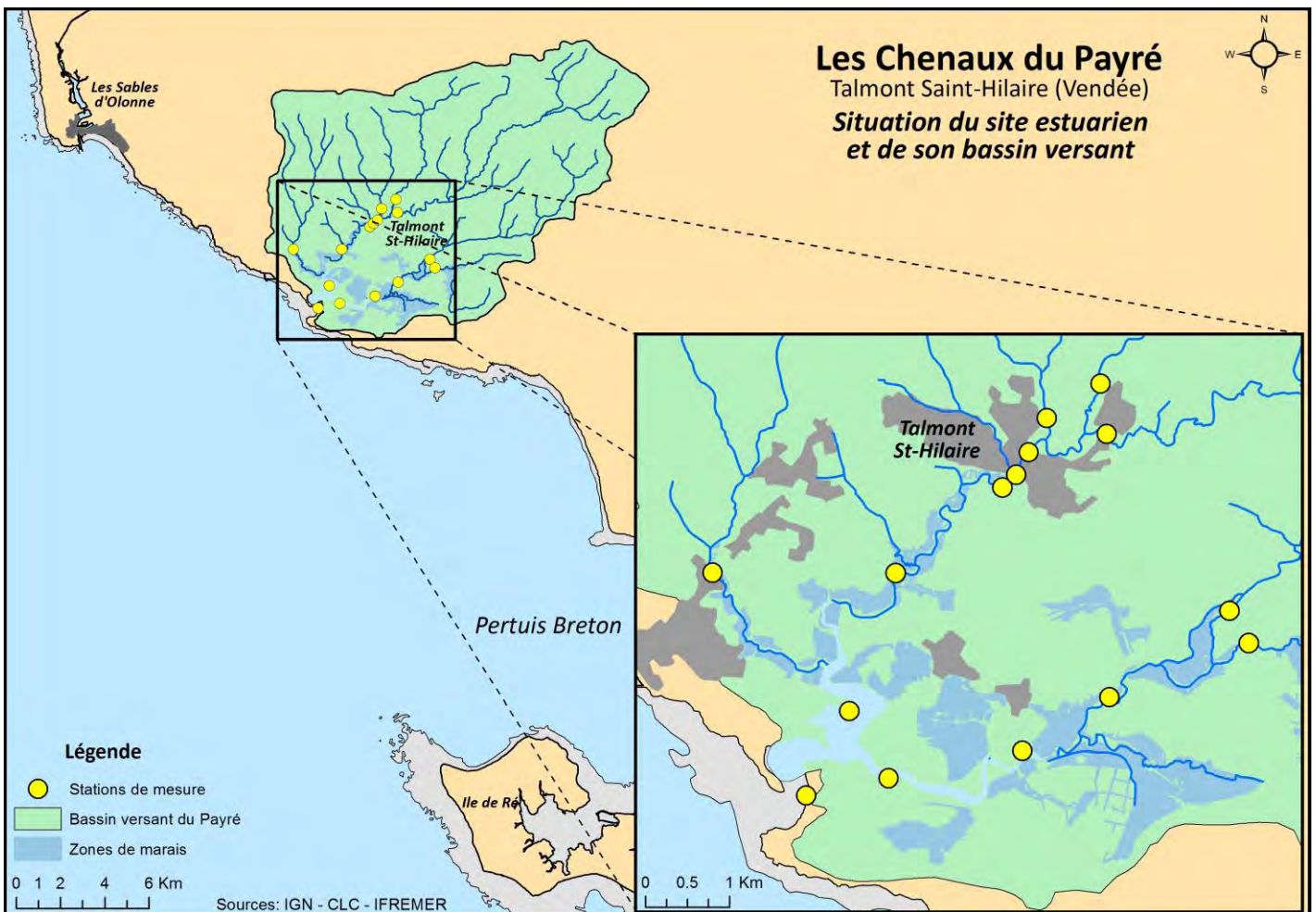
| | |
|--|-----------|
| 1. Introduction | 9 |
| 2. Bilan des connaissances acquises: analyse des résultats du REMI (Réseau de surveillance microbiologique) de 1989 à 2009..... | 11 |
| 2.1 ANALYSE DES TENDANCES BRUTES SUR LA PERIODE 1989-2009 | 11 |
| 2.2 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX SUR LES CONTAMINATIONS | 13 |
| 2.3 ANALYSE DES TENDANCES CORRIGÉES DES EFFETS CLIMATIQUES | 13 |
| 3. Matériels et méthodes..... | 15 |
| 3.1 HYDRAULIQUE ET PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES COURS D'EAU | 16 |
| 3.2 HYDRAULIQUE ET PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'ESTUAIRE | 17 |
| 3.3 CONTAMINATION MICROBIENNE DE L'EAU..... | 18 |
| 3.4 CONTAMINATION MICROBIENNE DES COQUILLAGES..... | 19 |
| 4. Résultats et discussion..... | 20 |
| 4.1 HYDRAULIQUE DES COURS D'EAU | 20 |
| 4.1.1 Relations des débits entre sous-bassins versants du Payré et Ciboule..... | 20 |
| 4.1.2 Relations entre surfaces de sous-bassins et débits | 22 |
| 4.1.3 Régime hydraulique du bassin versant..... | 23 |
| 4.2 HYDRAULIQUE DE L'ESTUAIRE | 25 |
| 4.2.1 Echanges d'eau avec l'Océan..... | 25 |
| 4.2.1.1 Caractéristiques de la marée dans les chenaux du Payré | 25 |
| 4.2.1.2 Etude du volume oscillant..... | 28 |
| 4.2.2 Mélange et renouvellement des masses d'eau..... | 29 |
| 4.2.2.1 Les coefficients de marée..... | 29 |
| 4.2.2.2 La pression atmosphérique | 30 |
| 4.2.2.3 Les vents..... | 30 |
| 4.2.3 Influence des facteurs environnementaux sur les phénomènes de surcote dans l'estuaire..... | 32 |
| 4.2.3.1 Les débits du bassin versant..... | 32 |
| 4.2.3.2 La pression atmosphérique | 33 |
| 4.2.3.3 Les vents..... | 34 |
| 4.2.4 Relations du système avec le bassin versant..... | 35 |
| 4.3 CONTAMINATION MICROBIENNE PROVENANT DU RESEAU HYDRAULIQUE AMONT..... | 37 |
| 4.3.1 Relation flux microbiens, pluies et débits | 37 |
| 4.3.2 Hiérarchisation des flux moyens | 39 |
| 4.4 TRANSPORT DE LA CONTAMINATION VERS L'AVAL..... | 43 |
| 4.4.1 Observation de l'abattement des contaminations entre l'amont et l'aval | 43 |
| 4.4.2 Analyse des conditions environnementales favorisant le transport des contaminations du bassin versant vers les zones de production..... | 44 |
| 4.4.2.1 Chenal de la Guittière..... | 44 |
| 4.4.2.2 Chenal du Veillon..... | 47 |
| 4.4.3 Hypothèses concernant des contaminations émises en aval des stations de mesure des flux..... | 51 |
| 4.4.4 Niveaux de l'abattement bactérien amont aval..... | 53 |
| 4.5 ANALYSE DE LA CONTAMINATION MICROBIENNE DANS LA PARTIE ESTUARIEENNE | 55 |
| 4.5.1 Examen des données..... | 55 |
| 4.5.2 Etude de l'influence des paramètres environnementaux sur la contamination microbienne de l'eau..... | 57 |
| 4.5.2.1 Influence des pluies..... | 57 |
| 4.5.2.2 Rôle de la turbidité..... | 58 |

| | |
|---|-----------|
| 4.5.2.3 Effet «vacances scolaires» | 59 |
| 4.5.3 Place de l'hydraulique estuarienne dans les mécanismes de contamination | 60 |
| 4.6 CONTAMINATION MICROBIOLOGIQUE DES HUITRES..... | 63 |
| 4.6.1 Rappel des principaux résultats de l'étude 2007-2008 | 63 |
| 4.6.2 Etude des relations entre contaminations de l'huître et de l'eau | 65 |
| 4.6.3 Liens entre la contamination des huîtres et les facteurs environnementaux | 66 |
| 4.6.3.1 Observation de la contamination des huîtres selon les périodes sèches et humides..... | 66 |
| 4.6.3.2 Etude des relations entre contamination des huîtres et les facteurs environnementaux | 68 |
| | |
| 5. Conclusion | 70 |
| 5.1 SYNTHÈSE DES ETUDES..... | 70 |
| 5.1.1 Caractéristiques hydrauliques de l'estuaire du Payré | 70 |
| 5.1.2 Flux bactériens provenant du bassin versant | 70 |
| 5.1.3 Transport des contaminations vers l'aval | 71 |
| 5.1.4 Caractéristiques des contaminations de l'eau observées au niveau des zones de production | 71 |
| 5.1.5 Contamination des huîtres | 72 |
| 5.2 PROPOSITIONS POUR ORIENTER LA RECHERCHE DES SOURCES DE CONTAMINATION | 72 |
| 5.2.1 Contaminations issues du bassin versant | 72 |
| 5.2.2 Contaminations dans la partie aval des chenaux et dans l'estuaire | 73 |
| 5.3 RECHERCHE D'ÉLÉMENTS POUVANT PERMETTRE LA MISE AU POINT D'UN SYSTÈME D'ALERTE | 73 |
| 5.3.1 Les pluies | 73 |
| 5.3.2 Les débits | 73 |
| 5.3.3 La turbidité | 74 |
| 5.3.4 L'hydraulique estuarienne | 74 |
| 5.3.5 Adaptation des autocontrôles | 74 |
| | |
| 6. Bibliographie | 75 |
| | |
| 7. Annexes | 77 |

1. Introduction

Le Havre du Payré, qui se situe à une quinzaine de kilomètres au sud des Sables d'Olonne, forme un estuaire vers lequel trois cours d'eau convergent avant de rejoindre l'Océan par les deux chenaux principaux du Veillon et de la Guittière. Ce système forme dans sa partie aval un grand ensemble de 950 ha de zones humides salées et saumâtres composées de marais à poisson, anciennes salines et marais salants. La partie estuarienne est le siège d'une activité ostréicole soutenue, qui concerne 18 entreprises (27 ha concédés) pour un chiffre d'affaires de 3500 kEuros, et représente plus de 60 emplois.

Le bassin versant du Payré représente 155 km² (Groupe associatif estuaire, 2008). Il s'étend sur 7 communes, dont deux en totalité, Talmont St-Hilaire et Poiroux. Par contre, seule une faible partie du territoire se trouve concernée pour les communes de Jard sur Mer, St Vincent sur Jard, Saint-Hilaire la Forêt, Avrillé et St-Avaugourd des Landes (Felgines, 1994). Les eaux issues de cet ensemble se déversent dans trois chenaux principaux: les chenaux de Talmont (le plus long), des Hautes mers et de l'Île Bernard. La branche principale (Talmont) atteint une vingtaine de kilomètres (Groupe associatif estuaire, 2008). Ces cours d'eau aboutissent ensuite à l'estuaire par les bras du Veillon pour les deux premiers et de la Guittière pour le troisième. Plus en amont, ils se ramifient en sous-bassins. Hormis la zone urbanisée de Talmont, ils drainent pour l'essentiel des zones agricoles (polyculture, élevage, céréales).



La situation géographique de la zone ostréicole du Payré, comme celle des zones estuariennes analogues, confère à ce site une réelle fragilité au plan sanitaire. Celui-ci se trouve en effet exposé aux apports du bassin versant, utiles lorsqu'il s'agit d'apports équilibrés en éléments nutritifs favorisant le développement du phytoplancton, mais susceptibles d'effets néfastes lorsqu'il s'agit de contaminants. De fait, les résultats du réseau de surveillance microbiologique géré par l'IFREMER (REMI) montrent que ce secteur est soumis à des épisodes récurrents de contamination fécale, parfois importants, qui ont entraîné le classement B de la zone ostréicole. Malgré les progrès de l'assainissement des communes riveraines, l'évolution récente ne laisse pas entrevoir d'amélioration notable de la situation sanitaire pour l'ostréiculture. Il est nécessaire d'entreprendre des démarches supplémentaires de reconquête de la qualité des eaux conchylicoles.

Dans cet esprit, nous avons mené depuis 2007 deux études complémentaires cofinancées par la Région des Pays de la Loire (réponses aux appels à proposition 2007 et 2008 du SMIDAP), pour recueillir des éléments permettant de mieux appréhender les épisodes de pollution microbiologique dans les chenaux. En préambule, un bilan des connaissances sur les contaminations observées a été produit à partir d'une analyse fine des résultats du REMI sur la période 1989-2009. Ce bilan (§ 2) a servi de base pour établir le protocole de ces études. Celles-ci sont présentées globalement à partir du § 3. La première étude (2007-2008) a été centrée sur les aspects hydrauliques au niveau des parcs ostréicoles et sur la contamination bactériologique des huîtres. La seconde (2008-2010) avait pour objectif d'étudier les flux bactériens provenant du bassin versant, ainsi que leur impact sur les zones de production, en lien avec le fonctionnement hydrologique du système estuarien. Elles ont été soutenues par le Comité Régional Conchylicole (SRC) des Pays de la Loire et menées en partenariat avec le Syndicat des Conchyliculteurs du Bassin du Payré (SCOBAP) et le Groupe Associatif Estuaire.

2. Bilan des connaissances acquises: analyse des résultats du REMI (Réseau de surveillance microbiologique) de 1989 à 2009.

Les résultats du REMI sur les stations de la Guittière et du Veillon sur la période 1989-2009 ont fait l'objet de différentes analyses statistiques. Leur exploitation nous a fourni des indications sur l'évolution temporelle des contaminations au cours des 20 dernières années, et sur leurs variations saisonnières en fonction des conditions environnementales (climatologie, données anthropiques...).

2.1 Analyse des tendances brutes sur la période 1989-2009

On entend par tendances brutes les évolutions des contaminations non corrigées des facteurs liés à l'environnement (pluviométrie, marées...). 34% des résultats d'analyses sont supérieurs au seuil réglementaire de 230 *E. coli*/100g CLI (chair et liquide intervalvaire), pour un classement A de la zone à la Guittière et 39% au Veillon. L'évolution des fréquences de dépassement de ce seuil révèle une fluctuation importante de la qualité des produits sur ces secteurs au cours du temps. Néanmoins, une tendance à la détérioration est mise en évidence depuis 2003, en particulier au Veillon. Les dépassements supérieurs à 4600 *E. coli*/100g CLI sont aujourd'hui rares côté Guittière ce qui n'est pas le cas au Veillon.

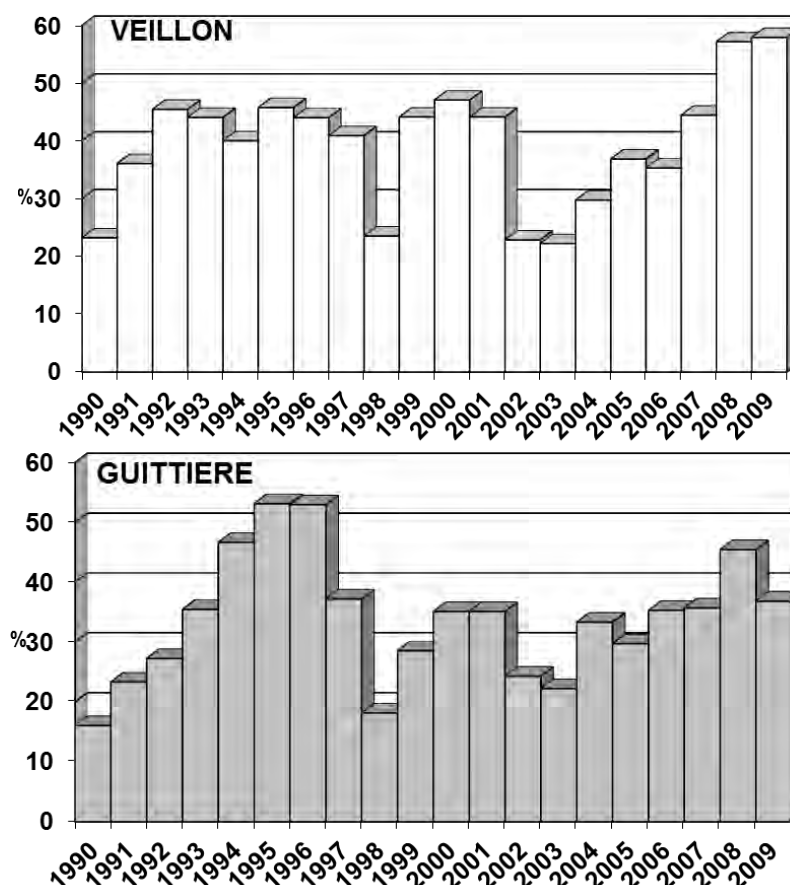


Figure 1 : évolution des pourcentages moyens annuels de dépassements du seuil de 230 *E. coli*/100g CLI sur la période 1990-2009

La différence de contamination entre les deux chenaux a également été examinée par période glissante de 5 ans (en mode de données appariées) de 1989 à 2009. Le chenal du Veillon apparaît plus soumis aux contaminations que celui de la Guittière sauf sur une courte période (1993-1998). Depuis le début des années 2000, cette différence s'accroît.

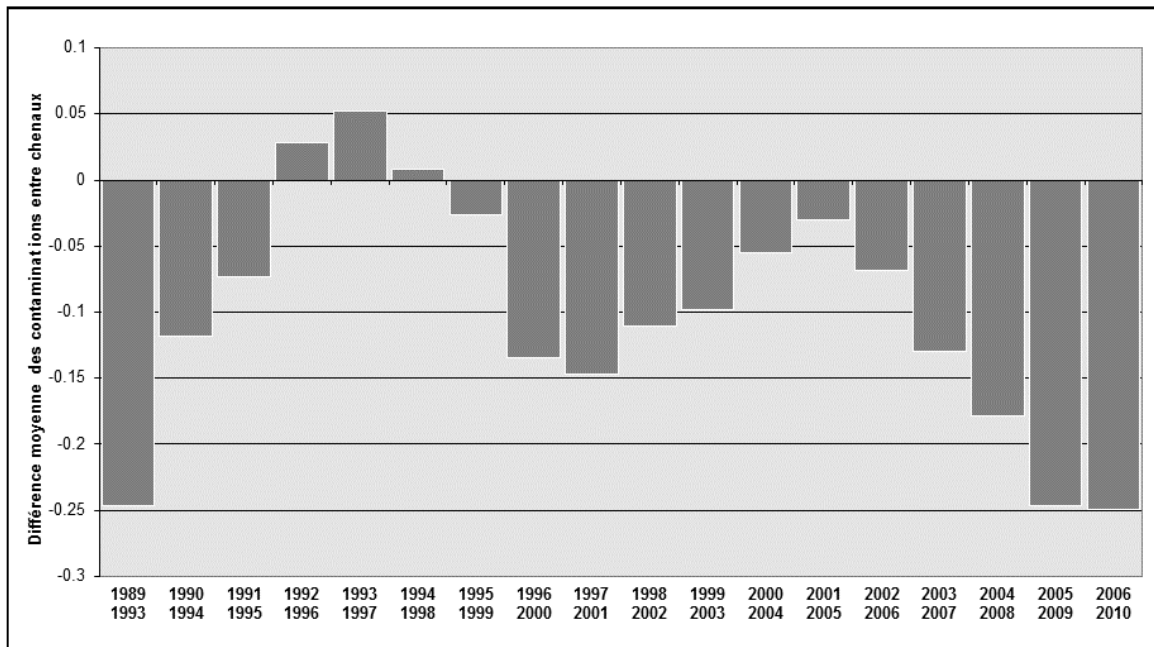


Figure 2 : évolution du différentiel de contamination entre les chenaux du Veillon et de la Guittière (moyenne glissante par période de 5 ans)

A la Guittière depuis 1999, on observe une tendance saisonnière marquée des contaminations : cycle avec un minimum en avril et un maximum en novembre.

Au Veillon, à la tendance saisonnière décrite à la Guittière s'ajoutent des contaminations fréquentes entre mai et juillet.

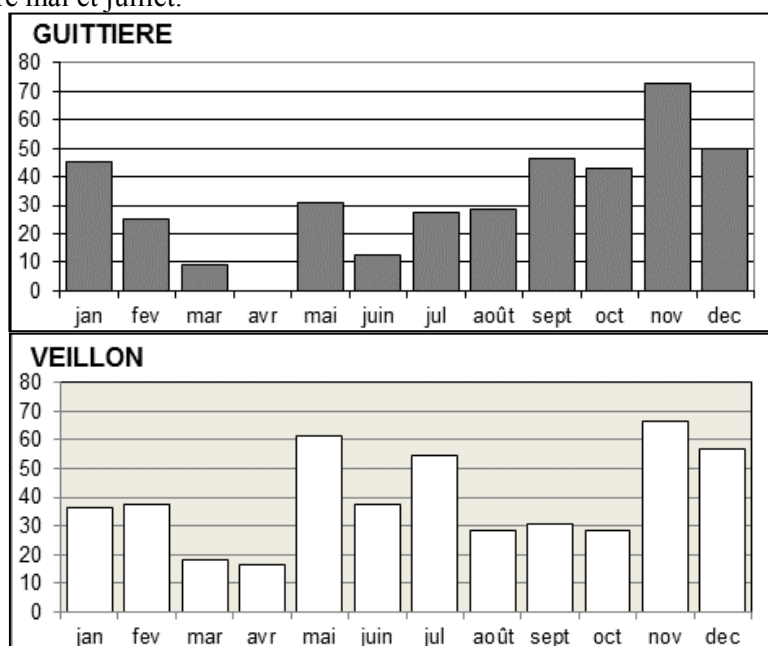


Figure 3: évolution des pourcentages mensuels moyens de dépassements du seuil de 230 *E. coli*/100g CLI de 1990 à 2009

2.2 Influence des paramètres environnementaux sur les contaminations

Une analyse statistique (modèle linéaire général) a permis d'établir une relation entre la contamination des huîtres et les facteurs environnementaux tels que la pluie, les vents (force et direction), la marée (coefficients, revif/déchet), et les débits des cours d'eau (d'après la station de référence de la Ciboule, § 3.1).

Elle confirme une influence significative de la pluie efficace ('pluie cumulée sur 5 jours' x 'pluie cumulée sur 2 mois') sur la contamination des coquillages aux deux points Guittièrre et Veillon. Un effet favorisant du régime de débit de La Ciboule est également constaté. Ces deux paramètres expliquent respectivement de l'ordre de 30 à 40 % de la contamination mesurée à La Guittièrre et au Veillon.

L'influence du vent semble par contre faible, tout comme celui de la marée. Cependant la stratégie du REMI vis à vis de la marée (en faibles coefficients) ne permet pas de conclure sur ce dernier facteur.

2.3 Analyse des tendances corrigées des effets climatiques

Comme le montre l'analyse des données brutes, la pluie joue un rôle majeur dans le transfert de la charge bactérienne. Pour analyser la tendance entre les années indépendamment du facteur pluie, on procède à un ajustement des données à pluies égales. Au Veillon comme à la Guittièrre, une tendance significative à l'aggravation se confirme (respectivement aux seuils 10% et 5%) à partir de l'année 2000.

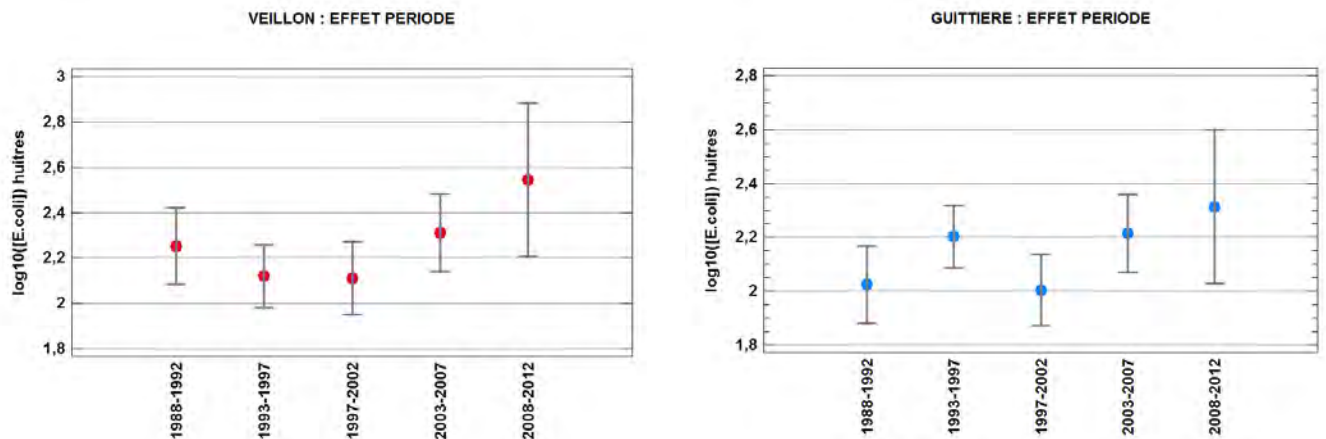


Figure 4 : évolution de la contamination moyenne des huîtres selon la saison

L'analyse des tendances saisonnières corrigées ne révèle pas de fluctuations statistiquement significatives des apports au Veillon selon les périodes de l'année, compte-tenu des intervalles de confiance attachés aux résultats. Par contre à La Guittière, les contaminations apparaissent plus importantes en été et en automne.

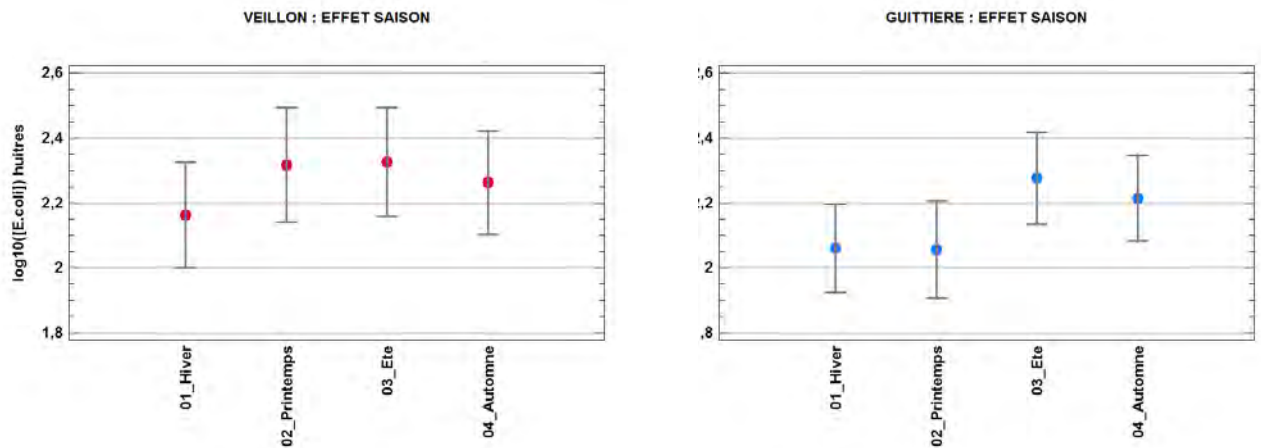


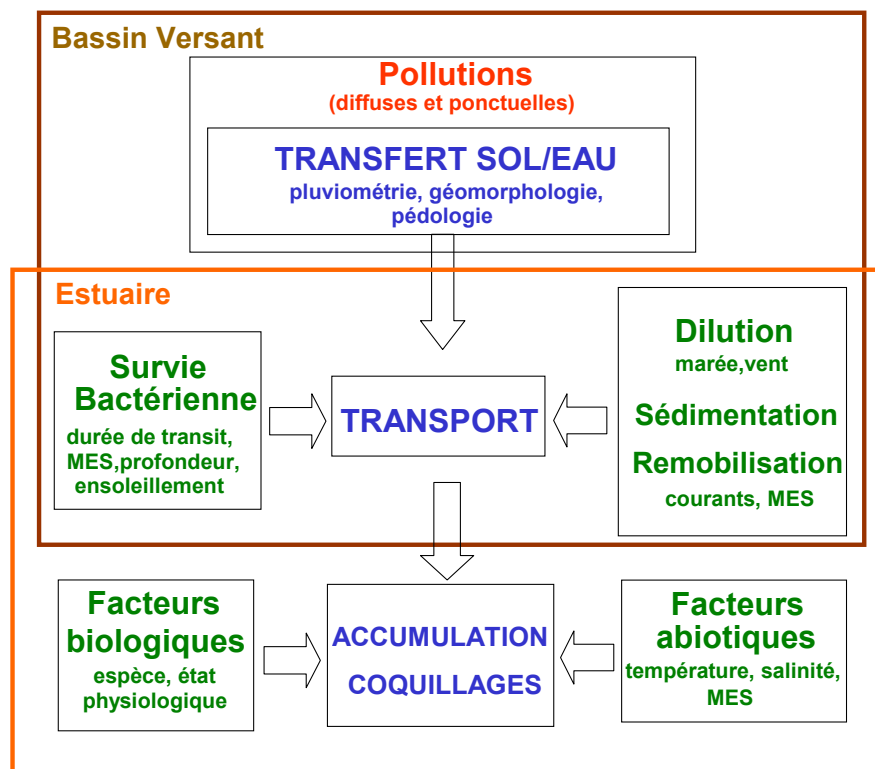
Figure 5 : évolution de la contamination moyenne des huîtres selon la saison

L'analyse des données du REMI sur la période confirme le classement B de l'ensemble des secteurs de production ostréicole. Une tendance à la détérioration semble se dessiner depuis le début des années 2000. On observe également une contamination des huîtres significativement plus élevée sur le chenal du Veillon. L'analyse des effets climatiques montre que les épisodes pluvieux jouent un rôle important dans le transfert des contaminations microbiennes, via les fluctuations de débit des cours d'eau drainant le bassin versant. L'influence d'autres paramètres (vents, coefficient de marée) dans les mouvements des masses d'eau semble moins évidente. Toutefois la stratégie de prélèvement des échantillons d'huîtres par faibles coefficients dans le cadre du REMI ne permet pas de conclure sur ce dernier point. Abstraction faite de l'influence des pluies, la tendance à l'aggravation évoquée précédemment persiste.

Ces résultats laissent supposer d'ores et déjà une origine multiple des contaminations, qui peuvent être à la fois ponctuelles (rejets directs localisés), dispersées (rejets sans localisation précise) ou diffuses (transfert par ruissellement). Les informations recueillies ont permis d'orienter les études présentées ci-après, en cherchant à analyser les contaminations des huîtres dans le contexte du fonctionnement hydraulique du bassin versant et de l'estuaire.

3. Matériels et méthodes

En règle générale, les sources de pollution sont réparties sur les bassins versants, ce qui n'exclut pas d'en trouver également à proximité des zones de production. Les contaminations sont véhiculées vers l'aval. Le transport des micro-organismes est tributaire de plusieurs facteurs, notamment le débit des cours d'eau (eux-mêmes dépendant de la pente, de la nature des sols, de la pluviométrie..) pouvant favoriser leur cheminement ou entraîner leur sédimentation selon les circonstances. Au cours de leur transport, ils peuvent subir un abattement que l'on mesure en caractérisant leur vitesse de disparition selon le temps nécessaire pour que 90% de la population initiale ait disparue (T90). Des facteurs tels que la distance séparant la source des points de mesure, les paramètres physico-chimiques de l'eau (température, salinité, turbidité), la présence de matière organique, l'ensoleillement, le vent (...) jouent un rôle important dans ce processus. Au niveau de l'estuaire, l'influence de la marée se fait sentir : morphologie des chenaux, mélange des eaux (dilution), intensité des courants (coefficients, agitation, sédimentation, remobilisation...). Enfin, la contamination atteint les zones ostréicoles. La fraction des germes microbiens ayant survécu est alors susceptible de contaminer les huîtres selon les conditions physiologiques de celles-ci, variables selon les saisons.



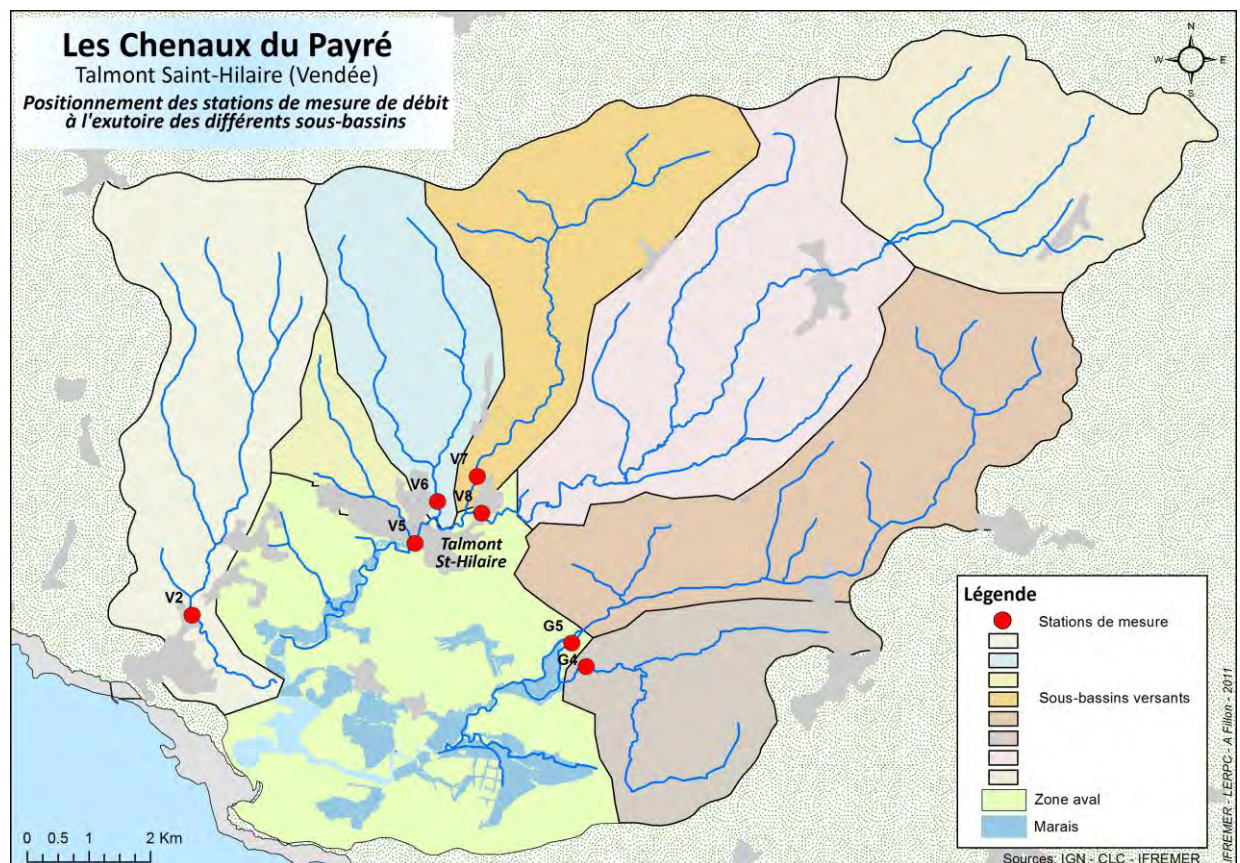
Pour analyser ce processus complexe, il est apparu assez rapidement que la compréhension de l'impact des apports du bassin versant sur les zones ostréicoles nécessitait d'étudier les contaminations observées en regardant également les caractéristiques hydrauliques et hydrologiques des chenaux. On a recherché les relations entre les facteurs susceptibles d'expliquer les contaminations observées sur les huîtres.

Des études ont ainsi été menées sur différents compartiments, en vue de dresser une analyse globale du problème :

- caractéristiques hydrauliques des cours d'eau drainant le bassin versant,
- rôle de l'hydraulique estuarienne : circulation des masses d'eau, volume oscillant, influence sur l'écoulement des eaux issues du bassin versant, dilution amont-aval,
- contamination de l'eau : étude des flux amont (lien avec les pluies et les débits, hiérarchisation par sous-bassin), devenir des apports bactériologiques durant leur transit vers l'aval,
- contamination des huîtres : niveaux, répartition spatio-temporelle de la contamination, lien avec les différents facteurs environnementaux agissant sur le processus,
- recherche de pistes permettant d'orienter les acteurs locaux pour réduire les sources de contamination,
- recherche d'éléments pouvant permettre la mise au point d'un système d'alerte.

Les données et traitements globaux sont présentés dans les annexes en fin de rapport.

3.1 Hydraulique et paramètres physico-chimiques des cours d'eau



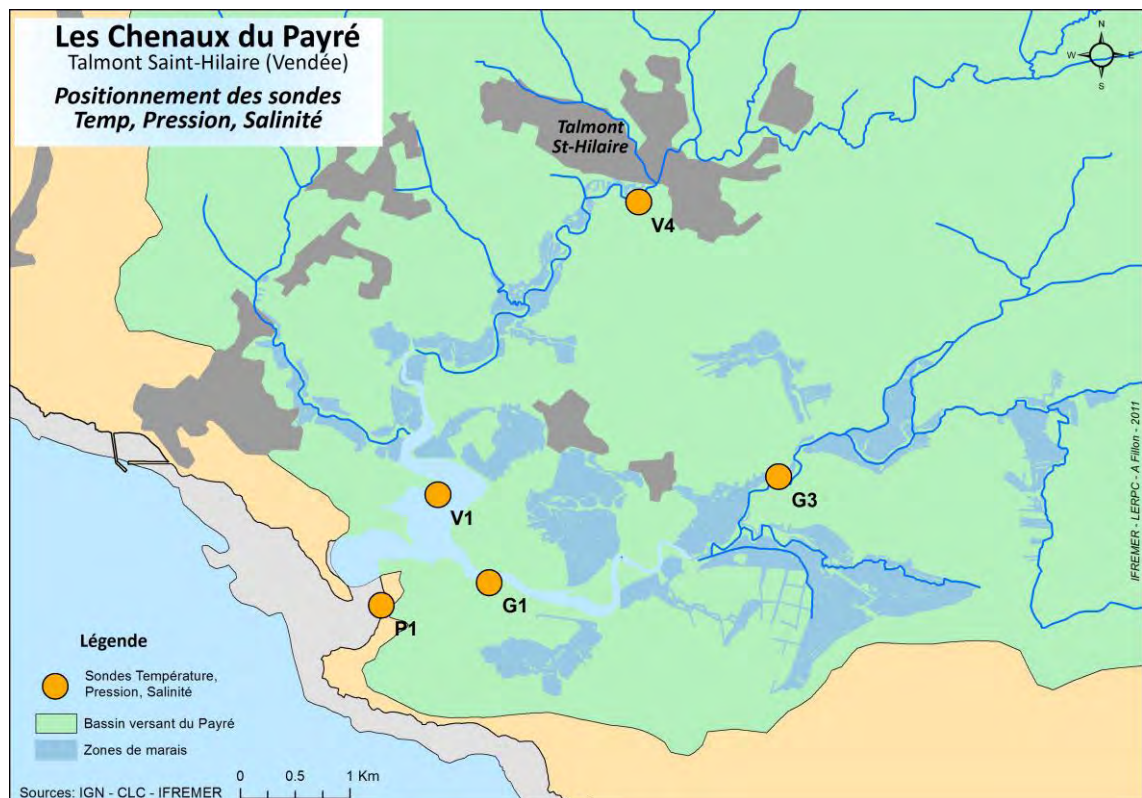
Le bassin versant étant constitué de plusieurs sous-bassins, il importait de dresser un bilan des apports de ces derniers, afin si possible de hiérarchiser leurs contributions respectives en terme de flux bactériens pouvant impacter les zones en aval. Pour établir ce diagnostic, le bassin versant global a été divisé en sous-bassins dont les surfaces respectives ont été hiérarchisées à partir de la base de données ALTI de l'IGN.

Sept stations de mesures de débits, numérotées G4, G5, V2, V5, V6, V7, V8, ont été positionnées sur les affluents. Leurs positions géographiques, de même que celles des

différentes stations échantillonnées dans le cadre de l'étude ont été géoréférencées à partir de données fournies par l'IGN, celles-ci nous ayant permis d'établir la cartographie du réseau hydrographique de l'ensemble " Payré ".

Les débits des cours d'eau drainant les sous-bassins ont été mesurés au cours de 26 campagnes bimensuelles entre octobre 2008 et janvier 2010, à l'aide d'un courantomètre portatif OTT type ADC. En parallèle des mesures de température et de salinité ont été effectuées avec un thermosalinomètre portatif WTW. Dans le but d'établir des modèles prévisionnels, les débits mesurés sur les sous-bassins ont été comparés à ceux d'une rivière voisine la Ciboule. Ce cours d'eau est en effet doté d'une station de mesures fixe au lieu-dit « La Renelière » sur la commune de La Chapelle-Achard. Il est fait l'hypothèse que les régimes hydrauliques de ces différents cours d'eau peuvent être similaires, étant localisés dans la même région, donc soumis aux mêmes contraintes climatiques et présentant des caractéristiques morphologiques, topologiques et géologiques analogues.

3.2 Hydraulique et paramètres physico-chimiques de l'estuaire



L'objectif visé est de décrire les mouvements des masses d'eau dans l'estuaire pour mieux comprendre les caractéristiques de la circulation des eaux provenant de l'amont dans cet espace et notamment leur évacuation vers l'océan.

Pour étudier les mouvements des masses d'eau dans les parties soumises aux effets de la marée (estuaire et partie aval des chenaux principaux), trois courantomètres DOPPLER « petits fonds » Argonaut SW Sontek ou « grands fonds » ADCP ont été placés de l'amont vers l'aval afin d'enregistrer en continu les vitesses de courants.

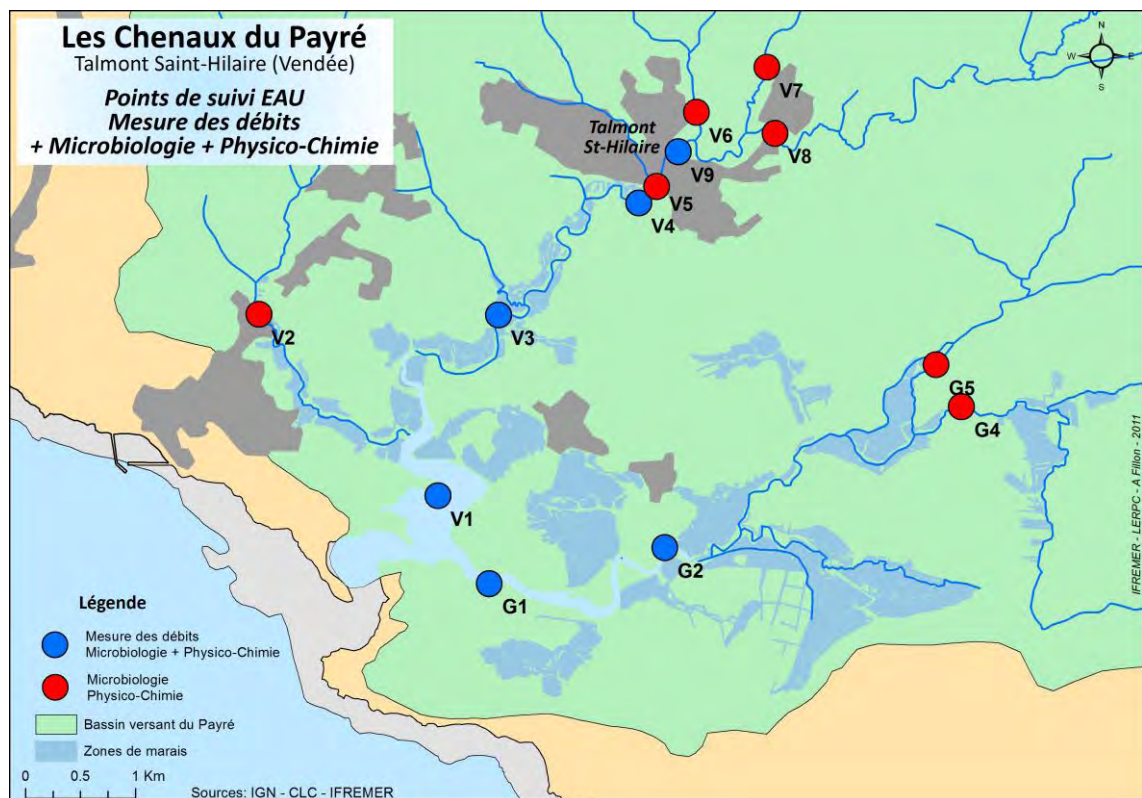
Les profils de l'estuaire et des chenaux ont ensuite été acquis au moyen d'un DGPS TRIMBLE pour le calcul des sections mouillées au droit des courantomètres, permettant ainsi d'établir les débits entrants et sortants du système.

Des sondes multiparamètres YSI et STPS NKE ont été disposées en divers endroits pour la mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau (pression, température, salinité). Ces données ont été acquises en vue d'établir les caractéristiques des échanges hydrauliques entre l'Océan, le système estuarien et le bassin versant, de même que les caractéristiques hydrologiques des masses d'eau concernées par ces échanges.

3.3 Contamination microbienne de l'eau

Simultanément aux estimations de débits sur les stations amont, des mesures de turbidité et des dénombrements de germes témoins de contamination fécale (*E. coli*) dans l'eau ont été effectuées, afin notamment d'estimer les flux bactériens apportés par les sous bassins.

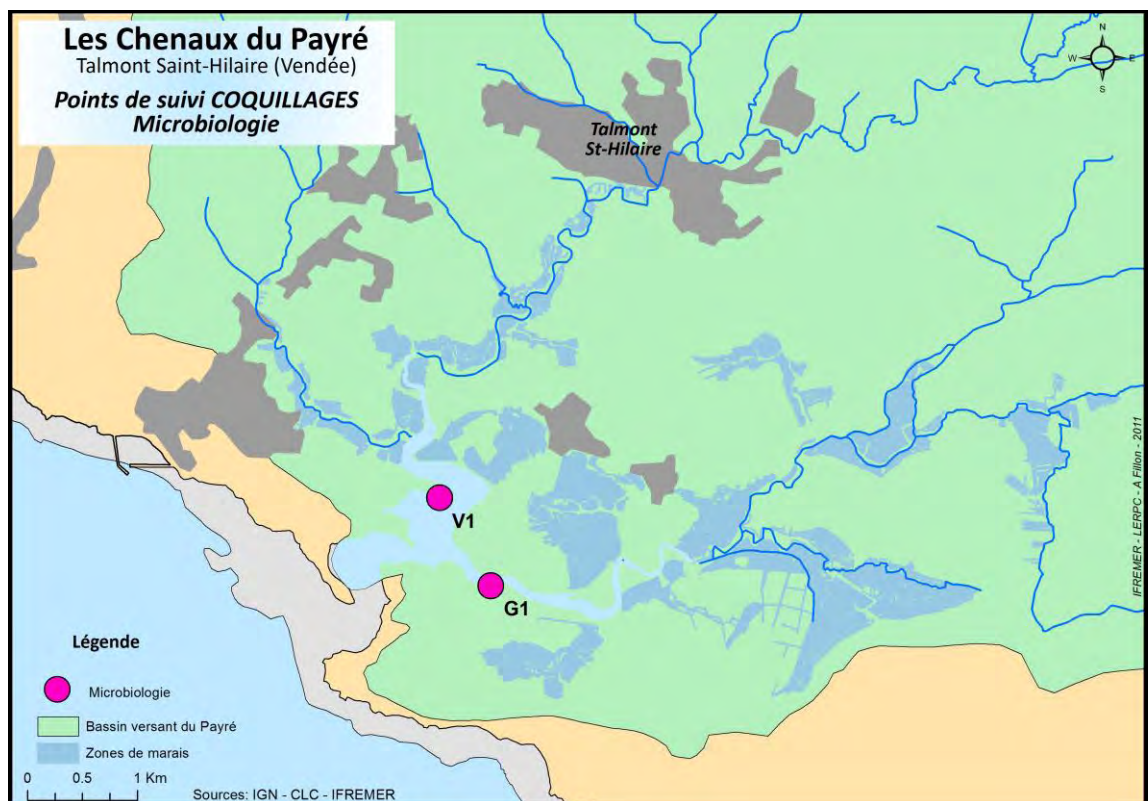
D'autres stations d'échantillonnages ont été positionnées pour étudier les caractéristiques des contaminations le long des chenaux, notamment l'abattement entre amont et aval. Des prélèvements d'eau y ont été effectués simultanément aux mesures de débit amont. Les analyses colimétriques de l'eau ont été effectuées au LER/PC La Rochelle (Méthode miniaturisée NPP-Norme NF ISO 9308-3).



Par ailleurs, les données pluviométriques sur les quatre stations les plus proches de la zone d'étude de 1990 à 2010 ont été acquises auprès des services de la Météorologie Nationale, afin de situer les résultats microbiologiques dans leur contexte climatique.

3.4 Contamination microbienne des coquillages

Des poches d'huîtres ont été placées en plusieurs points de la zone ostréicole : 7 stations sur des tables à huîtres à l'anse du Piquet, à la Guittière et au Veillon en 2007-2008 (23 campagnes de prélèvements), puis 2 stations immergées à la Guittière et au Veillon en 2008-2010 (28 campagnes de prélèvements). Il s'agissait d'étudier les différents aspects des contaminations subies par ces coquillages: niveau des contaminations, spatialisation, fréquence, saisonnalité, relations avec les paramètres environnementaux, avec les apports des sous bassins versants, existence d'éventuelles sources de contamination en aval.



Les analyses dans les huîtres ont été sous-traitées au Laboratoire de l'Environnement et de l'Alimentation de la Vendée (étude 2007-2008) et au Laboratoire d'Analyses Sèvre Atlantique (étude 2008-2010) : méthodes NF 08-600 ISO 16649-3 en 2007 et ISO 16649-3 de 2008 à 2010.

4. Résultats et discussion

4.1 Hydraulique des cours d'eau

4.1.1 Relations des débits entre sous-bassins versants du Payré et Ciboule.

Les débits mesurés aux 7 stations positionnées sur les sous-bassins versants du Payré, ont été comparés par régression linéaire à ceux de la Ciboule.

Les résultats montrent une très bonne corrélation entre les débits journaliers de la Ciboule et ceux mesurés aux points G5, V2, V5, V6 et V7 (exemple : figure 6, corrélation débits V6 et Ciboule avec Débit V6 = 0.113 débit Ciboule)

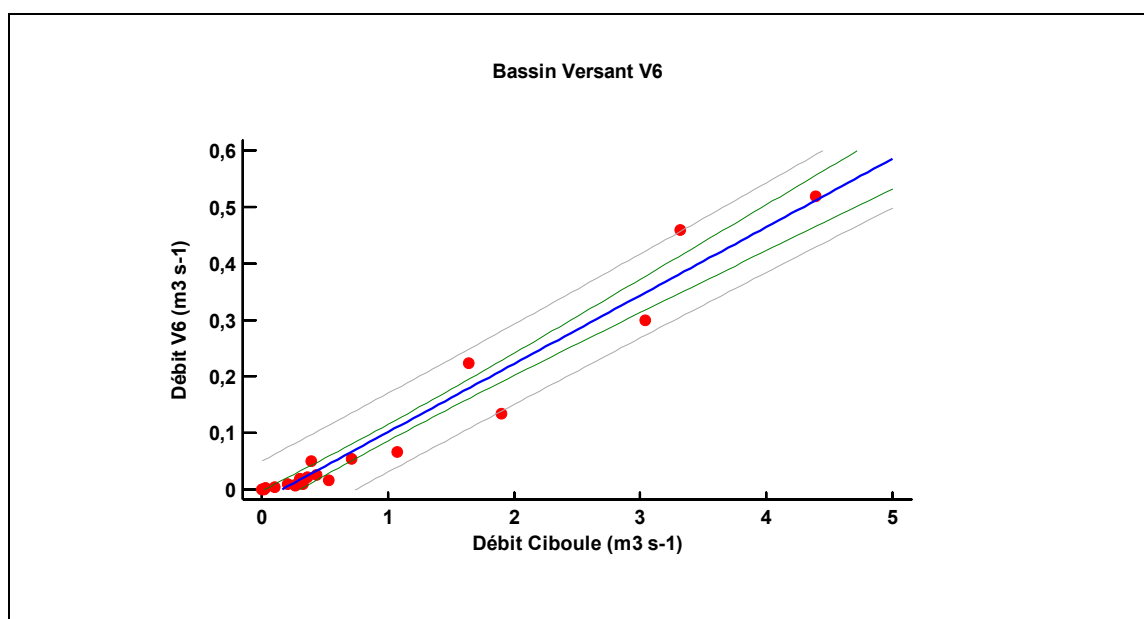


Figure 6 : corrélation débitsV6 et Ciboule

Le point G4 réagit différemment, car soumis à l'influence de la marée. Une fois corrigé de cette influence en ne retenant que les valeurs de débits obtenues avec une salinité inférieure à 3, ce point devient corrélé. Le point V8 présente deux résultats plus élevés, vraisemblablement à relier à des lâchers d'eau depuis le barrage de Finfarine situé en amont de ce sous-bassin. Les autres valeurs de débit mesurées à V8 sont très bien corrélées à celles mesurées sur la Ciboule.

L'ensemble des relations établies est consigné dans le tableau ci-dessous :

| BV | Point | N | Modèle | R ² | p |
|-----------|-------|----|-----------------------------------|----------------|------|
| Guittiere | G4 | 6 | Debit_G4 = 0,120*Debit_Ciboule | 75 | 0,02 |
| | G5 | 23 | Debit_G5=0,201*Debit_Ciboule | 90 | 0 |
| Veillon | V2 | 18 | Debit_V2 =0,172*Debit_Ciboule | 98 | 0 |
| | V5 | 24 | Debit_V5 =0,014*Debit_Ciboule | 96 | 0 |
| | V6 | 22 | Debit_V6 =0,113*Debit_Ciboule | 95 | 0 |
| | V7 | 23 | Debit_V7 =0,185*Debit_Ciboule | 98 | 0 |
| | V8 | 28 | Debit_V8 =0,165*Debit_Ciboule | 91 | 0 |

Tableau 1 : modèles utilisés pour les calculs de débits sur chaque station de mesure

A partir de l'historique des débits de cette station de référence, les débits journaliers de chaque sous bassin ont été reconstitués. Ils ont été ensuite utilisés pour l'étude des flux microbiens provenant des sous-bassins.

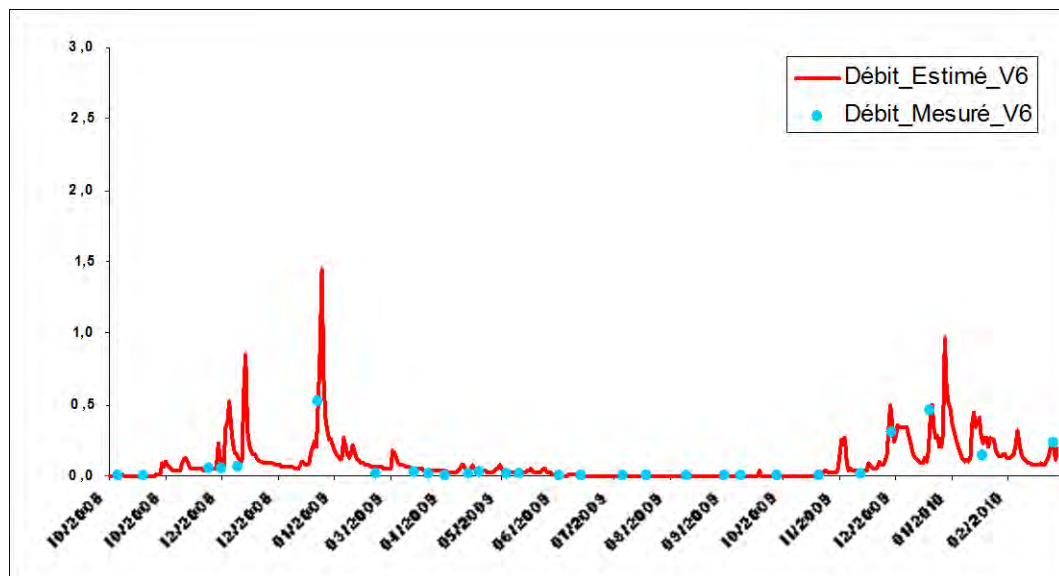


Figure 7 : débit reconstitué au point V6 d'octobre 2008 à février 2010 (exemple).

4.1.2 Relations entre surfaces de sous-bassins et débits

Les surfaces des sous-bassins sont reprises dans le tableau suivant :

| Sous-bassin | Surface (km ²) | Répartition surfaces |
|--------------------|----------------------------|--|
| V2 | 19.82 | Total Veillon : 98.99 km ² avec surface V8 total 65.69 km ² avec surface V8 aval du barrage |
| V5 | 3.05 | |
| V6 | 11.58 | |
| V7 | 14.83 | |
| V8 total | 41.58 | Total Guittière: 33.28 |
| V8 aval barrage | 16.43 | |
| G4 | 11.43 | Total Guittière: 33.28 |
| G5 | 21.85 | |
| Bassin Payré Gobal | 132.27 | |

Tableau 2 : surfaces des sous-bassins versants

L'existence d'une relation étroite entre pentes des modèles de débits et les surfaces des sous bassins versants démontre une proportionnalité entre les débits et les surfaces de ces derniers.

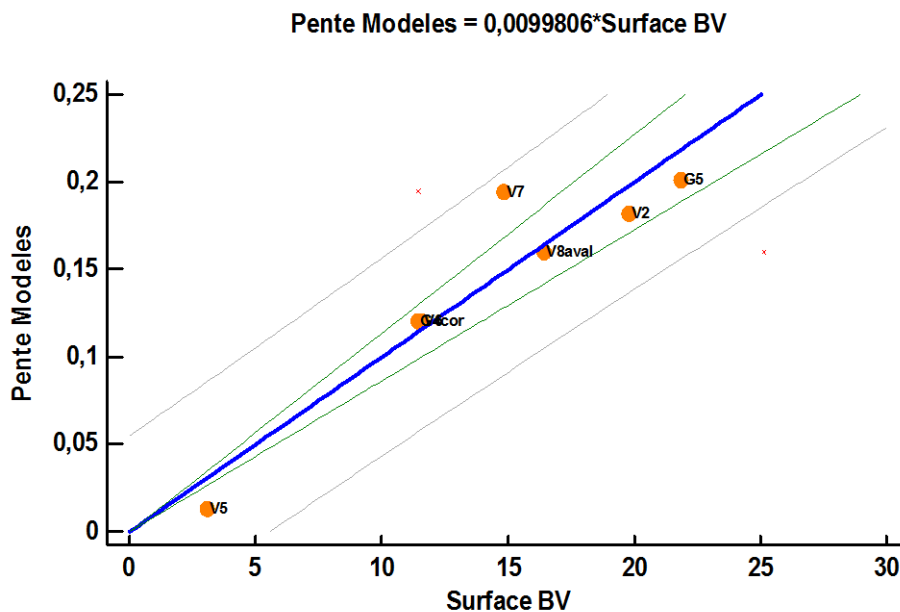


Figure 8 : Proportionnalité entre les pentes des modèles de débits et les surfaces des sous-bassins

4.1.3 Régime hydraulique du bassin versant

La somme des débits précédemment reconstitués permet d'établir le régime hydraulique des deux sous-bassins versants principaux Guittière et Veillon sur la période 1988-2010.

Le sous bassin versant du Veillon présente un débit médian double de celui de la Guittière. Ces débits médians présentent un maximum de $0,80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au Veillon et $0,40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à La Guittière en hiver. La période d'étiage s'étend de juin à octobre (débits quasiment nuls). En crue, les valeurs maximales avoisinent les $18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au Veillon et les $9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à La Guittière.

| MOIS | VEILLON | | | GUITTIERE | | |
|------|---------|-------------|-------|-----------|-------------|------|
| | min | median | max | min | median | max |
| 1 | 0,15 | 0,83 | 17,71 | 0,07 | 0,42 | 8,85 |
| 2 | 0,18 | 0,68 | 15,21 | 0,09 | 0,34 | 7,61 |
| 3 | 0,13 | 0,45 | 8,35 | 0,06 | 0,22 | 4,17 |
| 4 | 0,04 | 0,30 | 9,13 | 0,02 | 0,15 | 4,56 |
| 5 | 0,01 | 0,15 | 4,09 | 0,00 | 0,07 | 2,04 |
| 6 | 0,00 | 0,03 | 2,46 | 0,00 | 0,02 | 1,23 |
| 7 | 0,00 | 0,00 | 1,06 | 0,00 | 0,00 | 0,53 |
| 8 | 0,00 | 0,00 | 1,68 | 0,00 | 0,00 | 0,84 |
| 9 | 0,00 | 0,00 | 7,39 | 0,00 | 0,00 | 3,69 |
| 10 | 0,00 | 0,05 | 9,20 | 0,00 | 0,03 | 4,60 |
| 11 | 0,00 | 0,26 | 16,38 | 0,00 | 0,13 | 8,19 |
| 12 | 0,05 | 0,63 | 16,30 | 0,03 | 0,32 | 8,15 |

Tableau 3 : débits mensuels globaux des sous-bassins Guittière et Veillon

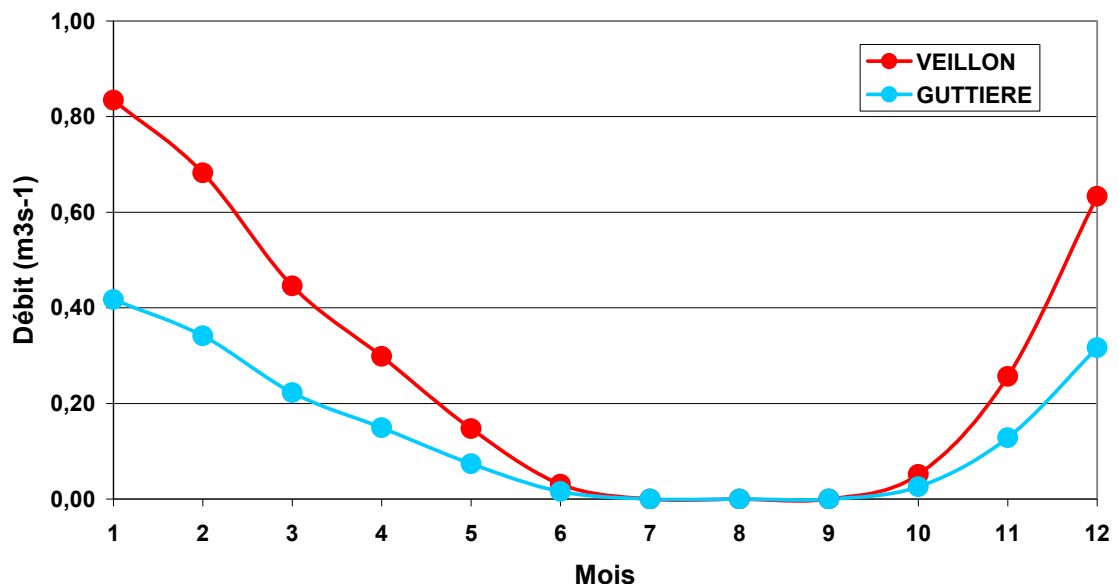


Figure 9 : courbes des débits médians reconstitués 1990-2009 Guittière et Veillon

Les débits des cours d'eau drainant le bassin versant du Payré (lui-même divisé en sous-bassins) sont corrélés avec ceux d'une rivière voisine, la Ciboule, disposant d'une station de mesures. En se basant sur le régime hydraulique de cette rivière, il a été possible de reconstituer les régimes de ces cours d'eau. Ces informations couplées aux résultats d'analyses bactériologiques obtenus sur les échantillons d'eau ont été utilisées dans la suite du rapport pour évaluer et hiérarchiser les flux microbiens véhiculés vers l'aval à partir des différents sous-bassins.

4.2 Hydraulique de l'estuaire

4.2.1 Echanges d'eau avec l'Océan.

4.2.1.1 Caractéristiques de la marée dans les chenaux du Payré

Les données fournies au cours de l'étude 2007-2008 par les sondes et les courantomètres montrent en premier lieu une dissymétrie du signal de marée dans les chenaux avec un temps de flot plus court et que le temps de jusant. De plus, le volume d'eau entrant s'accroît d'autant plus par rapport au volume expulsé que les coefficients de marée augmentent (revif). L'inverse est observé quand les coefficients diminuent (déchet). Ces phénomènes peuvent être amplifiés ou contrariés selon les conditions météorologiques (pression atmosphérique, force et direction du vent). On constate également que le niveau moyen des basses mers de mortes eaux est inférieur à celui des basses mers de vives eaux..

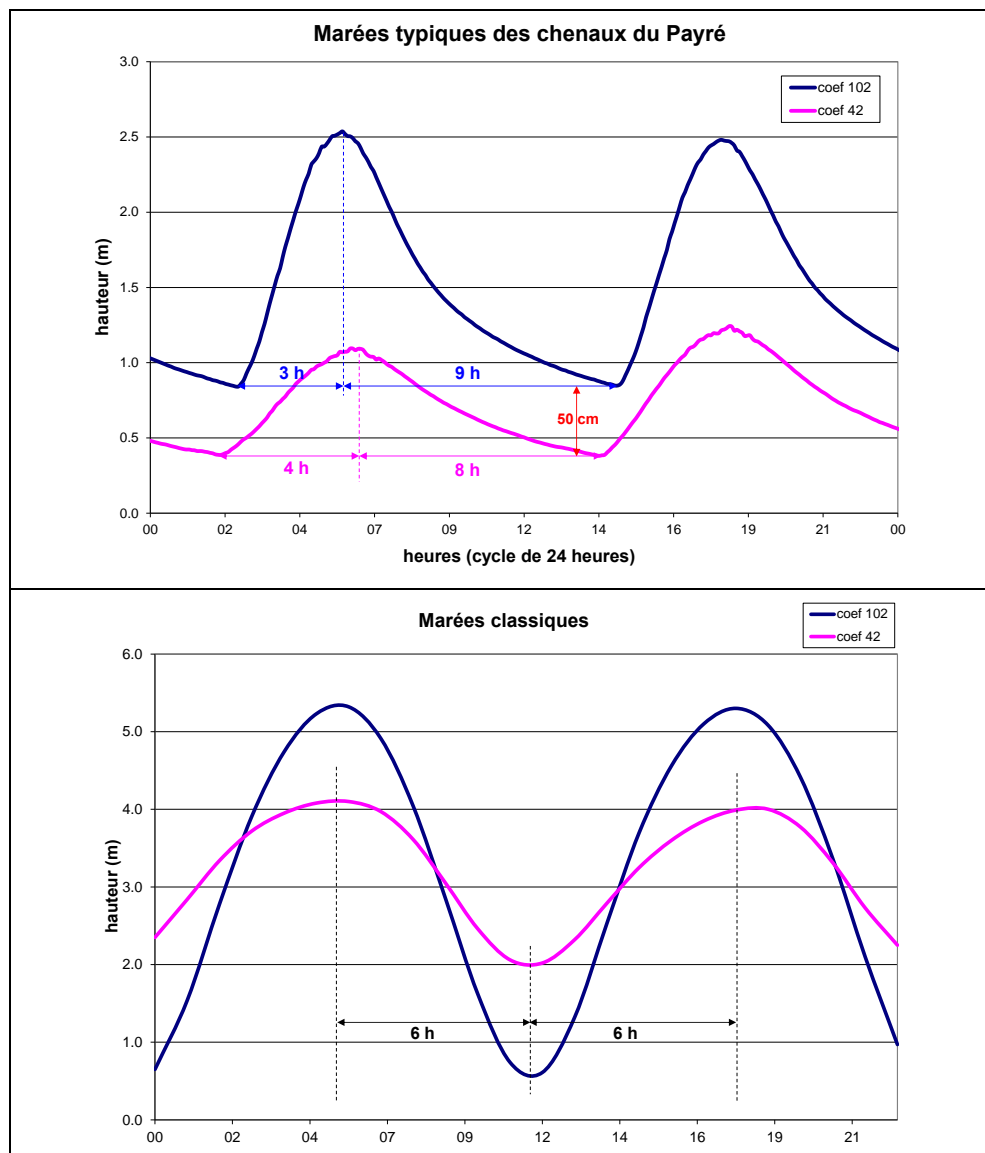


Figure 10 : dissymétrie du signal de marée

Cette particularité du site a été confirmée sur la période 2008-2010 par l'observation de l'évolution des hauteurs d'eau moyennes aux points de mesure selon les coefficients de marée par rapport aux Sables d'Olonne. La figure ci-après présente l'évolution de ces valeurs de l'aval vers l'amont dans les deux chenaux.

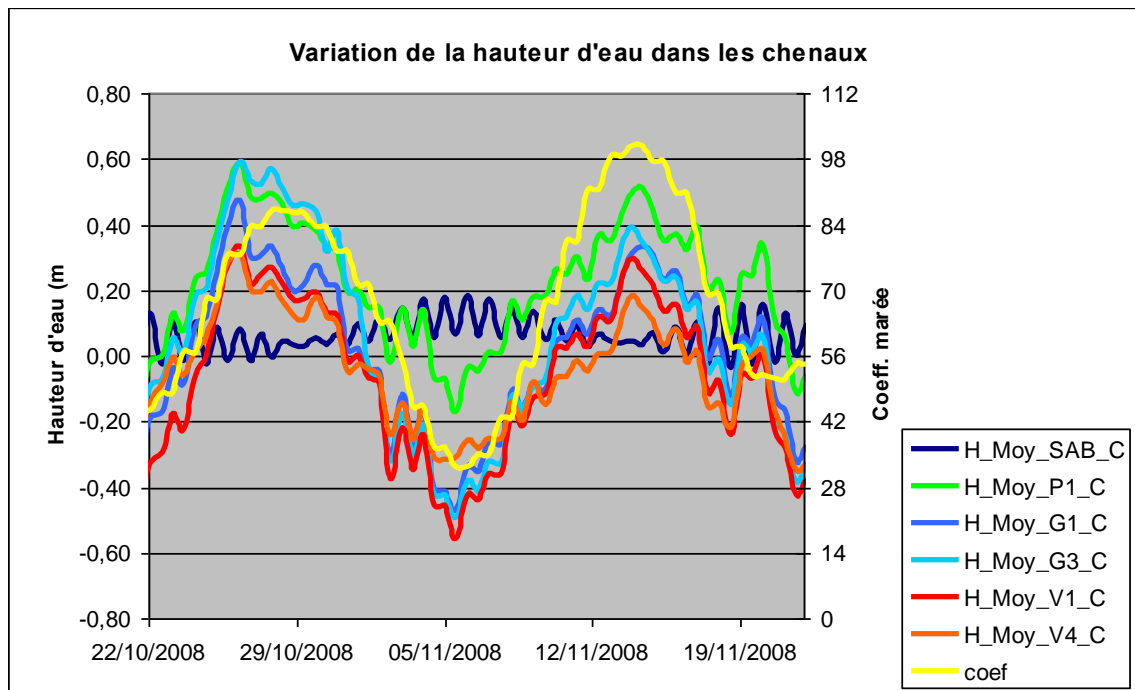


Figure 11 : comparaison selon les cycles de marée de l'évolution du niveau moyen (hauteur d'eau à mi-marée) aux stations de mesures dans les chenaux par rapport aux Sables d'Olonne.

L'ensemble de ces observations indique que le niveau de l'eau dans l'estuaire évolue au rythme des cycles de marée. Il augmente en tout point en même temps que les coefficients et inversement. On peut également constater que ce même niveau reste globalement stable aux Sables d'Olonne. Pour une même marée, l'amplitude de ce phénomène peut varier du simple au double selon les stations. Il met en évidence une tendance propre à l'estuaire : la vidange est progressivement plus faible en période de revif et se renforce en période de déchet. L'eau aura ainsi tendance à s'accumuler dans l'estuaire au cours de la première période alors qu'elle s'évacuera mieux vers la mer en seconde période.

On constate également un décalage temporel de la marée au Veillon et à la Guittière avec un retard sensible de la basse mer au Veillon et à la Guittière de l'ordre de 3 à 4 heures, selon les conditions environnementales. Ce phénomène connu dans les estuaires semble particulièrement marqué ici, probablement en raison de la morphologie de l'embouchure de celui-ci. Les modalités des calculs d'amplitude et de retard de marée sont indiquées ci-dessous.

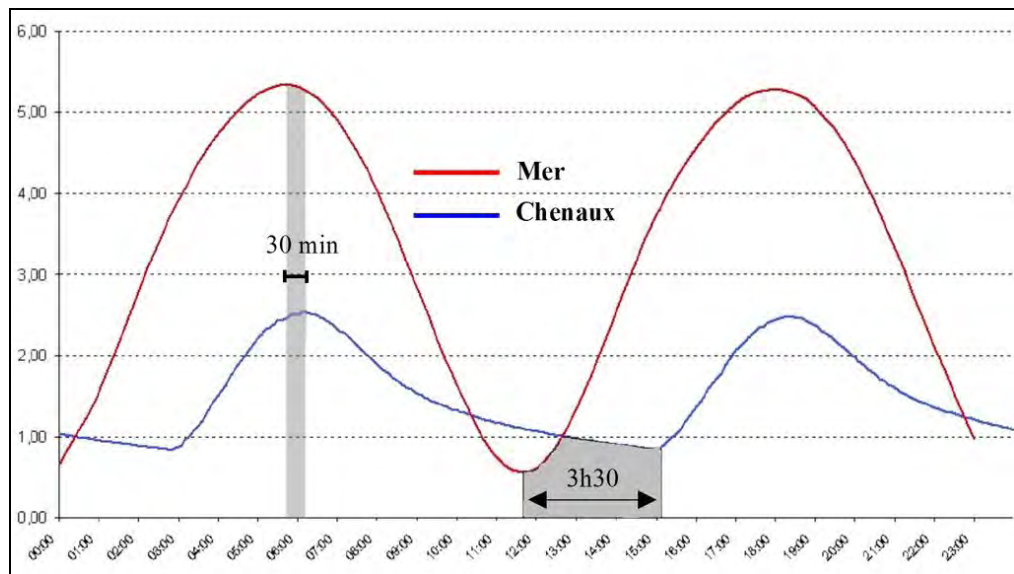


Figure 12 : comparaison des signaux de marée relevés aux chenaux du Payré et en mer à coefficient 70 (Sables d'Olonne)

Amplitude Marée

$$\begin{aligned}
 H_Ampl_SAB &= 1,40571 - 0,551528*I1(1) + 0,0278251*coef \\
 H_Ampl_P1 &= 0,479538 - 0,00327427*I1(1) + 0,017366*coef \\
 H_Ampl_G1 &= 0,215585 + 0,00667362*I1(1) + 0,0163928*coef \\
 H_Ampl_G3 &= -0,000740072 + 0,0269312*I1(1) + 0,0137701*coef \\
 H_Ampl_V1 &= 0,115652 + 0,00491951*I1(1) + 0,0171972*coef \\
 H_Ampl_V4 &= -0,371406 + 0,0134396*I1(1) + 0,0169717*coef
 \end{aligned}$$

Durée Marée

$$\begin{aligned}
 Duree_Maree_SAB &= 12,4933 + 0,0580081*I1(1) - 0,00226817*coef \\
 Duree_Maree_P1 &= 12,6049 - 0,0306192*I1(1) - 0,0042556*coef \\
 Duree_Maree_G1 &= 12,6885 + 0,0313747*I1(1) - 0,00510136*coef \\
 Duree_Maree_V1 &= 12,6798 + 0,0298088*I1(1) - 0,00501491*coef \\
 Duree_Maree_V4 &= 12,6447 + 0,0159309*I1(1) - 0,00458675*coef
 \end{aligned}$$

Retard Pleine Mer par rapport aux Sables

$$\begin{aligned}
 Date_PM_SAB-Date_PM_P1 &= 0,0776004 + 0,00983043*I1(1) - 0,000841782*coef \\
 Date_PM_SAB-Date_PM_G1 &= 0,0433512 + 0,0114093*I1(1) - 0,000565173*coef \\
 Date_PM_SAB-Date_PM_G3 &= 0,0190086 + 0,0103351*I1(1) - 0,000555012*coef \\
 Date_PM_SAB-Date_PM_V1 &= 0,0467849 + 0,011432*I1(1) - 0,00061361*coef \\
 Date_PM_SAB-Date_PM_V4 &= 0,0259354 + 0,0114716*I1(1) - 0,000662634*coef
 \end{aligned}$$

Retard Basse Mer par rapport aux Sables

$$\begin{aligned}
 Date_BM_SAB-Date_BM_P1 &= -0,0213813 + 0,00500621*I1(1) - 0,000736999*coef \\
 Date_BM_SAB-Date_BM_G1 &= -0,0866791 + 0,00857005*I1(1) - 0,000377428*coef \\
 Date_BM_SAB-Date_BM_G3 &= -0,262437 + 0,00974572*I1(1) + 0,00116986*coef \\
 Date_BM_SAB-Date_BM_V1 &= -0,0893582 + 0,00836098*I1(1) - 0,000299295*coef \\
 Date_BM_SAB-Date_BM_V4 &= -0,116008 + 0,00888093*I1(1) - 0,00028304*coef
 \end{aligned}$$

4.2.1.2 Etude du volume oscillant

Le terme de volume oscillant désigne la différence de volume entre une pleine mer et la basse mer précédente. Le traitement du signal des sondes et des courantomètres doppler a permis de caractériser les volumes oscillants à l'Anse du Piquet, au Veillon et à la Guittière au cours d'un cycle mortes eaux/vives eaux.

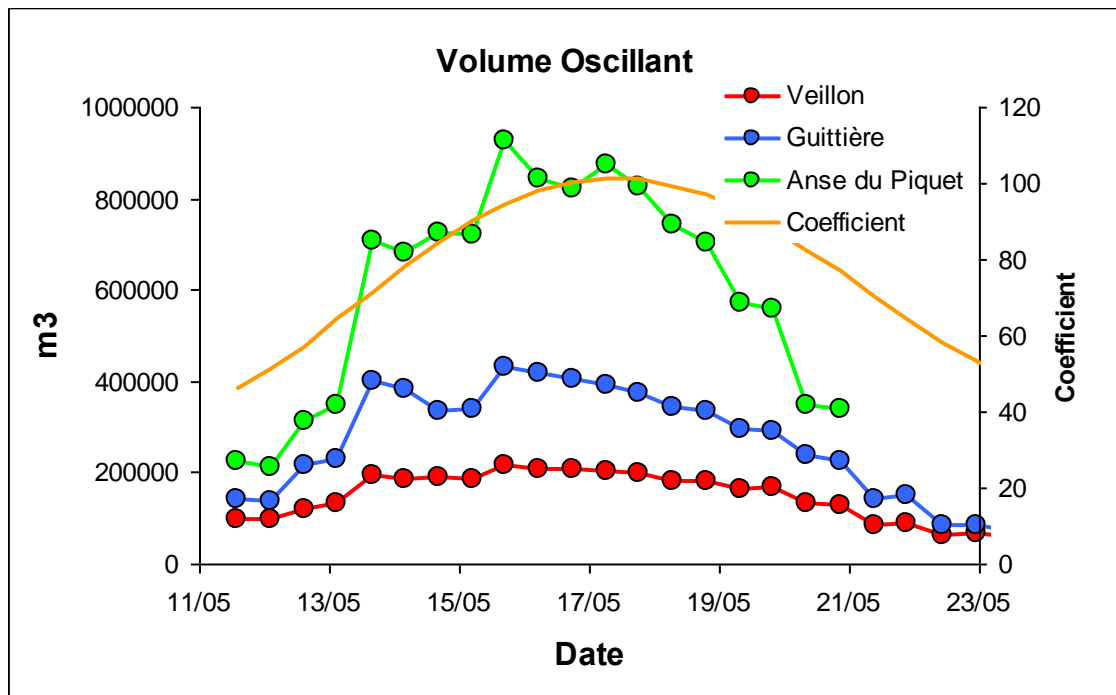


Figure 13 : évolution du volume oscillant en différents points de l'estuaire

Les volumes ont été calculés à partir de la vitesse des courants et des sections de chenaux mesurés au droit des appareils de mesure à l'aide du DGPS Trimble. Il apparaît que les volumes mis en jeu, qui représentent plusieurs milliers de mètres cubes (de 200 à 800 000 m³ à l'anse du Piquet) décroissent vers l'amont. Ils sont deux fois plus élevés à La Guittière (jusqu' à 400 000 m³) qu'au Veillon (jusqu'à 200 000 m³). Ces valeurs, susceptibles de varier selon les saisons et les conditions météorologiques, augmentent fortement en revif, puis décroissent en déchet, ce qui est conforme aux observations présentées au paragraphe précédent.

4.2.2 Mélange et renouvellement des masses d'eau

Afin de mieux connaître les mouvements de masses d'eau dans l'estuaire, lieu de rencontre des eaux marines et continentales, il a été choisi de suivre l'évolution d'un indicateur. La variable retenue est le pourcentage d'eau douce calculé à partir des salinités mesurées au niveau des sondes positionnées dans les deux chenaux, selon la formule : $35.5 - \text{Smoystation} / 35.5$, (35.5 représentant la salinité marine et « Smoystation » la salinité moyenne mesurée à chaque station au cours d'un cycle de marée).

Les évolutions de cet indicateur ont été testées statistiquement (modèle linéaire général) à débit constant provenant du bassin versant (représenté par le débit de la Ciboule), les facteurs explicatifs étant les coefficients de marée, la pression atmosphérique, les forces et directions des vents.

Les figures ci-après montrent les résultats obtenus sur l'exemple du Veillon aval.

4.2.2.1 Les coefficients de marée

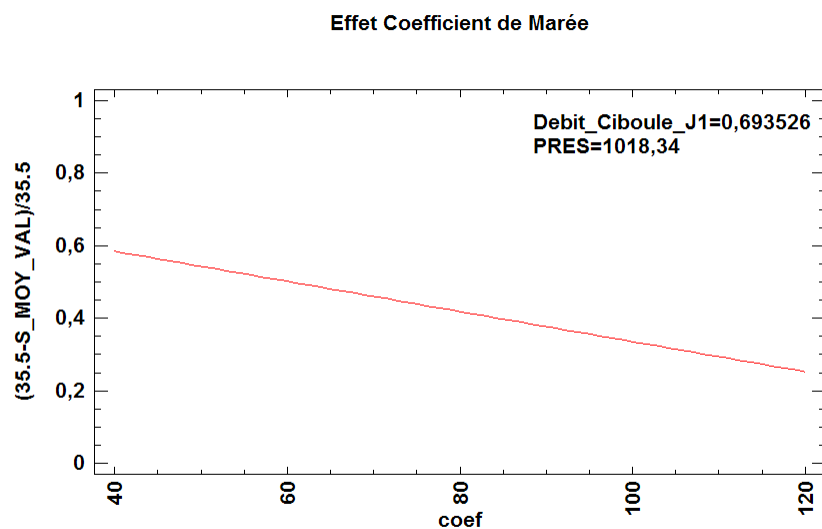


Figure 14 : évolution du pourcentage d'eau douce au Veillon aval selon les coefficients de marée croissants, à débit Ciboule constant.

L'effet de ce paramètre est important. La proportion d'eau douce peut varier du simple au triple entre les petits et les forts coefficients. En période de revif celle-ci diminue, ce qui peut s'expliquer par une plus grande quantité d'eau de mer entrant progressivement à chaque marée dans l'estuaire. Cela confirme les remarques formulées au paragraphe 4.2.1.

4.2.2.2 La pression atmosphérique

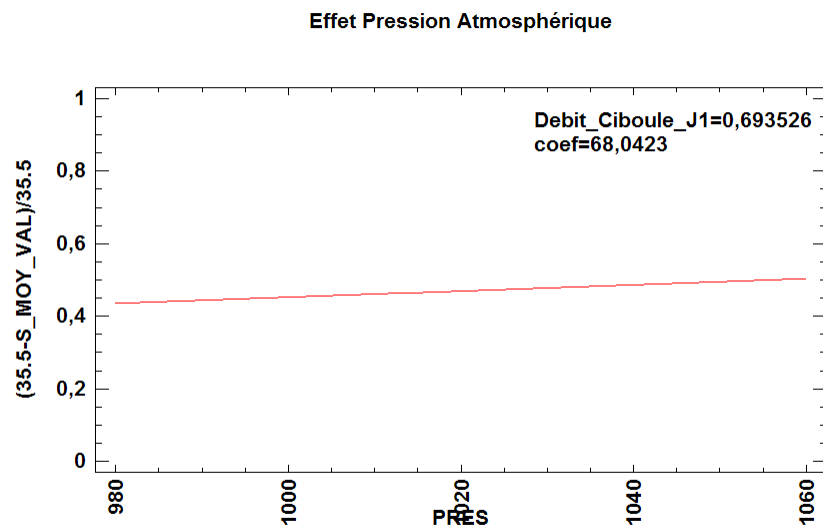


Figure 15 : évolution du pourcentage d'eau douce à Veillon aval selon les valeurs croissantes de la pression atmosphérique, à débit Ciboule constant.

L'élévation de la pression atmosphérique, induit une légère augmentation de la proportion d'eau douce s'expliquant par une meilleure évacuation des eaux continentales vers la mer. Toutefois cet effet reste assez faible.

4.2.2.3 Les vents

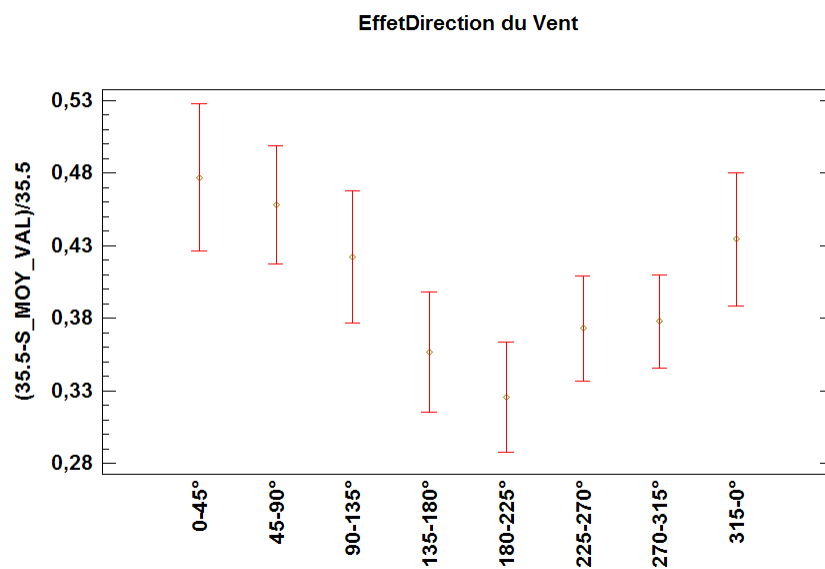


Figure 16 : évolution des distributions du pourcentage d'eau douce à Veillon aval selon les directions des vents, à débit Ciboule constant.

Les vents de secteurs nord-ouest à nord-est favorisent l'évacuation des eaux continentales, ce qui se traduit par une augmentation de la proportion d'eau douce dans l'estuaire, les vents de sud-est à sud-ouest produisant l'effet inverse.

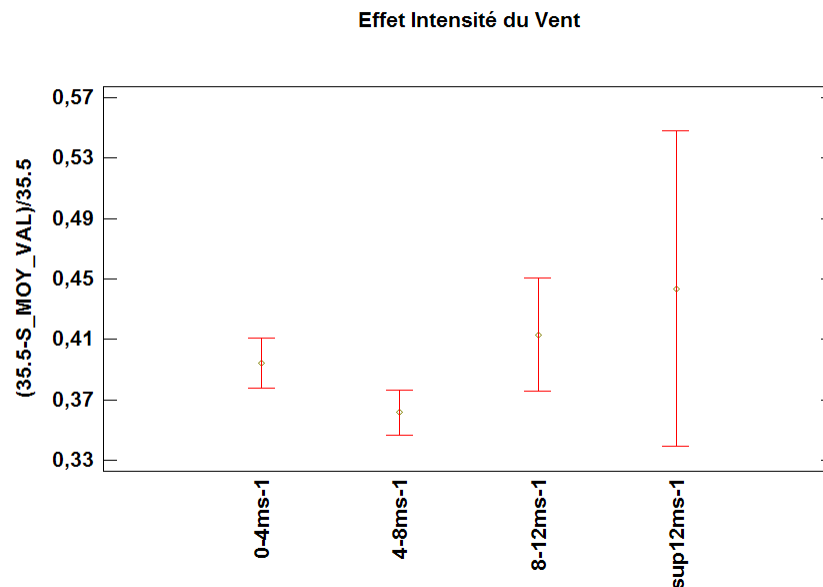


Figure 17 : évolution des distributions du pourcentage d'eau douce à Veillon aval selon les forces de vents, à débit Ciboule constant.

L'élévation de la force du vent semble induire certaines fluctuations du paramètre étudié, même si cette tendance n'a pas de réelle signification statistique du fait d'un trop faible nombre de données par vent très fort.

Les mêmes analyses appliquées aux autres points de suivi confirment bien que c'est la marée (coefficients) qui modifie le plus la teneur en eau douce, de 3 à 7 fois selon les stations. On observe probablement les effets d'entrées d'eaux marines. L'influence du vent bien que modérée (variation jusqu'à 2 fois de la proportion d'eau douce), n'est pas négligeable dans les deux secteurs. Partout les vents de secteur nord-ouest à nord-est tendent à augmenter la teneur en eau douce, l'expulsion des eaux continentales étant favorisée. Au contraire, les vents de sud-est à sud-ouest génèrent une diminution de cette proportion. Une entrée d'eau marine en est sans doute la cause. La force des vents ne semble pas agir significativement sur le paramètre étudié.

Les différentes combinaisons des facteurs physiques précédents peut ainsi engendrer de fortes variations de la salinité et donc du mélange eau douce-eau salée dans les chenaux. Il est vraisemblable également que des échanges d'eau entre chenaux puissent exister, une partie des dernières eaux de jusant pouvant temporairement remonter au flot suivant (notamment dans le chenal de la Guittière), compte tenu de son orientation vis à vis de l'estuaire.

4.2.3 Influence des facteurs environnementaux sur les phénomènes de surcote dans l'estuaire

A coefficient donné, la cote de la surface libre (surface de l'eau en contact avec l'atmosphère) peut être augmentée ou diminuée en fonction de l'action des conditions environnementales. Les mesures de hauteur d'eau par rapport au fond effectuées au niveau des zones ostréicoles ont pu mettre en évidence des phénomènes de surcote ou de décote qu'il a été possible de relier à d'autres paramètres physiques. Celles-ci expriment l'écart de hauteur d'eau entre la pleine mer aux Sables d'Olonne et la pleine mer aux stations de mesures dans les chenaux.

4.2.3.1 Les débits du bassin versant

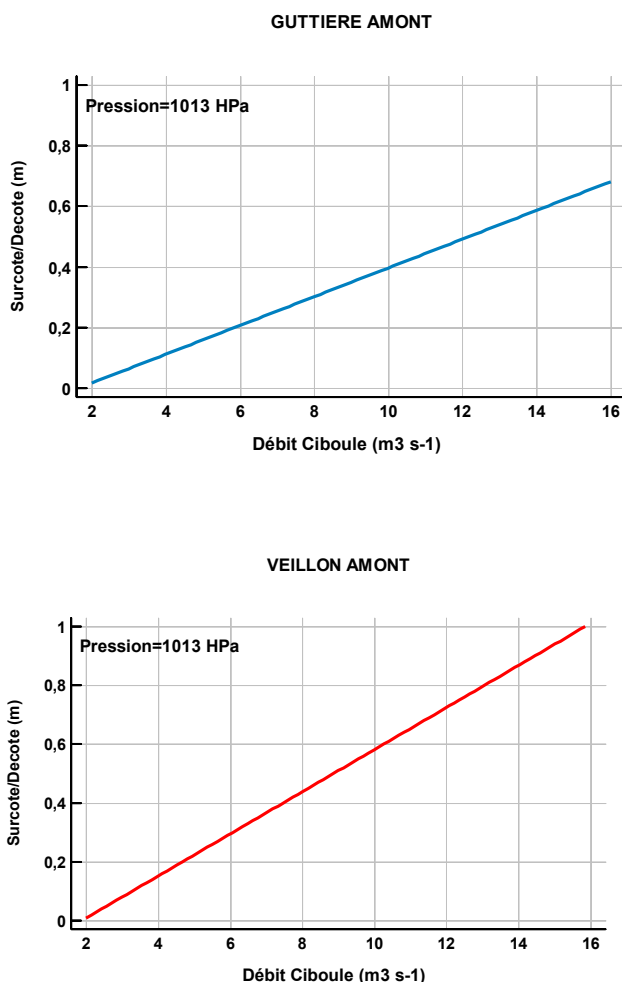


Figure 18 : variations des surcotes en fonction du débit du bassin versant (pression atmosphérique constante)

A pression atmosphérique égale, la surcote est d'autant plus élevée que les débits du bassin versant augmentent (matérialisés par le débit de la Ciboule). Elle peut être supérieure au Veillon, puisque les débits y sont plus élevés qu'à la Guittière.

4.2.3.2 La pression atmosphérique

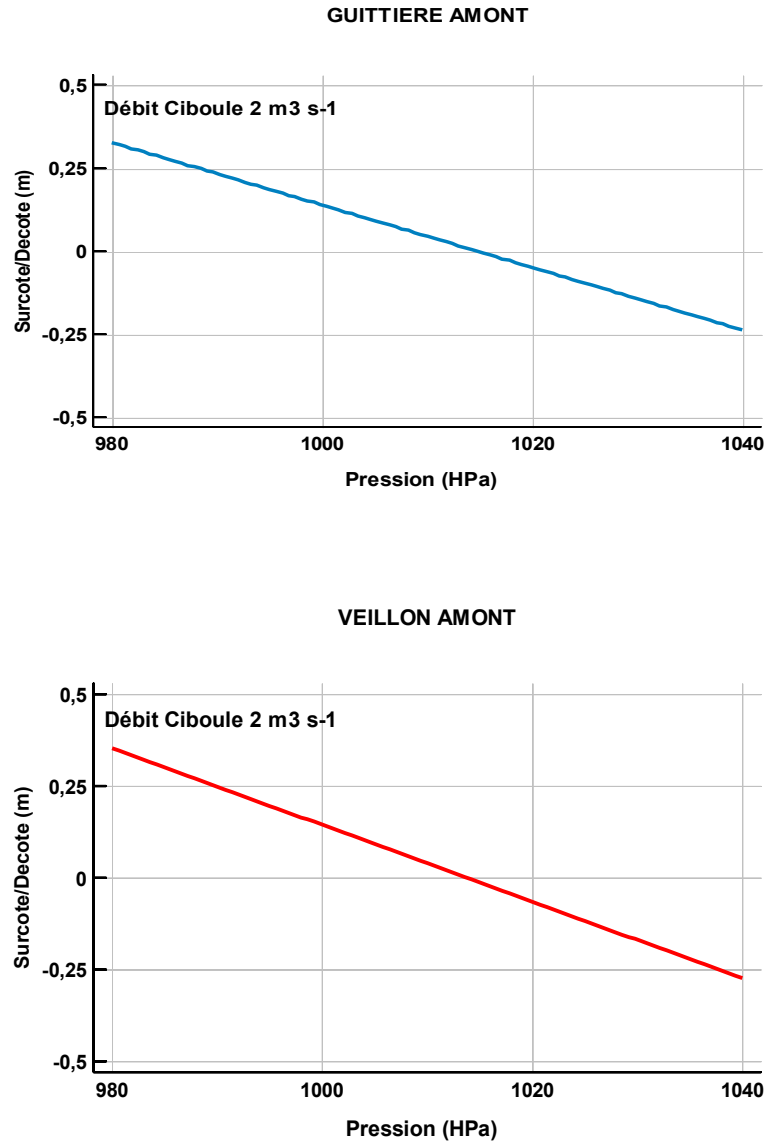


Figure 19 : variations de la cote de la surface libre en fonction de la pression atmosphérique (débit Ciboule constant)

A débits égaux, la pression atmosphérique influence de façon inversement proportionnelle la cote médiane de la surface libre. Ceci traduit une meilleure évacuation des eaux de l'estuaire vers l'océan, particulièrement lorsque les conditions deviennent anticycloniques.

4.2.3.3 Les vents

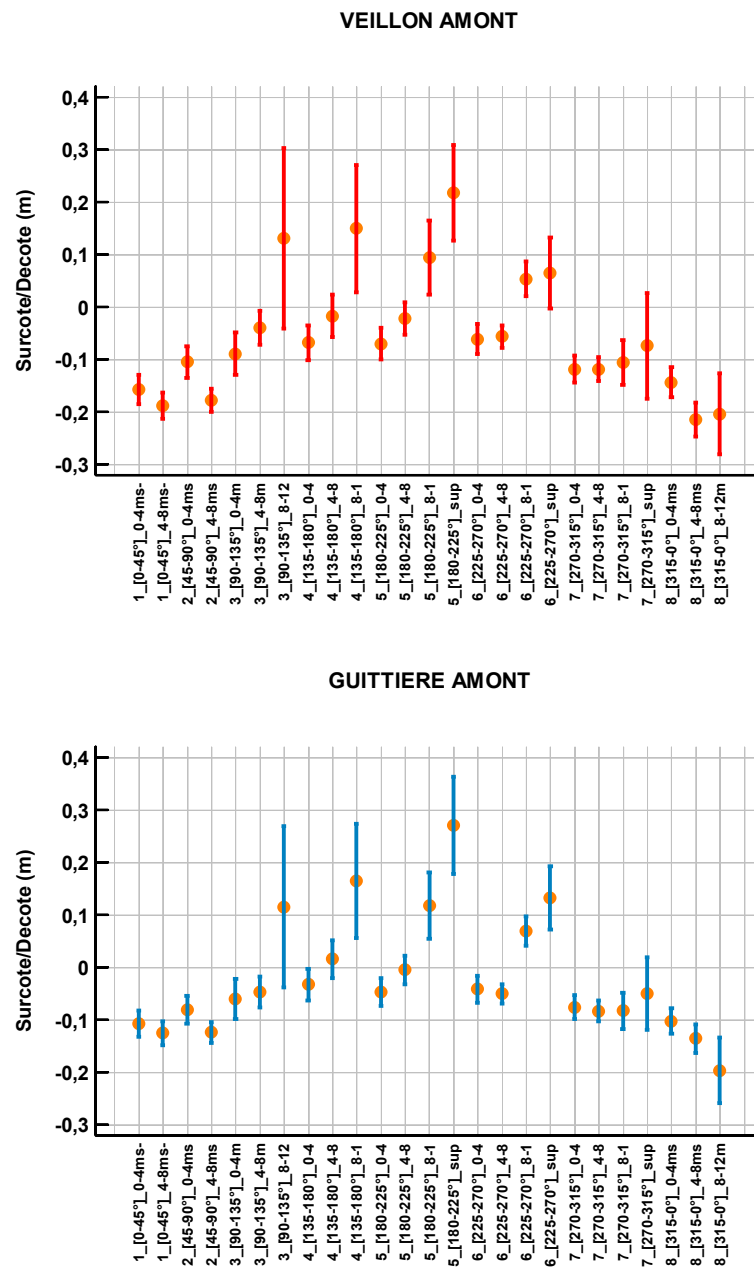


Figure 20 : variations de la cote de la surface libre en fonction des directions de vents

Les vents ont été répertoriés en fonction de leurs directions et de leur force. Ils influencent également la cote médiane de la surface libre dans les chenaux avec des phénomènes de légère surcote observables lors d'épisodes de secteurs sud-est à sud-ouest, ce qui paraît logique compte-tenu de l'orientation vers le sud-ouest de l'ouverture des chenaux vers l'Océan et concordant avec les observations du paragraphe précédent concernant l'influence des vents sur le mélange eau douce-eau salée.

4.2.4 Relations du système avec le bassin versant

Les premiers résultats ont également révélé que la zone ostréicole réagit très rapidement aux arrivées d'eau douce provenant du bassin versant. Les pluies peuvent induire une chute rapide de salinité tandis que le retour à l'équilibre est plus lent. Ceci traduit un renouvellement assez faible du système du fait du régime hydraulique particulier de l'estuaire.

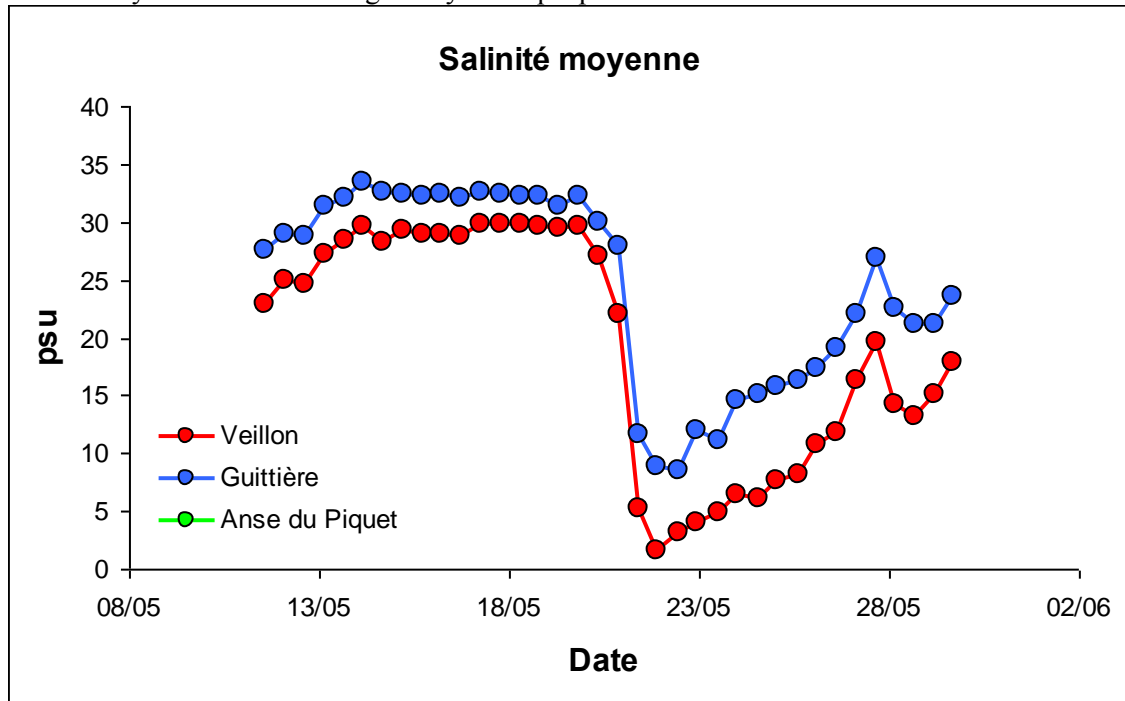


Figure 21 : illustration de la chute rapide de salinité dans les chenaux

L'exemple ci-dessus illustre ce phénomène suite à un orage survenu courant mai 2007 grâce aux sondes positionnées au Veillon et à la Guittière. On remarque une chute brutale et importante de la salinité le 21 mai, puis une remontée progressive de celle-ci au cours de la semaine suivante.

L'étude hydraulique a apporté des éléments importants concernant le fonctionnement de l'estuaire :

1. Caractéristiques de la marée

La marée présente un temps de flot plus court que le temps de jusant (3 à 4 heures pour le flot, 8 à 9 heures pour le jusant). Cette dissymétrie se traduit par un volume d'eau qui évolue en fonction du cycle « mortes eaux-vives eaux ». Lors du revif (coefficients en croissance) ces volumes augmentent, alors qu'ils diminuent lors du déchet (coefficients en décroissance). Cette particularité induit un niveau moyen de l'eau en augmentation ou en diminution dans l'estuaire lors des revifs ou des déchets. L'eau aura ainsi une tendance progressive à s'y accumuler (revif), puis à s'en évacuer (déchet).

2. Salinité

Ce mouvement alternatif d'accumulation et d'évacuation de l'eau fait qu'à débit égal des apports du bassin versant, la proportion d'eau douce (vecteur des contaminations) dans l'estuaire est influencée en premier lieu par les marées : variation de la proportion entre 3 et 7 fois selon les stations de mesure.

Le débit du bassin versant joue également un rôle important : à coefficient donné, ce sont les apports de l'amont qui déterminent les proportions du mélange des eaux.

Le vent peut également avoir une action significative : variation jusqu'à 2 fois, avec une tendance à la diminution de la salinité pour les vents de secteur nord-ouest à nord-est (meilleure évacuation des eaux continentales), ou à une augmentation pour les vents de sud-est à sud-ouest (accumulation des eaux marines). L'élévation de la pression atmosphérique, induit également une légère augmentation de la proportion d'eau douce s'expliquant par une meilleure évacuation des eaux continentales vers la mer. L'effet inverse se produit lorsque la pression baisse. Toutefois cet effet reste plus limité que les précédents. Les différentes combinaisons des facteurs physiques précédents peuvent engendrer des variations importantes de la salinité en fonction du mélange eau douce-eau salée dans les chenaux.

3 Influence des pluies

La zone ostréicole réagit très rapidement aux arrivées d'eau douce provenant du bassin versant. Les pluies peuvent induire une chute rapide de salinité tandis que le retour à l'équilibre est plus lent du fait du régime hydraulique particulier de l'estuaire.

Ces enseignements concernant le fonctionnement hydraulique de l'estuaire seront utiles dans la suite du rapport pour mieux interpréter les facteurs influençant la dilution des flux bactériens amont dans les eaux estuariennes, notamment au niveau des zones ostréicoles.

4.3 Contamination microbienne provenant du réseau hydraulique amont

4.3.1 Relation flux microbiens, pluies et débits

Les données microbiologiques recueillies au cours de la campagne de prélèvements au niveau des affluents ont été étudiées statistiquement (régression multiple) en relation avec les flux microbiens mesurés et reconstitués sur ces sous-bassins, et les données météo (pluies).

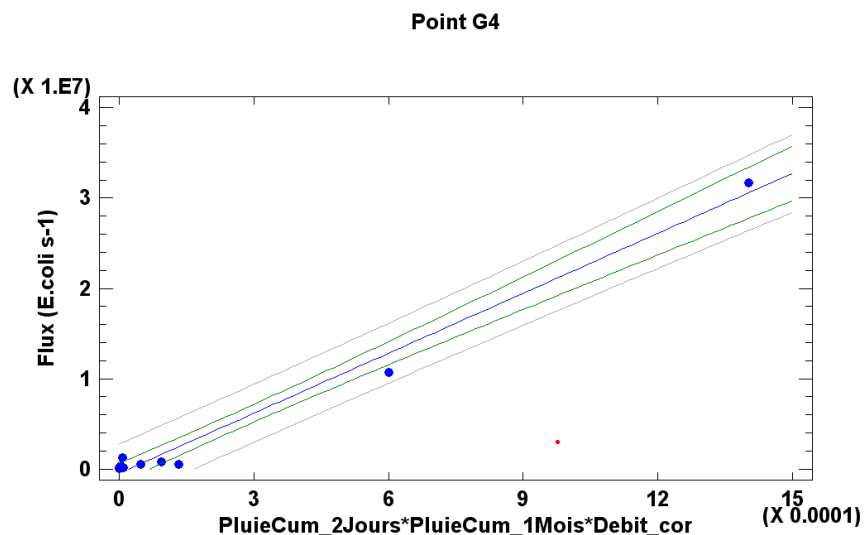


Figure 22 : relation à G4 entre pluies cumulées à 2 jours et 1 mois combinées aux débits, et flux bactériens

Les données ne révèlent pas de relation marquée entre débits mesurés et concentrations. Par contre, il existe une corrélation nette entre les niveaux de contamination observés et le produit des pluies cumulées au cours des deux ou trois derniers jours avec celles du dernier mois avant la mesure (exemple du point G4 sur la figure). L'effet de réaction du système hydrique (l'ensemble sols, nappes phréatiques, rivières) semble pouvoir expliquer ces résultats. Ces derniers seraient consécutifs à un lessivage superficiel des sols, d'autant plus efficace qu'il interviendrait sur des sols déjà saturés d'eau après une longue période humide. Un phénomène semblable a déjà été remarqué en Région Bretagne à propos des relations concentration-débits pour les nitrates (Guillaud, 2007). Dans le cas présent, l'infiltration serait alors diminuée et les bactéries souvent liées au particulaire plus directement entraînées vers les cours d'eau. Par contre en dehors des périodes fortement pluvieuses, les cours d'eau, uniquement alimentés par les nappes, véhiculeraient peu de contamination.

Ceci rendrait plus compréhensible le fait que la relation entre la contamination de l'eau et le débit seul serait moins étroite que celle avec une combinaison pluies et débits.

Cependant, quelques résultats ne sont pas expliqués par ce modèle :

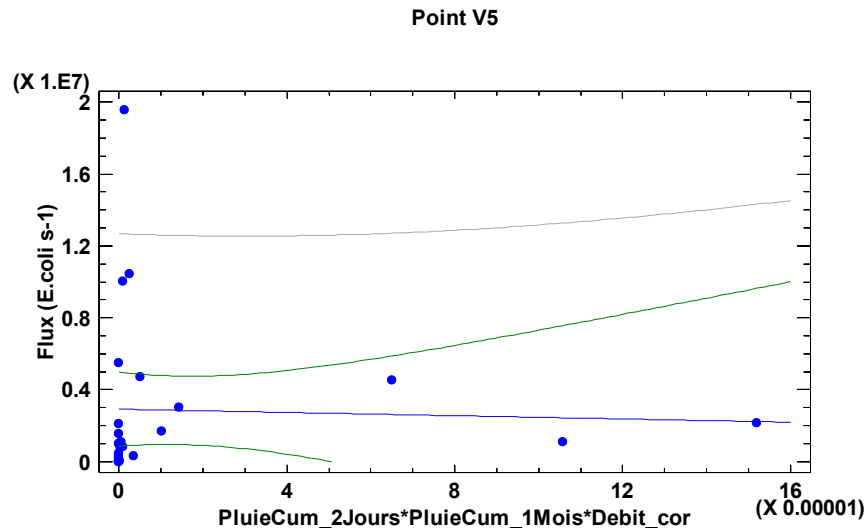


Figure 23 : relation à V5 entre pluies cumulées à 2 jours et 1 mois combinées aux débits, et flux bactériens

Au point V5, les pluies semblent diluer la contamination. Or cet affluent traverse la ville de Talmont par un canal busé. Les résultats laissent penser que dans ce cas, ce n'est pas la réaction du bassin versant qui est dominante, mais l'influence urbaine, ainsi que le confirment les fortes valeurs observées en période d'étiage en sortie d'exutoire.

Par ailleurs, certaines contaminations observées au point V6 (15/06/2009, 30/11/2009) ou V8 (05/05/2009, 24/05/2009, 24/11/2008) ne sont pas non plus expliquées par le modèle. Elles sortent du schéma « pollution chronique » qui s'exprime en fonction de la pluviométrie, et pourraient témoigner d'événements surajoutés de type accidentel.

4.3.2 Hiérarchisation des flux moyens

La reconstitution des débits des sous-bassins (§4.1.1) permet celle de leurs flux, qu'il devient possible de hiérarchiser sur la période 1990-2010.

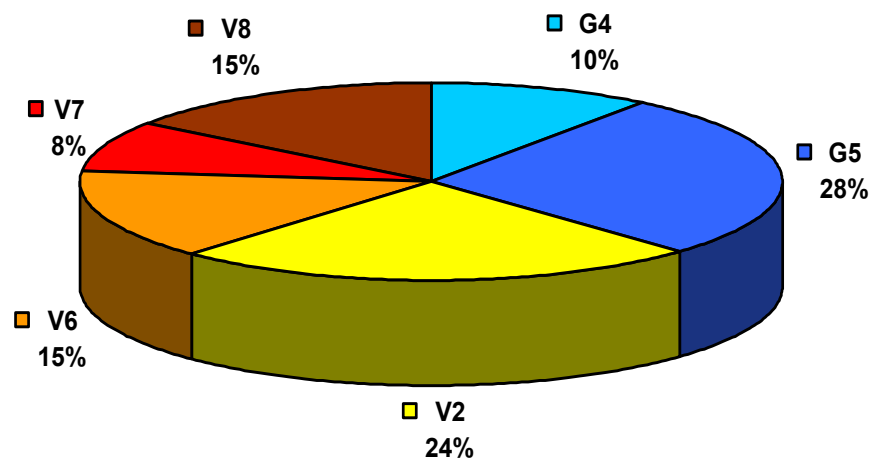


Figure 24 : hiérarchisation des flux bactériens par sous bassin

Il apparaît ainsi que les sous-bassins amont aboutissant aux points V2 et G5 véhiculent à eux seuls plus de la moitié des flux moyens. Il ressort également que l'ensemble des affluents du Veillon représente plus de 60% des flux moyens, comparativement à ceux de la Guittière.

Les sous-bassins V6, V7 et V8, représentent 62% du flux moyen pour le Veillon auquel il faut ajouter celui de V5, difficile à appréhender. Il faut noter que le sous-bassin V2 qui rejoint le chenal principal plus en aval draine à lui seul 38% du flux moyen. Côté Guittière, c'est le sous-bassin G5 qui domine avec 74 % du flux. Le cumul des flux issus des deux bassins du Veillon et de la Guittière suit le cycle annuel des débits du bassin versant et s'atténue donc en période estivale.

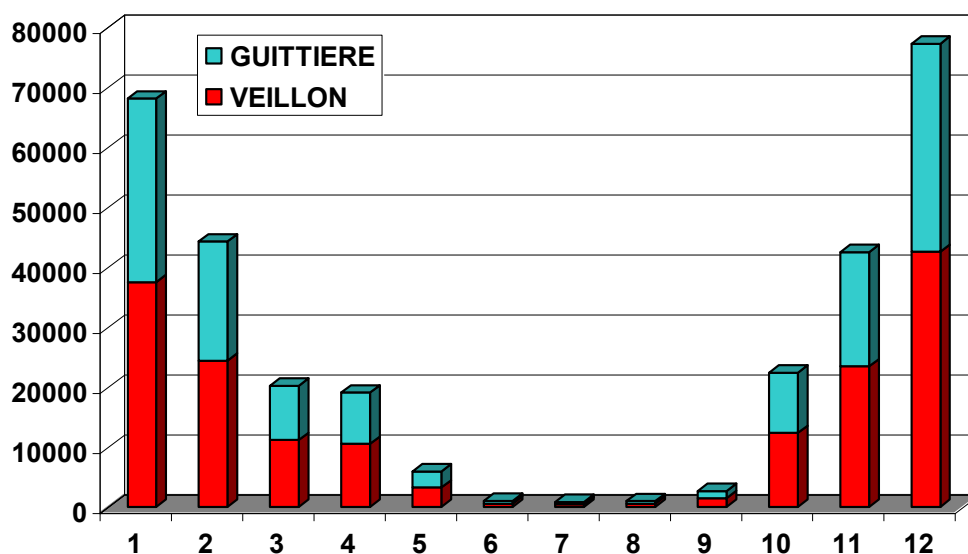


Figure 25 : cumul des flux moyens mensuels des bassins de la Guittière et du Veillon

| MOIS | G4 | G5 | V2 | V6 | V7 | V8 | VEILLONGUITTIERE | |
|------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 405 000 | 1071000 | 960000 | 578000 | 330000 | 593000 | 2462000 | 1017000 |
| 2 | 263 000 | 696000 | 624000 | 376000 | 215000 | 386000 | 1600000 | 661000 |
| 3 | 120000 | 318000 | 285000 | 172000 | 98100 | 176000 | 731000 | 302000 |
| 4 | 113000 | 300000 | 269000 | 162000 | 92500 | 166000 | 689000 | 285000 |
| 5 | 35100 | 92800 | 83000 | 50100 | 28600 | 51400 | 214000 | 88100 |
| 6 | 6000 | 15900 | 14200 | 8600 | 4900 | 8800 | 36500 | 15100 |
| 7 | 5000 | 13300 | 11900 | 7200 | 4100 | 7400 | 30600 | 12700 |
| 8 | 5700 | 15000 | 13500 | 8100 | 4600 | 8300 | 34600 | 14300 |
| 9 | 15800 | 41800 | 37500 | 22600 | 12900 | 23200 | 96100 | 39700 |
| 10 | 133000 | 352000 | 315000 | 190000 | 109000 | 195000 | 809000 | 334000 |
| 11 | 253000 | 669000 | 599000 | 361000 | 206000 | 370000 | 1537000 | 635000 |
| 12 | 460000 | 1215000 | 1089000 | 656000 | 375000 | 673000 | 2793000 | 1154000 |

Tableau 4 : flux estimés des bassins versants (*E. coli/s*)

L'examen des flux moyens mensuels reconstitués à la Guittière et au Veillon laisse apparaître le cycle annuel de ces derniers, qui recouvre celui du régime hydraulique des cours d'eau. Les flux sont maximaux en période hivernale et quasiment nuls lors de l'été.

Si l'on regarde maintenant les flux moyens par unité de surface, les sous-bassins les plus actifs semblent être les sous bassins V2, V5 et V6. On retrouve les sous bassins V2 et V6 qu'il conviendrait d'examiner en priorité. Le sous bassin V5 (non représenté sur le graphique) dont le flux moyen estimé ne représente que 5 % du flux moyen total atteint cependant 22% du flux moyen au km². C'est celui qui semble être le plus chargé. Il est vraisemblable que l'eau se contamine fortement lors de sa traversée de la commune de Talmont St-Hilaire par la conduite enterrée. Certains prélèvements d'eau effectués en amont et en aval de cette conduite le confirment. En raison du faible débit, l'incidence de ce sous bassin reste difficile à établir. Elle est probablement assez limitée proportionnellement aux autres sous bassins.

| Mois | G4 | G5 | V2 | V6 | V7 | V8 | VEILLONGUITTIERE |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| 1 | 35400 | 49000 | 48400 | 49900 | 22300 | 36100 | 37500 |
| 2 | 23000 | 31900 | 31500 | 32400 | 14500 | 23500 | 24400 |
| 3 | 10500 | 14600 | 14400 | 14800 | 6600 | 10700 | 11100 |
| 4 | 9900 | 13700 | 13600 | 14000 | 6200 | 10100 | 10500 |
| 5 | 3100 | 4300 | 4200 | 4300 | 1900 | 3100 | 3200 |
| 6 | 530 | 730 | 720 | 740 | 330 | 540 | 560 |
| 7 | 440 | 610 | 600 | 620 | 280 | 450 | 470 |
| 8 | 500 | 690 | 680 | 700 | 310 | 500 | 530 |
| 9 | 1400 | 1900 | 1900 | 2000 | 870 | 1400 | 1460 |
| 10 | 11700 | 1600 | 15900 | 19400 | 7300 | 11900 | 12300 |
| 11 | 22100 | 30600 | 30200 | 31200 | 13900 | 22600 | 23400 |
| 12 | 40200 | 55600 | 55000 | 56700 | 25300 | 41000 | 42500 |

Tableau 5 : flux / km² des sous bassins (*E. coli*/s)

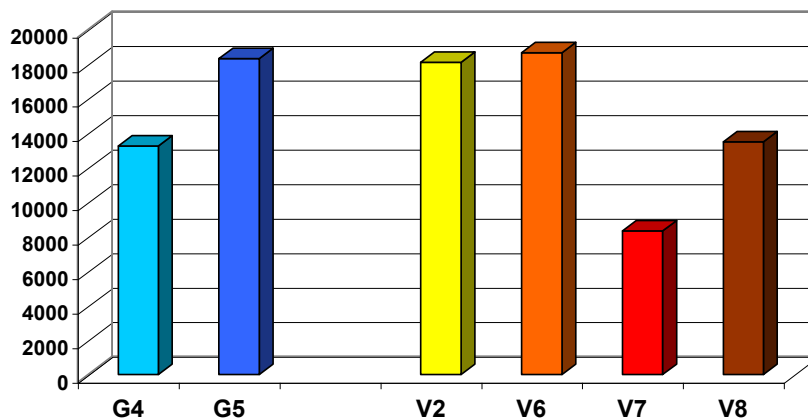


Figure 26 : répartition des flux par km²

Côté Guittière, le sous-bassin G5, le plus étendu apparaît prépondérant en terme de flux moyen. Il apparaît aussi comme celui le plus chargé si l'on regarde les flux moyens au km². Il serait donc à examiner en priorité.

Les modèles montrent qu'il existe une forte corrélation entre les niveaux de contamination observés et les pluies cumulées des deux ou trois derniers jours combinées à celles du dernier mois avant la mesure. L'effet de réaction du système hydrique des sols semble pouvoir expliquer ces résultats. Lors des périodes fortement pluvieuses l'infiltration dans les sols serait diminuée et les bactéries souvent liées aux particules plus directement entraînées vers les cours d'eau. Par contre en dehors de ces périodes, les cours d'eau, uniquement alimentés par les nappes, véhiculeraient peu de contamination.

Des exceptions existent par rapport à ce schéma. Un affluent qui traverse la ville de Talmont- St-Hilaire par un canal busé ne répond pas à ce modèle. Les résultats laissent penser que dans ce cas, ce n'est pas la réaction du sous bassin versant (V5) qui est dominante, mais l'influence urbaine, ainsi que le confirment les fortes contaminations observées en période d'été en sortie d'exutoire.

Par ailleurs, certaines contaminations observées sur deux sous bassins en amont de Talmont (V6 et V8) ne sont pas non plus expliquées par le modèle. Elles sortent du schéma « pollution chronique » qui s'exprime en fonction de la pluviométrie, et mais pourraient traduire des événements surajoutés de type accidentel.

La hiérarchisation des flux bactériens moyens permet de définir des niveaux de priorité concernant la recherche plus précise des sources de contamination. Pour le chenal du Veillon, les sous-bassins les plus actifs semblent être les sous bassins V2, V5 et V6 qu'il conviendrait d'examiner en priorité. Le sous bassin V5 semble être le plus chargé. A contrario son faible débit limite probablement son impact par rapport aux autres sous bassins. Côté Guittière, le sous-bassin G5, le plus étendu apparaît prépondérant en terme de flux moyen. Il apparaît aussi comme celui le plus chargé si l'on regarde les flux moyens au km². Il serait donc à examiner en priorité.

4.4 Transport de la contamination vers l'aval

4.4.1 Observation de l'abattement des contaminations entre l'amont et l'aval

La figure suivante représente les niveaux médians de la contamination de l'eau dans les deux chenaux à différentes stations échelonnées entre l'amont et l'aval. Pour le chenal du Veillon, les résultats indiquent une contamination médiane plus élevée à V4 qu'à V9. Pour mémoire, le point V9 est situé immédiatement en sortie de Talmont, alors que le point V4 est plus en aval. Cette augmentation pourrait être due à l'influence du cours d'eau canalisé traversant Talmont (débouchant à V5), de même qu'à celle de la station d'épuration.

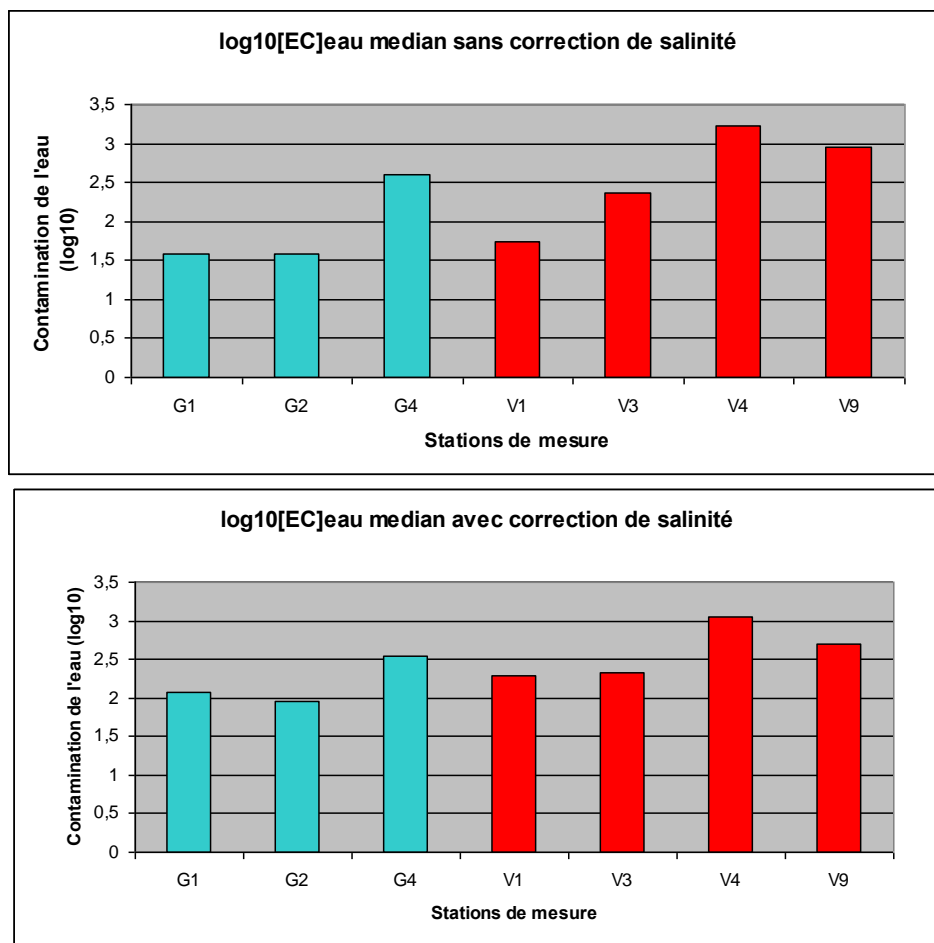


Figure 27 : représentation de la contamination de l'eau sur les chenaux de la Guitière et du Veillon sans et avec correction de la salinité

Par ailleurs, on observe également sur chaque chenal un abattement entre amont et aval du fait de la dilution, de la sédimentation et de la mortalité des bactéries. Toutefois en fixant une salinité moyenne constante à chaque station (17,5) et en calculant les contaminations théoriques correspondantes, on constate que cet abattement est moindre, ce qui peut laisser supposer l'existence de certaines sources de contamination plus en aval. Ceci sera examiné au paragraphe 4.4.3.

4.4.2 Analyse des conditions environnementales favorisant le transport des contaminations du bassin versant vers les zones de production

Il a été montré (§ 4.3.1) que les flux bactériens au niveau des stations de mesure ne sont pas corrélés aux débits, mais au produit des quantités de pluies des deux derniers jours et de celles du mois précédant le prélèvement. Ce sont bien les pluies qui déterminent l'apparition des contaminations. Néanmoins, les cours d'eau leur servent ensuite de vecteur. Il peut donc s'avérer intéressant d'observer leur rôle dans le transport des contaminations vers l'aval. Dans ce but, sur chacun des deux chenaux, le différentiel de salinité entre une station de mesures située en amont et une station située au niveau des sites de production, s'est révélé être un indicateur significatif. Les figures et tableaux suivants montrent les résultats obtenus sur la base des données de débit, salinité et contamination.

4.4.2.1 Chenal de la Guittière

Les différences de salinité entre l'amont et l'aval ont été calculées pour l'ensemble des campagnes. Leur analyse fait ressortir deux types de relation :

- pour une salinité en aval (G1) variant de 7,1 à 28,5, on observe un gradient de salinité croissant entre amont et aval, traduisant une baisse progressive du débit des cours d'eau. Il est vraisemblable que ceci corresponde à la période où les débits du bassin versant restent suffisants pour permettre aux eaux douces d'atteindre de façon régulière le secteur estuarien. Cette relation correspond à la période humide, où les cours d'eau présentent un écoulement significatif.

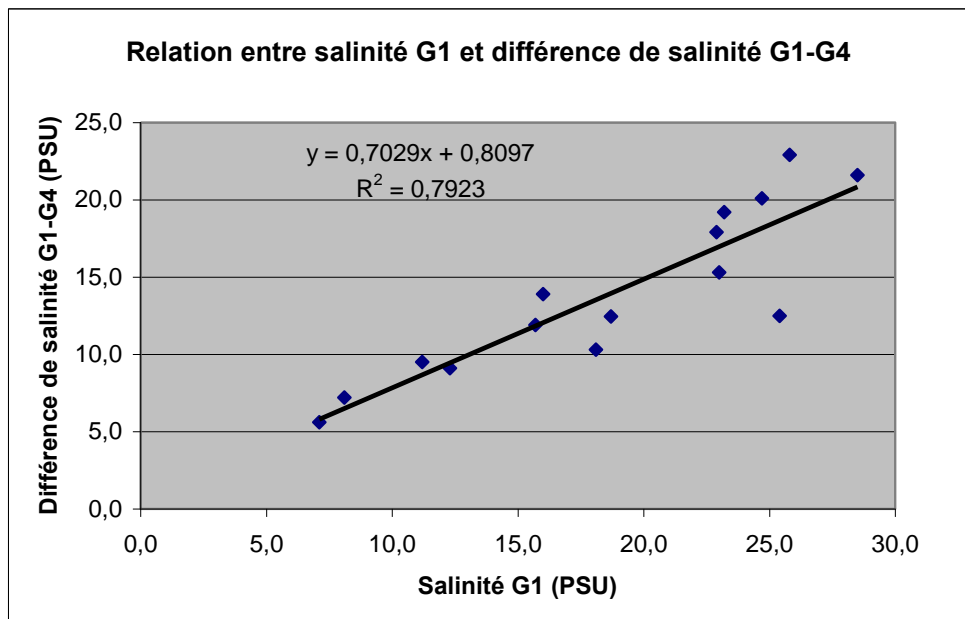


Figure 28 : illustration de la présence d'un gradient de salinité amont-aval croissant à la Guittière (période humide)

- pour une salinité à G1 située entre 30,6 et 36,2, le gradient de salinité décroît de l'amont vers l'aval. Cette diminution du différentiel traduit une intrusion progressive des eaux marines vers l'amont (G4). Le différentiel devient même négatif pour les plus fortes salinités en raison de l'évaporation en amont de certains chenaux. Ceci correspond aux périodes de faible débit amont et donc à une période sèche où les cours d'eau sont à l'étiage.

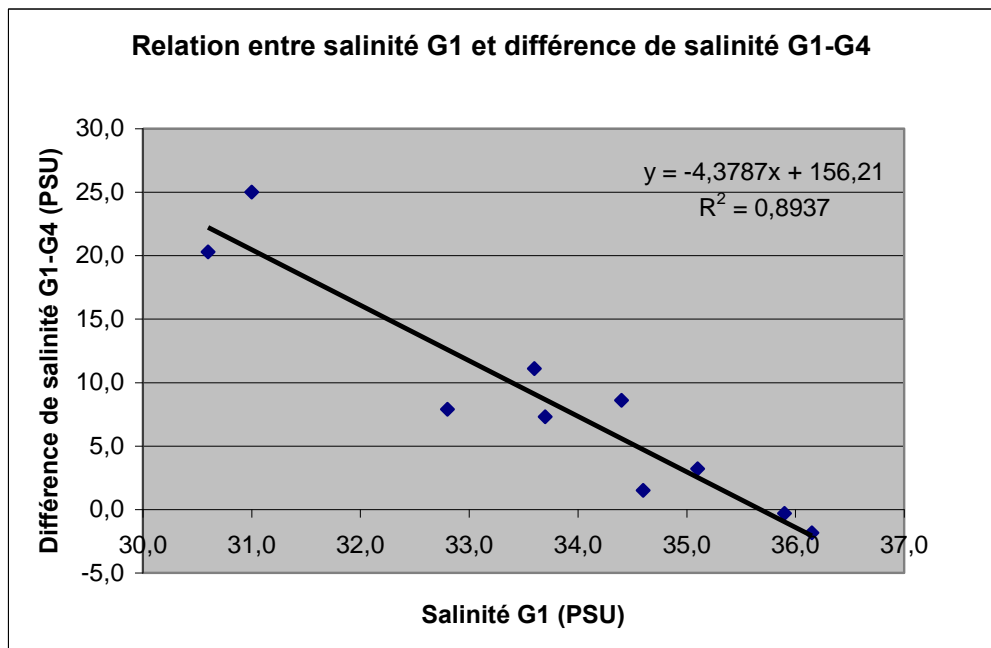


Figure 29 : illustration la de la présence d'un gradient de salinité amont-aval décroissant à la Guitière (période sèche)

On peut ainsi différencier deux périodes : une période humide où les débits permettent aux eaux du bassin versant d'atteindre régulièrement les zones de production et une période sèche lorsqu'ils ne le permettent plus. Evidemment, la réalité n'est pas aussi tranchée. Des périodes de transition existent et même en période sèche, certains épisodes orageux peuvent générer des débits efficaces. Néanmoins cette distinction entre deux périodes correspond à des tendances générales assez marquées. A partir de ces constatations, les tableaux suivant présentent pour chaque période les résultats des contaminations observées aux points G1, G2 et G4. Ces valeurs sont associées aux données de salinité et à leurs différentiels, ainsi qu'aux débits du bassin versant (Ciboule).

Période humide

| Date | Deb Ciboule | Sal G1 | Sal G4 | Sal G1-G4 | ECE G1 | ECE G2 | ECE G4 |
|------------|-------------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|
| 22/01/2009 | 4,390 | 7,1 | 1,5 | 5,6 | 669 | 861 | 570 |
| 21/12/2009 | 3,320 | 8,1 | 0,9 | 7,2 | 828 | 6860 | 7953 |
| 10/12/2008 | 1,070 | 11,2 | 1,7 | 9,5 | 119 | 250 | 286 |
| 20/04/2009 | 0,361 | 12,3 | 3,2 | 9,1 | 163 | 38 | 412 |
| 30/11/2009 | 3,040 | 15,7 | 3,8 | 11,9 | 250 | 686 | 2940 |
| 23/02/2009 | 0,531 | 16,0 | 2,1 | 13,9 | 119 | 78 | 38 |
| 16/03/2009 | 0,433 | 18,1 | 7,8 | 10,3 | 16 | 16 | 16 |
| 05/05/2009 | 0,261 | 18,7 | 6,3 | 12,5 | 38 | 38 | 204 |
| 02/04/2009 | 0,266 | 22,9 | 5,0 | 17,9 | 16 | 38 | 305 |
| 14/04/2009 | 0,305 | 23,0 | 7,7 | 15,3 | 38 | 38 | 78 |
| 01/12/2008 | 0,709 | 23,2 | 4,0 | 19,2 | 299 | 669 | 1491 |
| 24/11/2008 | 0,392 | 24,7 | 4,6 | 20,1 | 38 | 38 | 1015 |
| 13/11/2009 | 0,298 | 25,4 | 12,9 | 12,5 | 38 | 119 | 706 |
| 24/03/2009 | 0,321 | 25,8 | 2,9 | 22,9 | 16 | 16 | 357 |
| 12/05/2009 | 0,206 | 28,5 | 6,9 | 21,6 | 16 | 38 | 760 |

Tableau 6 : contaminations observées de G1 à G4 et paramètres environnementaux associés

Légende et couleurs des tableaux :

| Date (et saisons) | Deb Ciboule | Sal | ECE |
|-------------------|---------------|---------|-----------|
| Hiver | 0 à 0,009 | < 0,5 | < 99 |
| Printemps | 0,010 à 0,099 | 0,5-4,9 | 100 à 999 |
| Été | 0,100 à 0,999 | 5-17,9 | 1000-9999 |
| Automne | > 1 | 18-29,9 | > 10000 |
| | | > 30 | |

NB : cette classification a été adoptée par commodité pour une meilleure visualisation des données

Unités et abréviations :

Deb Ciboule: Débit Ciboule en mètres cubes par seconde (m³/s)

Sal : salinité en PSU (Practical Salinity Unit = Unité de salinité)

ECE: nombre d' *Escherichia coli* pour 100 millilitres d'eau (*E. coli*/100ml)

Observations

- les contaminations à G4 sont régulières et assez élevées
- les stations G2 et G1 sont fréquemment atteintes, avec une atténuation de l'amont vers l'aval
- la station G1 est atteinte généralement lorsque les débits du bassin versant sont moyens à forts
- la période concernée s'échelonne de novembre à mai pour les contaminations détectées à G1

Période sèche

| Date | Deb Ciboule | Sal G1 | Sal G4 | Sal G1-G4 | ECE G1 | ECE G2 | ECE G4 |
|------------|-------------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|
| 15/06/2009 | 0,027 | 30,6 | 10,3 | 20,3 | 38 | 38 | 520 |
| 03/06/2009 | 0,019 | 31,0 | 6,0 | 25,0 | 78 | 38 | 635 |
| 20/10/2008 | 0,016 | 32,8 | 24,9 | 7,9 | 16 | 78 | 486 |
| 07/07/2009 | 0,000 | 33,6 | 22,5 | 11,1 | 16 | 78 | 250 |
| 06/10/2008 | 0,010 | 33,7 | 26,4 | 7,3 | 38 | 38 | 403 |
| 20/07/2009 | 0,000 | 34,4 | 25,8 | 8,6 | 78 | 78 | 77 |
| 22/10/2009 | 0,173 | 34,6 | 33,1 | 1,5 | 163 | 460 | 828 |
| 11/08/2009 | 0,000 | 35,1 | 31,9 | 3,2 | 38 | 16 | 16 |
| 09/09/2009 | 0,000 | 35,9 | 36,2 | -0,3 | 38 | 16 | 119 |
| 29/09/2009 | 0,000 | 36,2 | 38,0 | -1,9 | 16 | 16 | 255 |

Tableau 7 : contaminations observées de G1 à G4 et paramètres environnementaux associés

Observations

- les contaminations en amont (G4) sont régulières mais plus faibles qu'en période humide
- elles atteignent rarement la station intermédiaire (G2) et la zone de production (G1)
- les débits du bassin versant sont faibles à inexistant
- la période considérée s'étale de juin à octobre

4.4.2.2 Chenal du Veillon

Comme pour le chenal de la Guittière, les différences de salinité entre les points V1 et V4 ont été calculées pour l'ensemble des campagnes. La relation entre ces valeurs et celles de salinité à V1 ont ensuite été analysées selon les valeurs croissantes de salinité à V1. On remarque également deux types de relation :

- comme à la Guittière, mais de façon encore plus nette, on constate une relation linéaire croissante pour les salinités à V1 s'échelonnant de 1 à 25,2, révélant ici également l'existence d'un gradient de salinité croissant entre amont et aval. Ceci est rendu possible lorsque les débits du bassin versant sont assez puissants pour permettre aux eaux douces de parvenir en aval (période humide).
- une absence de relation marquée pour les salinités à V1 comprises entre 32,9 et 36,3 qui caractérise la période sèche. La station amont V4 se trouve dans un domaine où la salinité reste en général plus faible qu'à G4. De ce fait elle est soumise à l'influence alternée des eaux marines et terrestres même pendant les périodes d'étiage.

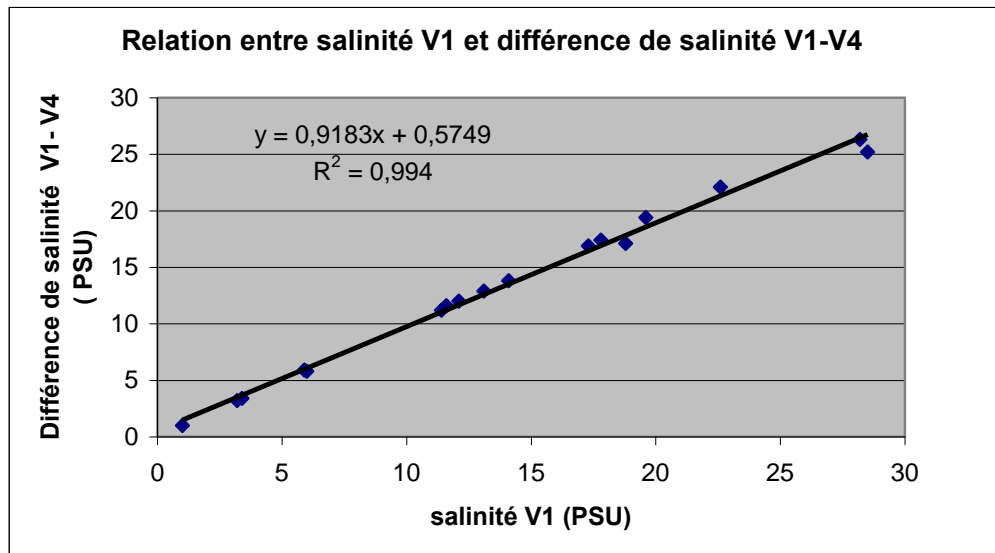


Figure 30 : illustration de la présence d'un gradient de salinité amont-aval croissant au Veillon (période humide)

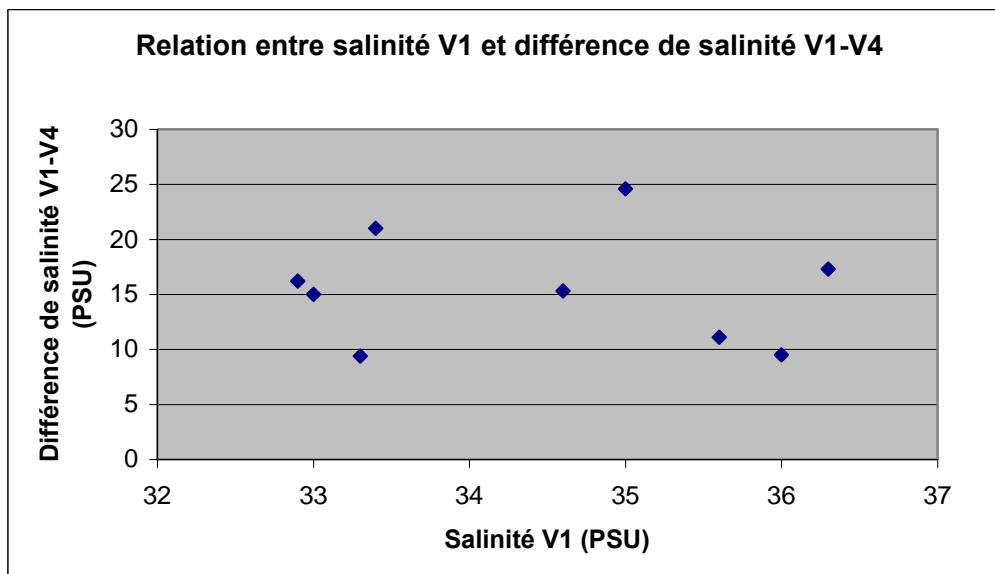


Figure 31 : illustration la de la présence d'un gradient de salinité amont-aval aléatoire au Veillon(période sèche)

Comme pour la Guittière, les tableaux suivant présentent pour chaque période, les résultats des contaminations observées aux points V1, V3 et V4, associés aux données de salinité et de différentiels de salinité V1-V4, ainsi qu'aux valeurs de débits du bassin versant (Ciboule).

Période humide

| Date | Deb Ciboule | sal V1 | sal V4 | sal V1-V4 | ECE V1 | ECE V3 | ECE V4 |
|------------|-------------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|
| 22/01/2009 | 4,39 | 1 | 0 | 1 | 520 | 6705 | 4966 |
| 21/12/2009 | 3,32 | 3,2 | 0 | 3,2 | 9663 | 6078 | 5120 |
| 20/04/2009 | 0,361 | 3,4 | 0 | 3,4 | 5028 | 1049 | 3307 |
| 10/12/2008 | 1,07 | 5,9 | 0 | 5,9 | 208 | 208 | 1768 |
| 30/11/2009 | 3,04 | 6 | 0,2 | 5,8 | 1276 | 2631 | 2328 |
| 01/12/2008 | 0,709 | 11,4 | 0,2 | 11,2 | 459 | 2444 | 2187 |
| 23/02/2009 | 0,531 | 11,6 | 0 | 11,6 | 16 | 38 | 3925 |
| 05/05/2009 | 0,261 | 12,1 | 0,1 | 12 | 255 | 952 | 4594 |
| 16/03/2009 | 0,433 | 13,1 | 0,2 | 12,9 | 16 | 78 | 16 |
| 24/11/2008 | 0,392 | 14,1 | 0,3 | 13,8 | 77 | 412 | 50280 |
| 14/04/2009 | 0,305 | 17,3 | 0,4 | 16,9 | 16 | 16 | 1553 |
| 02/04/2009 | 0,266 | 17,8 | 0,4 | 17,4 | 38 | 250 | 6705 |
| 13/11/2009 | 0,298 | 18,8 | 1,7 | 17,1 | 208 | 3307 | 11333 |
| 24/03/2009 | 0,321 | 19,6 | 0,2 | 19,4 | 16 | 16 | 16 |
| 12/05/2009 | 0,206 | 22,6 | 0,5 | 22,1 | 77 | 460 | 923 |
| 03/06/2009 | 0,019 | 28,2 | 1,9 | 26,3 | 16 | 403 | 1349 |
| 15/06/2009 | 0,027 | 28,5 | 3,3 | 25,2 | 77 | 38 | 1049 |

Tableau 8: contaminations observées de V1 à V4 et paramètres environnementaux associés

Observations

- les contaminations à V4 sont en général plus importantes qu'à G4
- les stations V3 et V1 sont fréquemment atteintes
- l'atténuation des contaminations entre amont et aval est parfois contredite
- les débits du bassin versant sont moyens à forts lorsque la station V1 est touchée
- la période considérée s'étale de novembre à début juin

Période sèche

| Date | Deb Ciboule | Sal V1 | Sal V4 | Sal V1-V4 | ECE V1 | ECE V3 | ECE V4 |
|------------|-------------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|
| 20/10/2008 | 0,016 | 32,9 | 16,7 | 16,2 | 16 | 77 | 519 |
| 06/10/2008 | 0,01 | 33 | 18 | 15 | 77 | 115 | 781 |
| 22/10/2009 | 0,173 | 33,3 | 23,9 | 9,4 | 38 | 983 | 1970 |
| 07/07/2009 | 0 | 33,4 | 12,4 | 21 | 16 | 78 | 1049 |
| 11/08/2009 | 0 | 34,6 | 19,3 | 15,3 | 38 | 38 | 1428 |
| 20/07/2009 | 0 | 35 | 10,4 | 24,6 | 115 | 208 | 471 |
| 09/09/2009 | 0 | 35,6 | 24,5 | 11,1 | 16 | 16 | 78 |
| 31/08/2009 | 0 | 36 | 26,5 | 9,5 | 38 | 78 | 16 |
| 29/09/2009 | 0 | 36,3 | 19 | 17,3 | 16 | 255 | 2068 |

Tableau 9 : contaminations observées de V1 à V4 et paramètres environnementaux associés

Observations

- les contaminations en amont (V4) sont moins importantes et moins systématiques qu'en période humide
- elles atteignent moins fréquemment la station intermédiaire (V3) que précédemment et très peu le point V1
- elles sont plus atténuées vers l'aval
- les débits du bassin versant sont faibles à inexistant
- la période concernée s'étale de mi-juin à octobre
- une légère contamination atteignant V1 est toutefois enregistrée le 20/07/2009. Le gradient de salinité laisse supposer un épisode orageux où un lâcher d'eau en amont

Ainsi, l'examen des données permet d'émettre certaines hypothèses concernant le mécanisme des épisodes de contamination. Pour les deux chenaux, en fonction des saisons, on distingue bien une période sèche où les débits ne permettent pas d'entraîner les contaminations, de surcroît plus faibles, vers les zones de production en aval, et une période humide pendant laquelle ces zones sont impactées. Des périodes de transition existent au printemps et en automne.

Certaines remarques supplémentaires peuvent être faites concernant les deux périodes :

- en période humide, certaines contaminations importantes détectées en amont ne sont pas retrouvées en aval, malgré des débits du bassin versant significatifs. Il peut s'agir de contaminations récentes n'ayant pas encore atteint les sites de production. A contrario, certaines valeurs sont supérieures en aval. Dans ce cas la contamination peut

être plus ancienne et le pic peut avoir dépassé la station amont. Il se peut également qu'une autre contamination se soit additionnée en aval.

- en période sèche, les contaminations de l'eau sur les sites de production sont plus rarement détectées. L'une des raisons est sans doute liée à la moindre occurrence de ces événements, l'autre à la fréquence des prélèvements. Toutefois certaines contaminations (plus faibles qu'en période humide) ont pu être détectées. Des épisodes de type orageux générant des débits efficaces peuvent expliquer ces événements, de même que des contaminations situées en zone estuarienne.

4.4.3 Hypothèses concernant des contaminations émises en aval des stations de mesure des flux

L'étude de l'abattement amont-aval brut des contaminations n'explique qu'en partie la mécanique d'apparition de celles-ci. Il peut exister des exceptions au schéma général présenté plus haut, qui repose sur l'hypothèse de contaminations issues uniquement du bassin versant. Pour traiter cette question, il est nécessaire d'examiner les données en s'affranchissant des contraintes de salinité. Les valeurs des contaminations ont ainsi été recalculées à salinité constante (17,5) pour comparer les différences entre stations. Si un certain nombre de valeurs confirment bien l'abattement amont-aval, d'autres l'infirmement (pour une moitié des campagnes environ). Les graphes ci-après montrent l'évolution entre amont et aval des teneurs en *E.coli* sur chaque chenal.

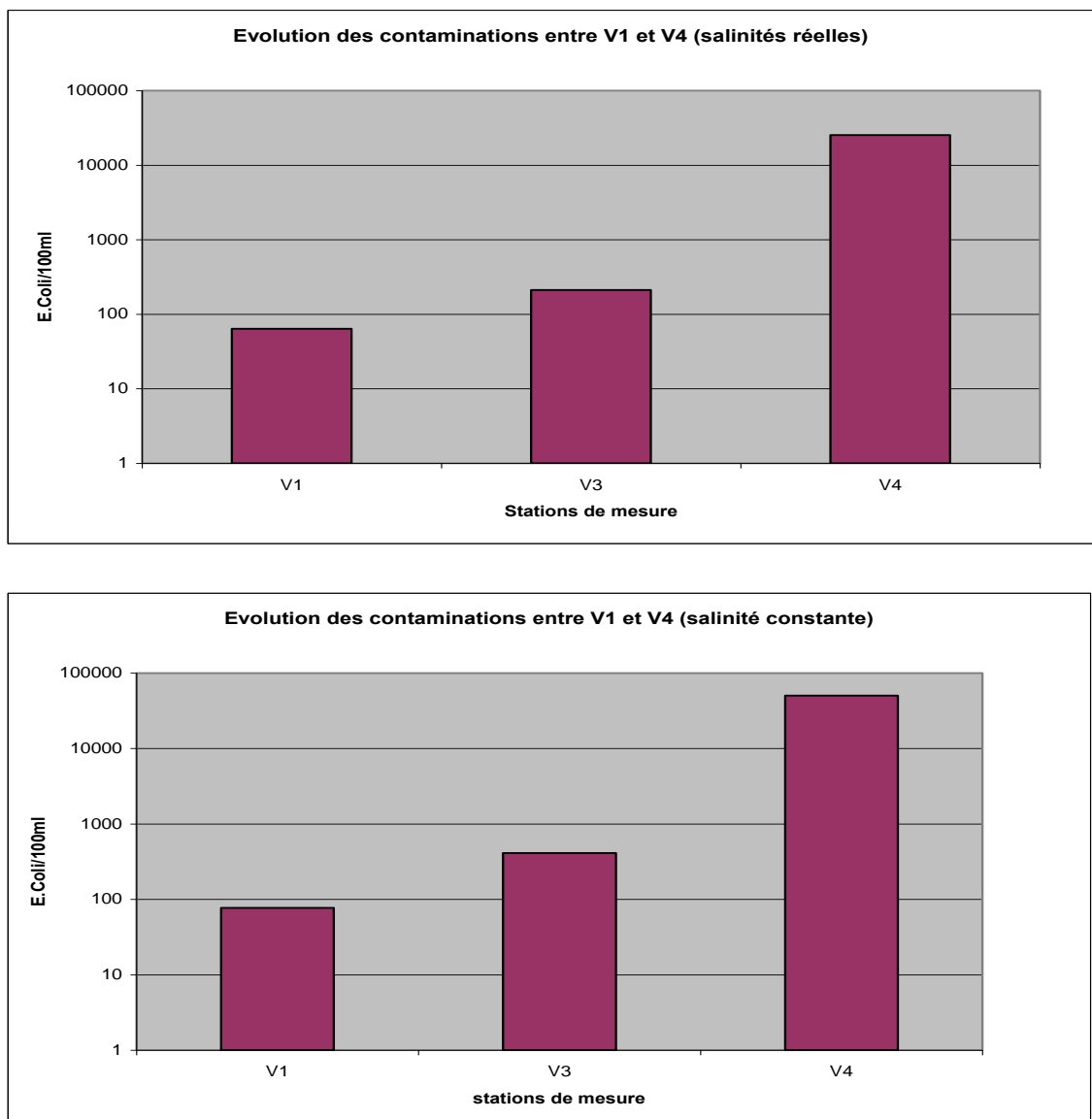


Figure 32 : Comparaison des gradients de contamination au Veillon sans et avec correction de salinité

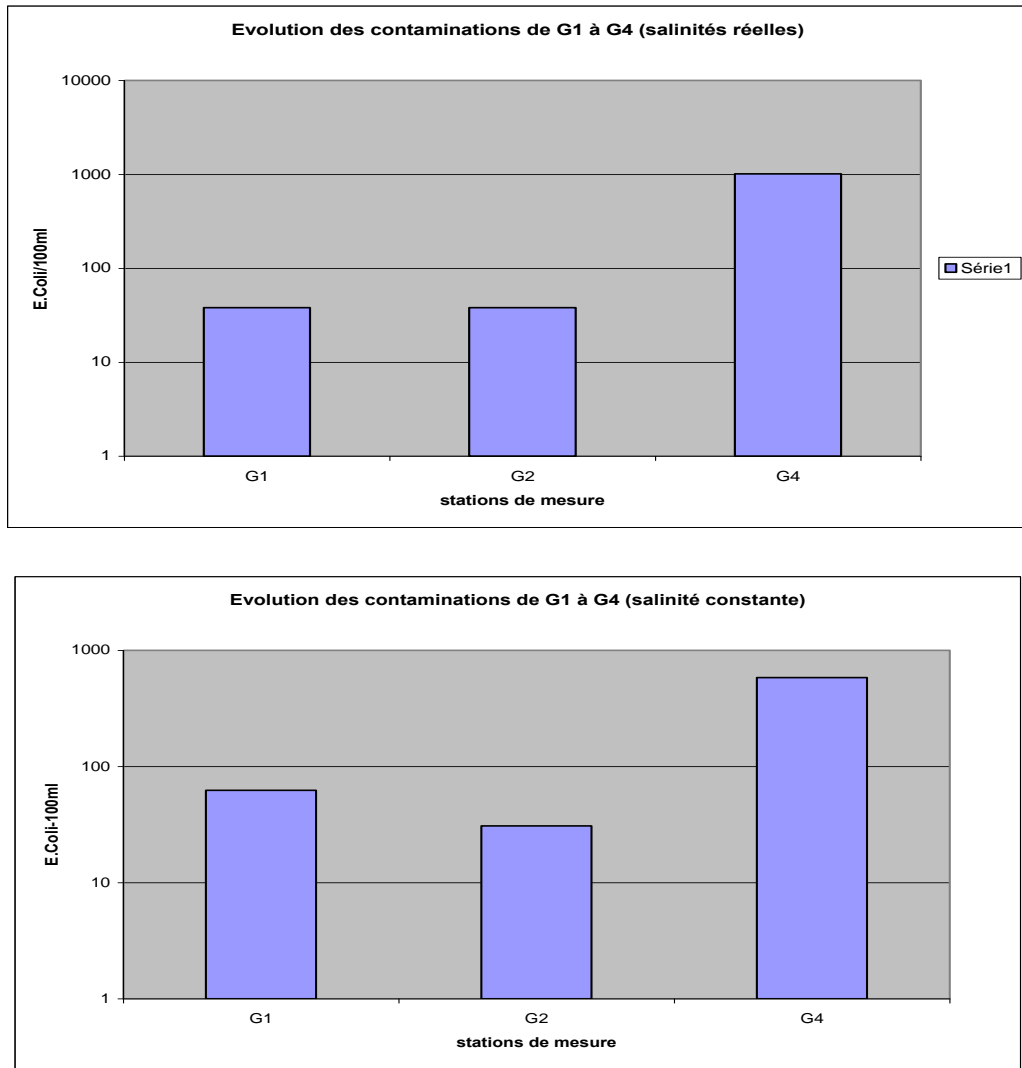


Figure 33 : comparaison des gradients de contamination à la Guittière sans et avec correction de salinité

Sur l'exemple choisi (campagne du 24/11/2008), on remarque qu'avec les salinités réelles, le gradient apparent décroissant des contaminations de V4 à V1 est confirmé avec le calcul à salinité constante. Au contraire, coté Guittière, la teneur en bactéries est plus élevée à G1 qu'à G2. Comme il a été dit plus haut, certains pics peuvent avoir dépassé la station amont et se retrouver plus en aval. Néanmoins, l'hypothèse de contaminations émises en aval des stations G4 et V4 ne peut être écartée. Certains rejets peuvent exister au niveau de l'estuaire, voire à proximité de la zone ostréicole.

4.4.4 Niveaux de l'abattement bactérien amont aval

Pour terminer sur cette question de l'abattement bactérien, on a cherché à établir ses valeurs et leur fréquence. Les figures suivantes présentent les résultats obtenus lorsque le gradient amont aval est confirmé avec correction de salinité.

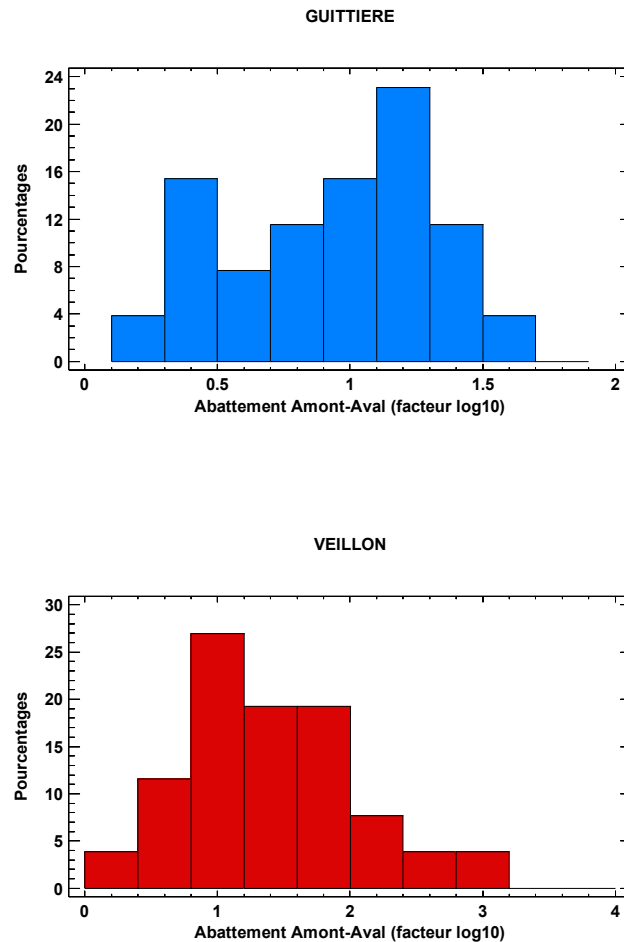


Figure 34 : graphes des fréquences d'abattement de la contamination à la Guittièrre et au Veillon

Les graphes montrent que les niveaux de l'abattement (en log) se situent :

- entre 0 et environ 2 à la Guittièrre (entre G4 et G1) avec une majorité des valeurs inférieures à 1.5
- entre 0 et 3 au Veillon (entre V4 et V1) avec une majorité des valeurs inférieures à 2

Ces valeurs sont en moyenne plus faibles en hiver comme il a été vu pour la salinité au paragraphe 4.1.

Si l'apparition des contaminations en amont est déterminée par la pluviométrie, l'une des questions posées concerne les circonstances favorisant leur manifestation au niveau des zones de production. Les conditions permettant aux eaux douces du bassin versant d'atteindre l'estuaire ont été étudiées.

L'examen des données permet d'émettre certaines hypothèses concernant le déterminisme des épisodes de contamination. Pour les deux chenaux, en fonction des saisons, on distingue une période sèche où les débits ne permettent pas d'entraîner les contaminations, de surcroît plus faibles, vers les zones de production en aval, et une période humide pendant laquelle ces zones sont impactées. Des périodes de transition existent au printemps et en automne.

Au cours de la période humide (de novembre à mai) :

- Les contaminations en amont sont régulières et assez élevées (plus importantes au Veillon)
- les stations intermédiaires sont fréquemment atteintes
- les stations en aval situées au niveau des parcs à huîtres sont atteintes généralement lorsque les débits du bassin versant sont moyens à forts

Au cours de la période sèche (juin à octobre)

- les contaminations en amont sont moins importantes et moins systématiques qu'en période humide
- elles atteignent moins fréquemment les stations intermédiaires et très peu les stations situées en aval, hors épisode spécifique (orage par exemple)
- les débits du bassin versant sont faibles à inexistant
- Les niveaux de l'abattement entre amont et aval se situent :
 - entre 0 et environ 2 log à la Guittière avec une majorité des valeurs entre 0.5 et 1.5 log
 - entre 0 et 3 log au Veillon avec une majorité des valeurs entre 1 et 2 log

Ce schéma général, repose sur l'hypothèse de contaminations issues uniquement du bassin versant. Certains calculs de l'abattement des contaminations de l'amont vers l'aval laissent cependant apparaître la possibilité de contaminations émises directement ou de façon diffuse dans la partie estuarienne.

4.5 Analyse de la contamination microbienne dans la partie estuarienne

4.5.1 Examen des données

Il a été montré au paragraphe 4.4 les conditions selon lesquelles les contaminations du bassin versant pouvaient atteindre la zone ostréicole. Pour tester un peu plus avant cette hypothèse, les niveaux de contamination aux stations aval (G1 et V1) ont été examinés en fonction des périodes (humide ou sèche) et des cumuls de pluies.

| Période | Date | PC4J PC2M | ECE |
|---------|------------|-----------|-----|
| H | 16/03/2009 | 7 | 16 |
| H | 24/03/2009 | 3 | 16 |
| H | 02/04/2009 | 0 | 16 |
| H | 12/05/2009 | 992 | 16 |
| H | 24/11/2008 | 1699 | 38 |
| H | 14/04/2009 | 579 | 38 |
| H | 05/05/2009 | 25 | 38 |
| H | 13/11/2009 | 2679 | 38 |
| H | 10/12/2008 | 110 | 119 |
| H | 23/02/2009 | 6 | 119 |
| H | 20/04/2009 | 456 | 163 |
| H | 30/11/2009 | 8752 | 250 |
| H | 01/12/2008 | 4185 | 299 |
| H | 22/01/2009 | 6156 | 669 |
| H | 21/12/2009 | 7817 | 828 |
| S | 20/10/2008 | 378 | 16 |
| S | 07/07/2009 | 546 | 16 |
| S | 29/09/2009 | 7 | 16 |
| S | 06/10/2008 | 1976 | 38 |
| S | 15/06/2009 | 100 | 38 |
| S | 11/08/2009 | 49 | 38 |
| S | 09/09/2009 | 0 | 38 |
| S | 03/06/2009 | 0 | 78 |
| S | 20/07/2009 | 1317 | 78 |
| S | 31/08/2009 | 204 | 78 |
| S | 22/10/2009 | 5202 | 163 |

Tableau 10 : Classement des résultats selon les périodes (humide ou sèche) et selon le produit des pluies cumulées- station G1

| Période | Date | PC4J_PC2M | ECE |
|---------|------------|-----------|------|
| H | 24/11/2008 | 1699 | 77 |
| H | 01/12/2008 | 4185 | 459 |
| H | 10/12/2008 | 110 | 208 |
| H | 22/01/2009 | 6156 | 520 |
| H | 23/02/2009 | 6 | 16 |
| H | 16/03/2009 | 7 | 16 |
| H | 24/03/2009 | 3 | 16 |
| H | 02/04/2009 | 0 | 38 |
| H | 14/04/2009 | 579 | 16 |
| H | 20/04/2009 | 456 | 5028 |
| H | 05/05/2009 | 25 | 255 |
| H | 12/05/2009 | 992 | 77 |
| H | 13/11/2009 | 2679 | 208 |
| H | 30/11/2009 | 8752 | 1276 |
| H | 21/12/2009 | 7817 | 9663 |
| S | 06/10/2008 | 1976 | 77 |
| S | 20/10/2008 | 378 | 16 |
| S | 03/06/2009 | 0 | 16 |
| S | 15/06/2009 | 100 | 77 |
| S | 07/07/2009 | 546 | 16 |
| S | 20/07/2009 | 1317 | 115 |
| S | 11/08/2009 | 49 | 38 |
| S | 31/08/2009 | 204 | 38 |
| S | 09/09/2009 | 0 | 16 |
| S | 29/09/2009 | 7 | 16 |
| S | 22/10/2009 | 5202 | 38 |

Tableau 11 : Classement des résultats selon les périodes (humide ou sèche) et selon le produit des pluies cumulées - station V1

Légende et couleurs des tableaux:

| Période | Date | PC4J_PC2M | ECE |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| H | Hiver | < 10 | < 99 |
| S | Printemps | 10 à 100 | 100 à 999 |
| | Été | 100 à 999 | > 1000 |
| | Automne | > 1000 | |

NB: cette classification a été adoptée par commodité pour une meilleure visualisation des données

Unités et abréviations :

H : humide S : sèche

PC4J_PC2M : produit des pluies cumulées à 4 jours et à 2 mois

ECE : nombre d'*Escherichia coli* pour 100 millilitres d'eau (*E.coli*/100ml)

Observations

La grande majorité des contaminations de l'eau supérieures à 100 *E.coli*/100ml sont observées essentiellement lorsque les cumuls de pluies deviennent importants, et plutôt en deuxième partie d'automne, en hiver et en première partie de printemps (période humide). Les plus fortes contaminations sont atteintes pendant cette période. Toutefois on remarque également une valeur de 115 *E.coli*/100ml à V1 en été (20/07/2009), suite à un important cumul de pluies.

4.5.2 Etude de l'influence des paramètres environnementaux sur la contamination microbienne de l'eau

4.5.2.1 Influence des pluies

Il a été montré plus haut (& 4.3.1), que les flux microbiens du bassin versant étaient corrélés aux pluies cumulées des deux ou trois derniers jours, combinées à celle du dernier mois. Le

Figure 35 : Relation entre pluies cumulées et contamination de l'eau à G1 et V1

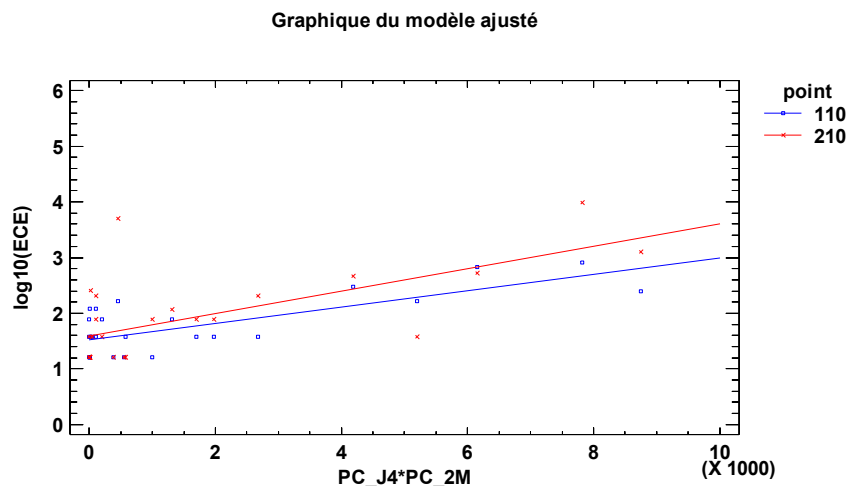


Figure 35 : relation entre pluies cumulées et contamination de l'eau à G1 et V1

On remarque bien une relation significative entre la contamination de l'eau et les pluies cumulées au cours des 4 derniers jours combinées à celles des deux derniers mois, ce qui concorde avec l'hypothèse d'une influence des apports de l'amont évoquée précédemment.

4.5.2.2 Rôle de la turbidité

Les germes microbiens sont souvent liés aux particules en suspension. La relation entre turbidité et contamination de l'eau a été analysée.

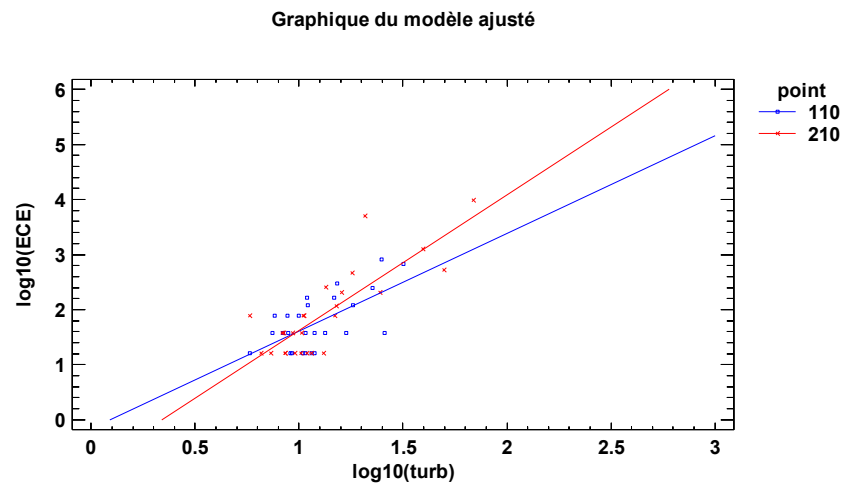


Figure 36 : relation entre turbidité et contamination de l'eau à G1 et V1

La figure ci-dessus montre que la turbidité et contamination sont positivement corrélées aux points G1 et V1. La relation est plus marquée au Veillon. Cette corrélation est également établie également sur les points situés plus en amont sur les chenaux. La turbidité augmente lors des élévations du débit des cours d'eau qui drainent alors les eaux de ruissellement et lors des périodes d'agitation du plan d'eau par les vents et les courants qui induisent une remise en suspension de sédiments potentiellement contaminés.

4.5.2.3 Effet «vacances scolaires»

Un effet «vacances scolaires» a également été testé en comparant selon les régions (zones A, B, C) les moyennes de contamination mesurées au delà des vacances

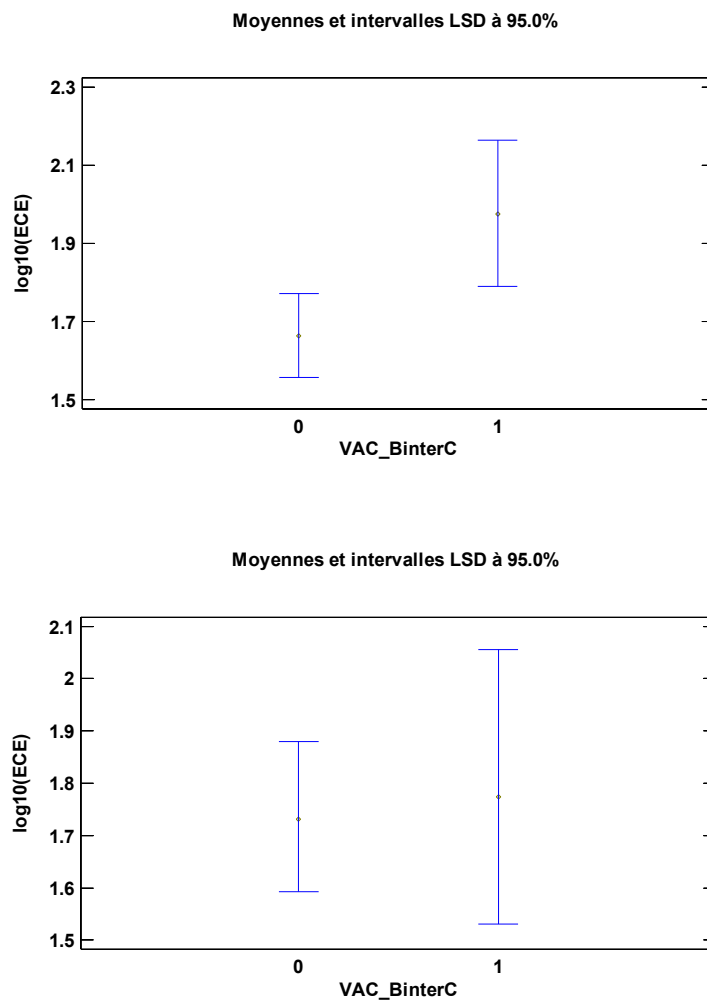


Figure 38 : moyennes des contaminations à V1

Une augmentation de la moyenne des contamination apparaît au point G1 lors des vacances cumulées des zones B et C. Le même effet n'est pas constaté à V1.

4.5.3 Place de l'hydraulique estuarienne dans les mécanismes de contamination

Suivant que les débits du bassin versant sont forts ou faibles les contaminations provenant de l'amont arrivent ou non jusqu'en aval (§ 4.4). Cela se produit probablement de façon plus aléatoire lorsque les débits sont moyens, car dans de telles conditions les masses d'eau sont davantage soumises à l'équilibre des forces entre les cours d'eau et la marée dynamique. L'étude hydraulique a montré la complexité du fonctionnement de l'estuaire. Les proportions du mélange entre eau douce (véhicule de la contamination) et eau de mer en un point donné dépendent des caractéristiques de la marée (heure, coefficient, phase du cycle « mortes eaux-vives-eaux ») ainsi que des apports d'eau douce amenés par les cours d'eau. A ces influences principales, s'ajoutent d'autres facteurs dont principalement la force et la direction des vents, et dans une proportion moindre les variations de la pression atmosphérique, qui peuvent favoriser les rétentions d'eau dans l'estuaire.

| Période | Date | Rev Déchet | ECE G1 | ECE-V1 |
|---------|------------|------------|--------|--------|
| S | 11/08/2009 | D | 38 | 38 |
| S | 09/09/2009 | D | 38 | 16 |
| S | 06/10/2008 | D | 38 | 77 |
| S | 20/10/2008 | D | 16 | 16 |
| S | 15/06/2009 | D | 38 | 77 |
| S | 22/10/2009 | D | 163 | 38 |
| S | 07/07/2009 | R | 16 | 16 |
| S | 20/07/2009 | R | 78 | 115 |
| S | 31/08/2009 | R | 78 | 38 |
| S | 29/09/2009 | R | 16 | 16 |
| S | 03/06/2009 | R | 78 | 16 |
| H | 12/05/2009 | D | 16 | 77 |
| H | 02/04/2009 | D | 16 | 38 |
| H | 14/04/2009 | D | 38 | 16 |
| H | 16/03/2009 | D | 16 | 16 |
| H | 01/12/2008 | D | 299 | 459 |
| H | 21/12/2009 | D | 828 | 9663 |
| H | 05/05/2009 | R | 38 | 255 |
| H | 13/11/2009 | R | 38 | 208 |
| H | 24/03/2009 | R | 16 | 16 |
| H | 20/04/2009 | R | 163 | 5028 |
| H | 24/11/2008 | R | 38 | 77 |
| H | 23/02/2009 | R | 119 | 16 |
| H | 10/12/2008 | R | 119 | 208 |
| H | 30/11/2009 | R | 250 | 1276 |
| H | 22/01/2009 | R | 669 | 520 |

Tableau 12 : Illustration des facteurs favorisant l'apparition des contaminations à G1 et V1

Légende et couleurs du tableau:

| Période | Date | Rev Déchet | ECE |
|----------|------------------|------------|------------------|
| H | Hiver | D | < 99 |
| S | Printemps | R | 100 à 999 |
| | Eté | | > 1000 |
| | Automne | | |

NB : cette classification a été adoptée par commodité pour une meilleure visualisation des données

Unités et abréviations :

H : humide **S** : sèche

D: déchet **R**: revif

ECE : nombre d'*Escherichia coli* pour 100 millilitres d'eau (*E.coli*/100ml)

Le tableau présente par période humide ou sèche les données jouant un rôle important dans l'apparition des contaminations dans les zones de production. Il s'agit d'une illustration permettant de montrer les interactions entre les apports du bassin versant et les indications fournies par l'étude hydraulique. En période sèche, sauf exception de type « orage », les débits des cours d'eau sont insuffisants pour véhiculer les contaminations du bassin versant vers l'aval. En période humide au contraire, par débit fort, les contaminations peuvent arriver jusqu'à la mer quelles que soient les conditions de marée. En débit moyen, l'alternance des phases de rétention et d'évacuation de l'eau dans les chenaux décrite dans l'étude hydraulique paraît jouer un rôle. Le tableau présente par période les résultats d'analyses microbiologiques dans l'eau à G1 et V1, comparées aux épisodes de revif et déchet. L'observation des données laisse penser que les phases de revif sont plus propices à la rétention d'eau contaminée dans les chenaux. En effet, la grande majorité des contaminations aux stations G1 et V1 ont été observées au cours de ces phases. Quelques contaminations sont également apparues en périodes de déchet, plutôt favorables à l'évacuation de l'eau vers l'Océan. Néanmoins, les facteurs relevés lors de ces épisodes étaient quant à eux soit propices à la rétention (régime météorologique dépressionnaire), soit favorables aux transports des contaminations vers l'aval (fort débit des cours d'eau).

Il s'agit à ce stade d'un constat qui resterait à valider par une analyse statistique reposant sur un plus grand nombre de données.

L'examen des résultats bactériologiques de l'eau au niveau des zones de production, laisse apparaître que la grande majorité des contaminations est observée en période humide et plutôt en deuxième partie d'automne, en hiver et en première partie de printemps. Les plus fortes contaminations sont atteintes pendant ces périodes.

Les tests statistiques semblent confirmer cette hypothèse. Il apparaît en effet l'existence d'une relation significative entre la contamination de l'eau et le cumul des pluies, en raison probablement des flux bactériens apparaissant suite au lessivage des sols lors de périodes particulièrement pluvieuses.

Le fonctionnement hydraulique de l'estuaire joue probablement lui aussi un rôle (à confirmer) au niveau des périodes d'apparition des contaminations de l'eau dans les zones de production. Il apparaît en effet que ces dernières sont en majorité observées au cours des périodes de revif, favorables à la rétention de l'eau dans les chenaux.

L'étude de l'influence des paramètres environnementaux sur la contamination microbienne de l'eau fait également ressortir des liens significatifs avec la turbidité (turbulences provoquées par les débits élevés des cours d'eau et avec l'agitation locale du plan d'eau).

Par ailleurs une augmentation de la moyenne des contaminations apparaît à la Guittière à l'époque des vacances scolaires (lien possible avec des problèmes d'assainissement). Ce phénomène n'a pas été détecté au Veillon.

4.6 Contamination microbiologique des huîtres

4.6.1 Rappel des principaux résultats de l'étude 2007-2008

Au cours de l'étude 2007-2008 des poches d'huîtres avaient été positionnées sur 7 stations réparties sur l'ensemble des chenaux (3 sur celui du Veillon, 3 sur celui de la Guittière et à l'Anse du Piquet). Ces poches ont été échantillonnées de septembre 2007 à août 2008, soit sur un cycle annuel, à raison de 2 prélèvements mensuels. L'objectif était d'avoir une densité spatio-temporelle de résultats plus élevée que celle du REMI (2 stations échantillonnées tous les 2 mois).

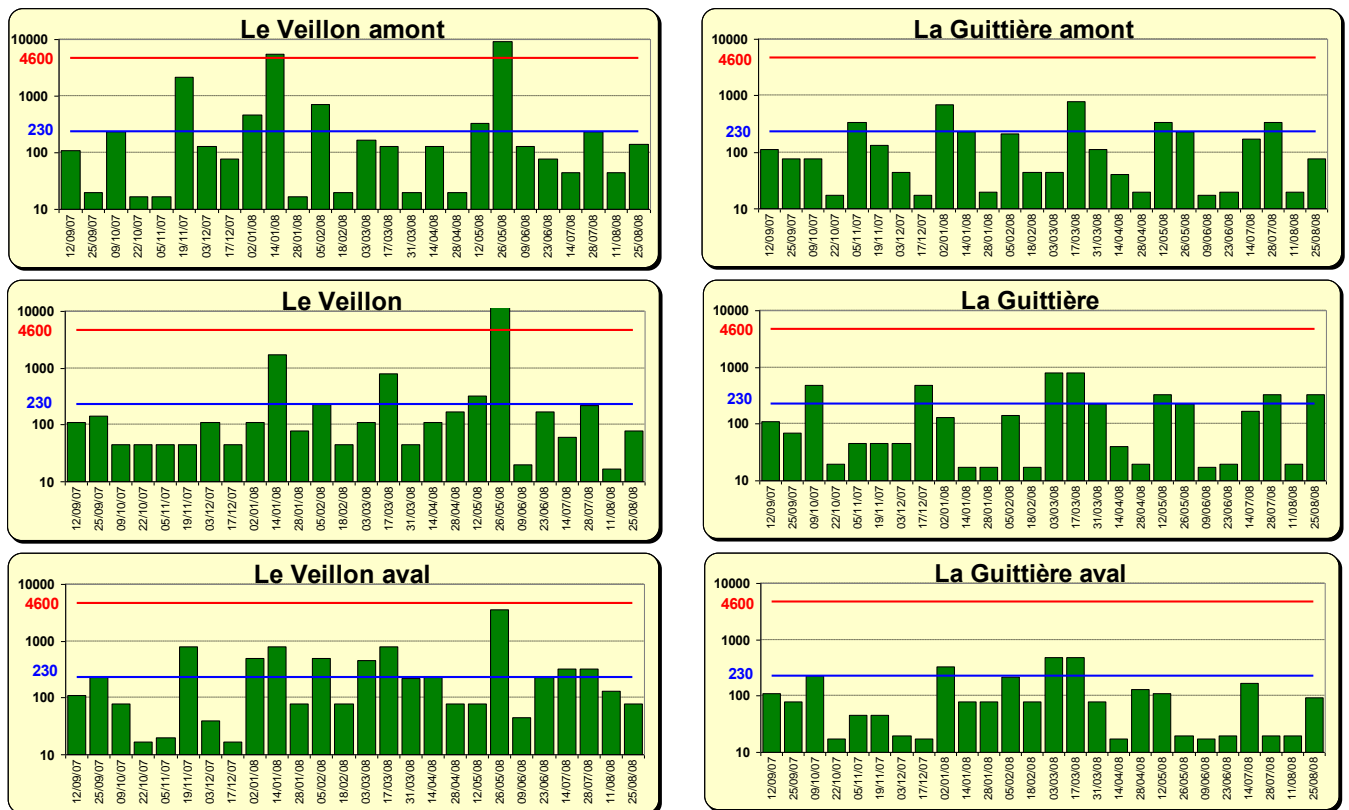


Figure 39 : niveaux de contaminations des huîtres observés au cours de l'étude 2007-2008

Elle avait confirmé l'existence d'épisodes de pollution d'origine fécale dans les chenaux, se traduisant par des augmentations récurrentes de charges en *E. coli* dans les huîtres. Si l'essentiel des pics observés étaient compris entre 230 et 4600 *E. coli*/100 g C.L.I certains résultats ont occasionnellement dépassé la limite des 4600 *E. coli*/100 g C.L.I. (limite au-delà de laquelle le classement de la zone pourrait basculer de B à C).

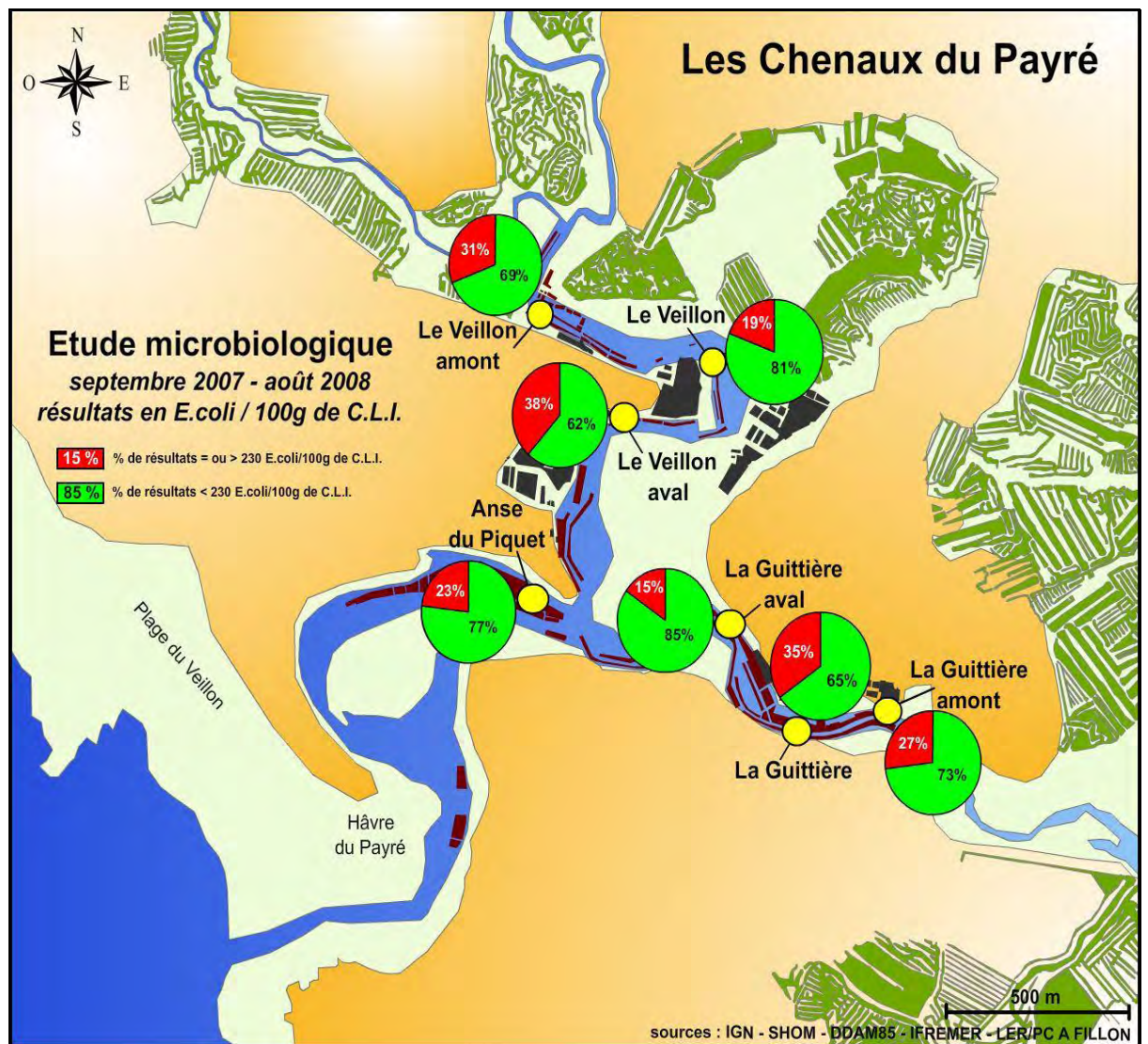


Figure 40 : pourcentages de dépassement du seuil de 230 *E. coli*/100 ml CLI sur les stations échantillonnées

L'observation du pourcentage de dépassements des 230 *E. coli*/100mg montre que la répartition spatiale de ces événements concerne l'ensemble des zones concédées, justifiant bien le classement B de la zone. L'analyse statistique des données confirme ce constat. Malgré une légère atténuation des contaminations entre le chenal du Veillon, celui de la Guittière et l'anse du Piquet, les valeurs entre les moyennes de celles-ci restent proches entre stations compte tenu des intervalles de confiance liées à la méthodologie analytique.

Moyennes et intervalles à 95.0% de Bonferroni

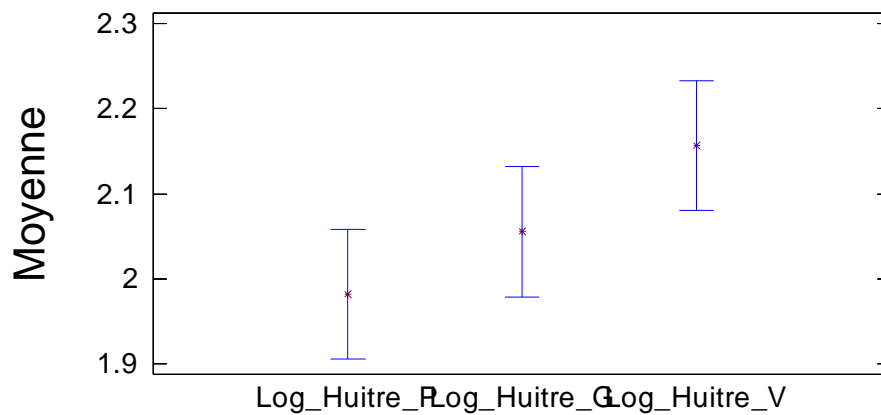


Figure 41 : comparaisons des moyennes des contaminations à l'anse du Piquet (P), au chenal du Veillon (V) et à la Guittièrre (G)- Test de Kruskal-Wallis

A partir de ce constat, l'étude 2008-2009 a cherché à préciser le lien entre la contamination de l'eau, celle des huîtres et les facteurs environnementaux.

4.6.2 Etude des relations entre contaminations de l'huître et de l'eau

L'accumulation des bactéries dans les tissus des bivalves se traduit par un enrichissement bactérien par rapport à l'eau environnante. Le facteur de concentration (ou d'enrichissement) dépend des conditions environnementales et de l'état physiologique des coquillages. Des facteurs de 10 à 30 sont communément admis pour *Escherichia coli* (Monfort, 2006).

| Classe | Limite inférieure | Point central | Limite supérieure | Effectif | Fréquence | Effectif cumulé | Fréquence cumulée |
|--------|-------------------|---------------|-------------------|----------|-----------|-----------------|-------------------|
| 1 | 0 | 1.9 | 3.8 | 33 | 0.66 | 33 | 0.66 |
| 2 | 3.8 | 5.7 | 7.6 | 4 | 0.08 | 37 | 0.74 |
| 3 | 7.6 | 9.5 | 11.4 | 4 | 0.08 | 41 | 0.82 |
| 4 | 11.4 | 13.3 | 15.2 | 2 | 0.04 | 43 | 0.86 |
| 5 | 15.2 | 17.1 | 19.0 | 0 | 0.00 | 43 | 0.86 |
| 6 | 19.0 | 20.9 | 22.8 | 4 | 0.08 | 47 | 0.94 |
| 7 | 22.8 | 24.7 | 26.6 | 0 | 0.00 | 47 | 0.94 |
| 8 | 26.6 | 28.5 | 30.4 | 1 | 0.02 | 48 | 0.96 |
| 9 | 30.4 | 32.3 | 34.2 | 2 | 0.04 | 50 | 1.00 |
| 10 | 34.2 | 36.1 | 38.0 | 0 | 0.00 | 50 | 1.00 |

Tableau 13 : valeurs et représentation du facteur d'enrichissement des huîtres constatés dans les chenaux du Payré au cours de l'étude

Les valeurs calculées à partir des données recueillies au cours de l'étude respectent ces ordres de grandeur avec une minorité dépassant légèrement le facteur 30. Une majeure partie d'entre elles se situent sur les valeurs basses de cette échelle, avec 66% des résultats inférieurs à 2 et 82% inférieurs ou égaux à 10.

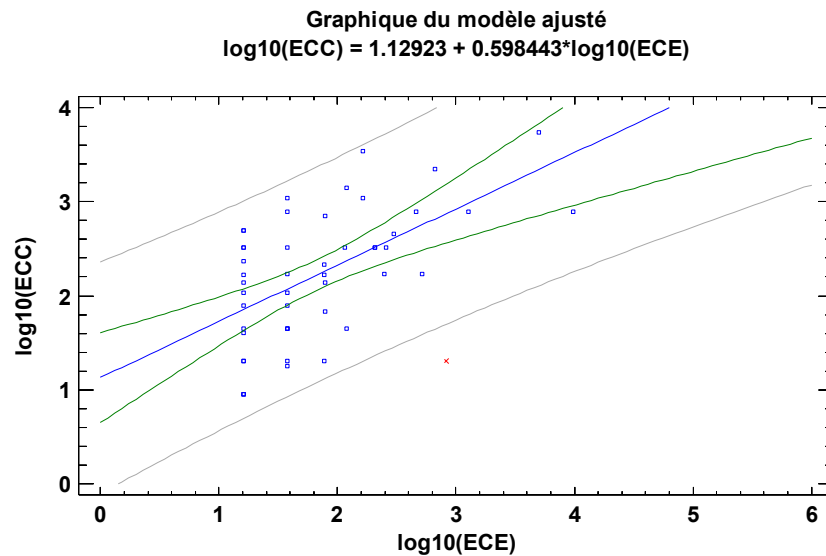


Figure 42 : relation entre contaminations de l'eau et des huîtres ($r^2 = 0.33$)

Les calculs montrent une certaine relation entre la contamination de l'eau et celle des huîtres. Toutefois une grande dispersion des valeurs subsiste. Les coquillages, de par leur physiologie, accumulent les contaminants présents dans l'eau. L'analyse de leur chair donne ainsi, entre autres choses, une idée de la qualité bactérienne de l'eau qui les a baignés durant les heures ayant précédé le prélèvement. Au contraire, l'analyse de l'eau reflète la qualité de celle-ci au moment du prélèvement, ce qui peut expliquer l'absence de relation étroite entre les concentrations mesurées dans l'eau et dans les huîtres. De plus s'agissant de l'huître (*C.gigas*), les processus de contamination et décontamination sont lents, ce qui génère un découplage rapide avec les variations de contamination observées dans l'eau (J.Y. Stanisière, communication personnelle, 2011).

4.6.3 Liens entre la contamination des huîtres et les facteurs environnementaux

4.6.3.1 Observation de la contamination des huîtres selon les périodes sèches et humides

Le tableau ci-dessous présente les niveaux de contamination au niveau des zones ostréicoles en fonction des périodes sèche ou humide. On remarque que comme pour l'eau, les contaminations des huîtres surviennent majoritairement en période humide. Cependant, certaines d'entre elles apparaissent également en période sèche. Sauf période orageuse, le débit des cours d'eau durant cette période étant trop faible pour entraîner les contaminations détectées en amont, l'hypothèse de rejets au niveau de l'estuaire (§ 4.4.2) semble crédible. On remarque également que la concordance entre la contamination de l'eau et celle des coquillages n'est pas systématique pour les raisons exprimées au paragraphe précédent.

| Période | Date | ECE G | ECC G | ECE V | ECC V |
|---------|------------|-------|-------|-------|-------|
| H | 24/11/2008 | 38 | 45 | 77 | 216 |
| H | 01/12/2008 | 299 | 456 | 459 | 792 |
| H | 10/12/2008 | 119 | 1406 | 208 | 329 |
| H | 22/01/2009 | 669 | 2212 | 520 | 169 |
| H | 23/02/2009 | 119 | 45 | 16 | 231 |
| H | 16/03/2009 | 16 | 78 | 16 | 9 |
| H | 24/03/2009 | 16 | 493 | 16 | 329 |
| H | 02/04/2009 | 16 | 138 | 38 | 20 |
| H | 14/04/2009 | 38 | 329 | 16 | 40 |
| H | 20/04/2009 | 163 | 1086 | 5028 | 5423 |
| H | 05/05/2009 | 38 | 78 | 255 | 329 |
| H | 12/05/2009 | 16 | 9 | 77 | 166 |
| H | 13/11/2009 | 38 | 169 | 208 | 329 |
| H | 30/11/2009 | 250 | 169 | 1276 | 792 |
| H | 21/12/2009 | 828 | 20 | 9663 | 792 |
| S | 20/10/2008 | 16 | 493 | 16 | 166 |
| S | 03/06/2009 | 78 | 137 | 16 | 45 |
| S | 15/06/2009 | 38 | 1086 | 77 | 20 |
| S | 07/07/2009 | 16 | 107 | 16 | 329 |
| S | 20/07/2009 | 78 | 700 | 115 | 329 |
| S | 11/08/2009 | 38 | 45 | 38 | 107 |
| S | 31/08/2009 | 78 | 68 | 38 | 18 |
| S | 09/09/2009 | 38 | 45 | 16 | 9 |
| S | 29/09/2009 | 16 | 20 | 16 | 20 |
| S | 22/10/2009 | 163 | 3477 | 38 | 792 |

Tableau 14 : classement des données de contamination de l'eau et des huîtres à G1 et V1

Légende et couleurs des tableaux :

| Période | Date | ECE | ECC |
|---------|-----------|-----------|----------|
| H | Hiver | < 99 | < 230 |
| S | Printemps | 100 à 999 | 231-1000 |
| | Été | > 1000 | > 1000 |
| | Automne | | |

NB : cette classification a été adoptée par commodité pour une meilleure visualisation des données

Unités et abréviations :

H: humide S: sèche

ECE: nombre d'*Escherichia coli* pour 100 millilitres d'eau (*E.coli/100ml*)

ECC : nombre d'*Escherichia coli* pour 100 millilitres de chair et de liquide intervalvaire de coquillages (*E. coli/100ml CLI*)

4.6.3.2 Etude des relations entre contamination des huîtres et les facteurs environnementaux

Les calculs ne montrent pas de relation établie avec la température, la salinité, la turbidité ou le débit du bassin versant.

Par contre, une relation positive se dessine entre la contamination des huîtres et les précipitations des 4 ou 5 derniers jours combinée à celles des 2 derniers mois. Elle est toutefois moins marquée que celle existant entre la contamination de l'eau et les précipitations (grande dispersion des valeurs). Cette tendance est moins nette pour les huîtres de la Guittière.

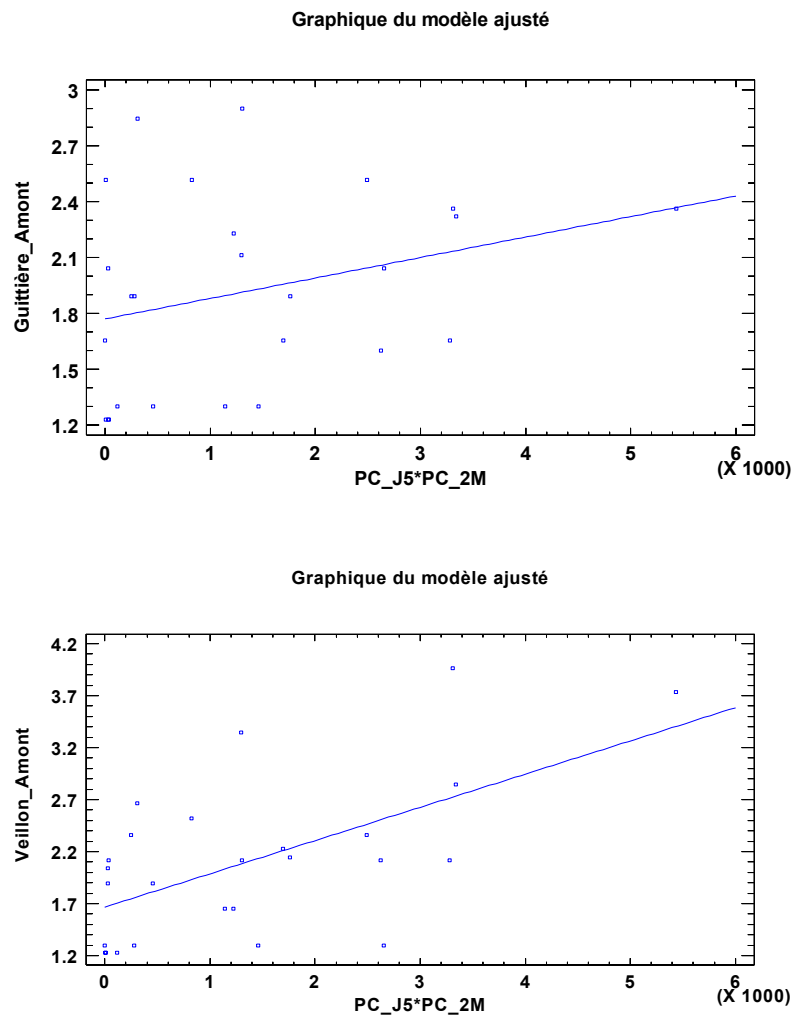


Figure 43 : relation entre contamination des huîtres à la Guittière et au Veillon avec les pluies cumulées à 5 jours combinées aux pluies cumulées sur deux mois

Les calculs suggèrent également un effet positif des surcotes dans l'estuaire. Celles-ci sont produites par l'action combinée des débits du bassin versant et des conditions météorologiques: pression atmosphérique, vents (§ 4.2.3). Lors de telles circonstances, les conditions favorisant la rétention de l'eau dans l'estuaire sont réunies.

On voit ainsi que le fonctionnement hydraulique de l'estuaire joue un rôle dans l'apparition des contaminations dans les huîtres, même si la mise en relation entre contamination de l'eau et des huîtres reste difficile à établir. Elle est en effet conditionnée par la combinaison à un moment donné de la présence de bactéries dans l'eau et de l'état physiologique des huîtres. Un protocole opératoire comprenant une beaucoup plus forte densité de prélèvements serait sans doute nécessaire pour parvenir à le mettre en évidence plus précisément.

La première étude menée en 2007-2008 confirmait l'existence d'épisodes de pollution d'origine fécale dans les chenaux, se traduisant par des augmentations récurrentes de charges en *E. coli* dans les huîtres. Si l'essentiel des pics observés étaient compris entre 230 et 4600 *E. coli*/100 g C.L.I certains résultats ont occasionnellement dépassé la limite des 4600 *E. coli*/100 g C.L.I. Ces contaminations se répartissaient sur l'ensemble de la zone ostréicole.

L'accumulation des bactéries dans les tissus des bivalves se traduit par un enrichissement bactérien par rapport à l'eau environnante. Le facteur de concentration (ou d'enrichissement) dépend des conditions environnementales et de l'état physiologique des coquillages. Les valeurs calculées à partir des données recueillies au cours de l'étude 2008-2010 montrent que ce facteur se situe en presque totalité sur une échelle de 10 à 30. Une majeure partie des résultats se situe sur les valeurs basses de cette échelle, avec 66% d'entre eux inférieurs à 2 et 82% inférieurs ou égaux à 10.

On ne distingue pas de corrélation évidente entre la contamination des huîtres et celle de l'eau, du fait d'une cinétique d'enrichissement lente chez *C. gigas*. Il en est de même lorsqu'on compare la contamination des huîtres avec certains paramètres environnementaux tels que la température, la salinité, la turbidité ou le débit du bassin versant. Par contre on peut trouver un lien avec les apports du bassin versant par l'intermédiaire des pluies cumulées qui y tombent.

Le fonctionnement hydraulique de l'estuaire joue également un rôle sur le déterminisme de l'apparition des contaminations dans les huîtres. Ces dernières sont véhiculées par l'eau, même si la mise en relation entre contamination de l'eau et des huîtres reste difficile à établir. Elle est en effet conditionnée par la combinaison à un moment donné de la présence de bactéries dans l'eau, des conditions environnementales et de l'état physiologique des huîtres.

Enfin, le fait que certaines contaminations se produisent pendant la période sèche alors que la qualité microbienne de l'eau ne semble pas altérée, renforce la plausibilité de l'hypothèse de rejets éventuels dans l'estuaire, déjà émise lors de l'étude de la contamination de l'eau.

5. Conclusion

Les études menées de 2007 à 2010 sur les chenaux du Payré avaient pour objectif de recueillir des éléments permettant de mieux appréhender les épisodes de pollution microbiologique menaçant la zone ostréicole, afin de fournir aux collectivités des informations en vue d'appuyer la politique de reconquête de la qualité du milieu et d'aider la profession à optimiser la gestion de sa production. Il a donc été nécessaire d'étudier les flux bactériens provenant des bassins versants et leur impact sur les zones de production, en lien avec le fonctionnement hydraulique du système estuarien.

5.1 Synthèse des études

5.1.1 Caractéristiques hydrauliques de l'estuaire du Payré

La zone ostréicole réagit très rapidement aux arrivées d'eau douce provenant du bassin versant. Les pluies peuvent induire une chute rapide de salinité tandis que le retour à l'équilibre est plus lent du fait du régime hydraulique particulier de l'estuaire du Payré. En effet, l'étude hydraulique a montré que la marée présente dans les chenaux un caractère nettement dissymétrique. Cela se traduit par un volume oscillant variable selon le cycle « mortes eaux-vives eaux ». L'eau a ainsi tendance à s'accumuler en revif (coefficients en croissance), puis à s'évacuer en déchet (coefficients en décroissance). De ce fait, à débit égal des apports du bassin versant, la proportion d'eau douce sera influencée en premier lieu par les coefficients de marée: variation de la proportion de 3 à 7 fois selon les stations de mesure. Les paramètres météorologiques (vent, pression atmosphérique) peuvent accentuer ou contrarier le phénomène et engendrer des variations importantes de la salinité.

5.1.2 Flux bactériens provenant du bassin versant

Les modèles montrent qu'il existe une corrélation nette entre les cumuls de pluie sur le bassin versant (lui-même divisé en sous bassins) et les niveaux de contamination de l'eau observés aussi bien en amont des chenaux, que dans la zone ostréicole. Le lessivage des sols lors de périodes particulièrement pluvieuses peut expliquer l'apparition de flux bactériens plus ou moins importants selon le débit des cours d'eau.

En plus de ces apports directement reliés aux pluies, certaines contaminations présentent un caractère différent, soit qu'elles apparaissent de façon occasionnelle, soit que l'on puisse les rapprocher de rejets en milieu urbain (ruisseau busé traversant Talmont St-Hilaire par exemple), ou de contaminations ponctuelles non corrélées aux pluies.

Concernant la hiérarchisation des flux moyens, pour le chenal du Veillon, les sous-bassins les plus actifs semblent être les sous bassins V2, V5 et V6 qu'il conviendrait d'examiner en priorité. Le sous bassin V5 semble être le plus chargé. A contrario son faible débit limite probablement son impact par rapport aux autres sous bassins. Côté Guittière, le sous-bassin G5 (le plus étendu) apparaît prépondérant en terme de flux moyen. Il apparaît aussi comme celui le plus chargé si l'on regarde les flux moyens au km². Il serait donc à examiner en priorité.

5.1.3 Transport des contaminations vers l'aval

Les contaminations en amont du bassin versant sont régulières et assez élevées (plus importantes au Veillon). Si les pluies déterminent l'apparition des contaminations, les cours d'eau leur servent de vecteur et leur permettent de parvenir jusqu'aux zones de production lorsque les débits deviennent suffisants. On peut distinguer une période sèche où les flux bactériens sont faibles et une période humide pendant laquelle ils augmentent avec une phase de transition lors des inter-saisons. La grande majorité des contaminations de l'eau dans les chenaux est observée pour des débits significatifs, et plutôt en deuxième partie d'automne, en hiver et en première partie de printemps. Les plus fortes contaminations sont atteintes pendant ces périodes.

Lors des plus forts débits, les contaminations peuvent arriver jusqu'à la mer quelles que soient les conditions de marée. En débit moyen, cela se produit probablement de façon plus aléatoire car les masses d'eau sont d'avantage soumises à l'équilibre des forces entre les cours d'eau et la marée dynamique.

En fonction des saisons, les niveaux de l'abattement de la contamination entre les stations de mesures amont et aval se situent :

- jusqu'à 100 fois à la Guittière avec une majorité de valeurs inférieures à 20 fois
- jusqu'à 1000 fois au Veillon avec une majorité des valeurs inférieures à 100 fois

Plusieurs résultats concernant l'abattement amont-aval laissent apparaître la possibilité de rejets émis directement ou de façon diffuse dans la partie estuarienne.

5.1.4 Caractéristiques des contaminations de l'eau observées au niveau des zones de production

Comme pour le bassin versant, les tests statistiques semblent confirmer l'existence d'une relation significative entre la contamination de l'eau et le cumul des pluies, en raison probablement des flux bactériens apparaissant suite au lessivage des sols lors de périodes particulièrement pluvieuses. L'étude de l'influence des paramètres environnementaux sur la contamination microbienne de l'eau fait également ressortir des liens significatifs avec les fortes turbidités résultant des ruissellements, des turbulences provoquées par les augmentations de débit des cours d'eau, et de l'agitation locale du plan d'eau dans l'estuaire favorisant la remise en suspension des sédiments.

Outre l'influence majeure des apports du bassin versant, il semble que l'hydraulique de l'estuaire joue également un rôle dans le déterminisme des contaminations. L'observation des données laisse penser que les phases de revif sont plus propices à la rétention d'eau contaminée dans les chenaux, la grande majorité des contaminations étant constatées lors de ces phases.

Par ailleurs une augmentation de la moyenne des contaminations apparaît à la Guittière à l'époque des vacances scolaires (lien possible avec des problèmes d'assainissement). Ce phénomène n'a pas été détecté au Veillon.

5.1.5 Contamination des huîtres

La mise en relation entre contamination de l'eau et des huîtres reste difficile à établir en milieu ouvert. Elle est en effet conditionnée par la combinaison à un moment donné de la présence de bactéries dans l'eau, des conditions environnementales et de l'état physiologique des huîtres.

L'accumulation des bactéries dans les tissus des bivalves se traduit par un enrichissement bactérien par rapport à l'eau environnante. Le facteur de concentration (ou d'enrichissement) fluctue en fonction de la combinaison des éléments énoncés plus haut. Les valeurs calculées à partir des données recueillies au cours de l'étude montrent que ce facteur se situe en presque totalité sur une échelle de 10 à 30. Une majeure partie des résultats se situe sur les valeurs basses de cette échelle, avec 66% d'entre eux inférieurs à 2 et 82% inférieurs ou égaux à 10.

La contamination des huîtres peut être statistiquement rapprochée des apports du bassin versant par l'intermédiaire des pluies cumulées qui y tombent. Certaines contaminations non directement reliées à ces apports laissent penser à de possibles rejets situés sur la partie aval des chenaux et dans l'estuaire lui-même.

5.2 Propositions pour orienter la recherche des sources de contamination

La réduction des contaminations suppose d'en avoir précisément détecté les origines. L'étude a montré que l'on pouvait distinguer les contaminations issues du bassin versant (à partir des différents sous bassins), de celles rejetées vraisemblablement dans la partie aval des chenaux.

5.2.1 Contaminations issues du bassin versant

La hiérarchisation des flux de pollution a permis de déterminer les niveaux d'implication des sous bassins (§ 4.3.2) :

- pour le Veillon, il s'agit par ordre décroissant de ceux aboutissant aux stations de mesures V2 (chenal des hautes mers) avec 24% du flux moyen, V6 (ruisseau des Rosais) et V8 (ruisseau du Gay Chatenay) avec 15% chacun, puis V7 (ruisseau du Bois Jaulin) avec 7%. Le ruisseau canalisé débouchant à la station V5 en sortie de Talmont présente un faible débit, mais une forte contamination.
- Pour la Guittière, on trouve en premier lieu le chenal de l'Île Bernard aboutissant à la station G5 avec 28% du flux moyen et celui passant au lieu-dit « l'Ensoivière » qui aboutit à la station G4 avec 10% du flux.

Les niveaux de priorité apparaissent ainsi concernant la recherche plus précise des sources de contamination. Il s'agit à présent d'effectuer une enquête géoréférencée sur ces sous-bassins, comprenant le recensement des sources potentielles qu'elles soient d'origine rurale (élevages, habitations), ou urbaines (réseaux d'assainissement, canalisations pluviales).

Pour mieux cerner les origines, il peut également être utile d'avoir recours à des diagnostics différentiels. Des méthodes analytiques se développent, permettant de tracer l'origine humaine ou animale (en distinguant certaines espèces animales) des pollutions fécales. L'état des recherches concernant ces traceurs de même que leur application a été présenté au cours du colloque sur la qualité sanitaire des eaux de baignade et conchylicoles au centre IFREMER de Brest, 29 octobre 2010 (http://wwz.ifremer.fr/tsm_2010/Programme).

5.2.2 Contaminations dans la partie aval des chenaux et dans l'estuaire

Comme évoqué précédemment, l'étude de l'abattement de la contamination de l'eau entre l'amont et l'aval des chenaux (§ 4.4) laisse supposer la possibilité de l'existence de sources potentielles situées dans leur partie aval (estuarienne). L'observation de contaminations occasionnelles des huîtres en période sèche appuie cette hypothèse (§4.6), même s'il ne faut pas écarter les apports du bassin versant consécutifs aux pluies d'orages. La recherche de ces sources serait donc à envisager et devrait être incluse dans l'enquête préconisée, qui serait donc à mener sur l'ensemble estuaire, chenaux, bassin versant (et sous-bassins).

5.3 Recherche d'éléments pouvant permettre la mise au point d'un système d'alerte

De façon simplifiée, les contaminations peuvent être reliées soit à des apports du bassin versant soit à des rejets de proximité en aval des chenaux. Les premières se produisent préférentiellement en période humide et lorsque les débits des cours d'eau sont moyens à élevés. Les secondes surviennent probablement en toutes saisons, mais sont plus apparentes en période sèche, lorsqu'elles ne sont pas masquées par les apports provenant de l'amont.

Concernant ces contaminations de l'aval, leur origine et les circonstances de leurs manifestations restent à éclaircir. Pour celles issues du bassin versant, les informations recueillies concernant leurs apparitions fournissent des premières pistes concrètes de réflexion pour concevoir un système d'évaluation du risque, qui reposerait sur un ensemble d'indicateurs.

5.3.1 Les pluies

On a vu que les contaminations de l'eau étaient corrélées aux cumuls de pluies (produit des pluies cumulées au cours des 2 ou 3 derniers jours et du dernier mois pour les contaminations détectées aux stations de mesure amont). Un travail pourrait être envisagé, portant sur une analyse fine de ces cumuls en vue d'établir les niveaux au dessus desquels le risque apparaît. Le système à mettre en place reposerait ensuite sur un suivi régulier des hauteurs de pluies tombées localement (station locale ou accès en temps réel aux données de Météo-France).

5.3.2 Les débits

La période humide (globalement de novembre à mai) est celle où le risque augmente avec la fréquence et le niveau des contaminations. Bien que la pluviométrie soit le facteur déterminant, on peut affiner la caractérisation du risque grâce à l'observation des débits (véhicule des contaminations)

| Gamme de débits (m ³ /s) | Proportion dépassements | % dépassements |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------|
| 0-099 | 0 (10) | 0 |
| 0,100-0,999 | 4 (12) | 33,3 |
| > 1,000 | 4 (4) | 100 |

Tableau 15 : fréquences de résultats supérieurs à 100 *E. coli*/ 100ml d'eau à G1 par classes de débits de la Ciboule (étude 2008-2010)

| Gamme de débits (m ³ /s) | Proportion dépassements | % dépassements |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------|
| 0-0,99 | 1 (10) | 10 |
| 0,100-0,999 | 4 (12) | 33,3 |
| > 1,000 | 4 (4) | 100 |

Tableau 16 : fréquences de résultats supérieurs à 100 *E. coli*/ 100ml d'eau à V1 par classes de débits de la Ciboule (étude 2008-2010)

Les tableaux ci-dessus permettent, à partir des fréquences de résultats supérieurs à 100 *E. coli*/ 100ml, de repérer 3 niveaux de risques d'apparition de contaminations dans l'eau baignant les zones de production selon les classes de débits de la Ciboule. En reprenant les chroniques de débit de ce cours d'eau sur la période considérée, il est possible de qualifier ces 3 niveaux comme suit :

- débit Ciboule régulièrement inférieur à 0.01 m³/s (juin-septembre) : risque occasionnel (orages.)
- débit Ciboule entre 0.01m³/s et 1 m³/s avec des dépassements épisodiques au-delà de 1m³/s (octobre-novembre et mars-mai) : risque avéré
- débit Ciboule régulièrement supérieur à 1m³/s (décembre-février) : risque maximum

Les période de revif semblent plus propices à la rétention des contaminations dans l'estuaire et sont donc à considérer comme plus à risque pour les débits intermédiaires (débit Ciboule entre 0.01m³/s et 1 m³/s).

Il paraît opportun de pouvoir équiper l'un des principaux sous-bassins du Payré d'une station de mesures en continu de débit pour mieux évaluer le risque localement. Néanmoins en l'absence de ce type de station, il serait utile de pouvoir se référer en temps réel aux débits de la Ciboule, mesurés à « La Renelière » sur la commune de La Chapelle-Achard.

5.3.3 La turbidité

Une autre piste pourrait concerner le suivi de la turbidité, qui est assez bien corrélée aux contaminations de l'eau en période humide. Cela nécessiterait l'acquisition localement d'un turbidimètre et sa mise en œuvre régulière.

5.3.4 L'hydraulique estuarienne

L'estuaire se caractérise par un fonctionnement hydraulique spécifique pouvant entraîner à certaines périodes une rétention d'eau et potentiellement des contaminations. Les facteurs favorisant cette rétention sont ainsi susceptibles d'être générateurs de risques. Ce sont les phases du cycle de marée où les coefficients augmentent (revif), et à un moindre degré les conditions météorologiques (vents forts de sud-est à sud-ouest, et faibles pressions atmosphériques). Ces éléments donnent également une indication permettant d'augmenter le niveau de vigilance.

5.3.5 Adaptation des autocontrôles

Il pourrait être envisagé d'adapter la fréquence des autocontrôles portant sur la qualité sanitaire des huîtres issues des chenaux selon la périodicité des risques.

6. Bibliographie

Felgines, D., 1994, Etude des sources potentielles de contamination microbienne sur le bassin versant d'une zone conchylicole en Sud Vendée, Mémoire d'ingénieur ENSAR, 38 p.

Monfort P., Hervio-Heath D., Caprais MP., Pommepeuy M., Annezo J.P., Loaec S., Le Menec C., Guillerme E., Boulben S., Bilien G., Bonsor R., Porter J., Et Pickup R. 2006. Le bassin versant du Bélon : vers une restauration durable de la qualité bactériologique des eaux estuariennes, rapport Ifremer RST/LER/FBN/CC – 06.10, 119 p.

Guillaud, JF., Bouriel., 2007, Relation concentration débit et évolution temporelle du nitrate dans 25 rivières de la Région Bretagne, Revue des sciences de l'eau 16 p.

Anon., 2008, l'ostréiculture du bassin de Talmont, cahier n°2 d'Asterella, ouvrage collectif du groupe associatif estuaire, 18 p.

Bougeard, M., et al., 2008, Modélisation des flux de contamination fécale et de leur impact sur la zone littorale, Convention Agence de l'Eau Loire Bretagne n° 0620979, 89 p .

Paticat. F., et al., 2009, Mesure des flux hydrauliques dans les chenaux du Payré : lien avec la contamination microbiologique des zones ostréicoles, Convention Agence de l'Eau Loire Bretagne n° 075210848F, 36 p .

Bougeard, M., et al., 2011, Modeling of *Escherichia coli* Fluxes on a Catchment and the Impact on Coastal Water and Shellfish Quality, JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 38 p.

Sites web :

Qualité sanitaire des eaux de baignade et conchylicoles :
http://wwz.ifremer.fr/tsm_2010/Programme

Laboratoire LER/PC :
<http://wwz.ifremer.fr/lerpc/>

7. Annexes

Les trois premières annexes présentées dans les pages suivantes concernent les résultats des analyses microbiologiques obtenus pendant les études 2007-2008 et 2008-2010 sur l'eau et sur les huîtres. Les suivantes, classées par paragraphe, reprennent l'essentiel des résultats des différents traitements de données.

ANNEXE 1 A

Résultats des analyses de colimétrie dans les huîtres (*E. coli* / 100ml CLI)

Etude 2007-2008

| Date | GUITIÈRE amont | GUITIÈRE | GUITIÈRE aval | VEILLON amont | VEILLON | VEILLON aval | ANSE DU PIQUET |
|------------|-------------------|----------|------------------|------------------|---------|-----------------|-------------------|
| 12/09/2007 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| 25/09/2007 | 78 | 68 | 78 | 20 | 140 | 230 | 17 |
| 09/10/2007 | 78 | 490 | 230 | 230 | 45 | 78 | 220 |
| 22/10/2007 | 17 | 20 | 17 | 17 | 45 | 17 | 20 |
| 05/11/2007 | 330 | 45 | 45 | 17 | 45 | 20 | 20 |
| 19/11/2007 | 130 | 45 | 45 | 2200 | 45 | 790 | 170 |
| 03/12/2007 | 45 | 45 | 20 | 130 | 110 | 40 | 130 |
| 17/12/2007 | 17 | 490 | 17 | 78 | 45 | 17 | 17 |
| 02/01/2008 | 700 | 130 | 330 | 460 | 110 | 490 | 230 |
| 14/01/2008 | 230 | 17 | 78 | 5400 | 1700 | 790 | 78 |
| 28/01/2008 | 20 | 17 | 78 | 17 | 78 | 78 | 230 |
| 05/02/2008 | 210 | 140 | 220 | 700 | 230 | 490 | 1400 |
| 18/02/2008 | 45 | 17 | 78 | 20 | 45 | 78 | 170 |
| 03/03/2008 | 45 | 790 | 490 | 170 | 110 | 460 | 170 |
| 17/03/2008 | 790 | 790 | 490 | 130 | 790 | 790 | 490 |
| 31/03/2008 | 110 | 230 | 78 | 20 | 45 | 220 | 78 |
| 14/04/2008 | 40 | 40 | 17 | 130 | 110 | 230 | 20 |
| 28/04/2008 | 20 | 130 | 130 | 20 | 170 | 78 | 45 |
| 12/05/2008 | 330 | 110 | 110 | 330 | 330 | 78 | 45 |
| 26/05/2008 | 230 | 460 | 20 | 9200 | 16001 | 3500 | 790 |
| 09/06/2008 | 17 | 45 | 17 | 130 | 20 | 45 | 17 |
| 23/06/2008 | 20 | 230 | 20 | 78 | 170 | 230 | 20 |
| 14/07/2008 | 170 | 270 | 170 | 45 | 61 | 330 | 170 |
| 28/07/2008 | 330 | 460 | 20 | 230 | 220 | 330 | 230 |
| 11/08/2008 | 20 | 45 | 20 | 45 | 17 | 130 | 78 |
| 25/08/2008 | 78 | 330 | 93 | 140 | 78 | 78 | 20 |

ANNEXE 1 B

Résultats des analyses de colimétrie dans les huîtres (*E. coli* / 100ml CLI)

Etude 2008-2009

| Date | G1 (Guittièrre) | V1 (Veillon) |
|------------|-----------------|--------------|
| 20/10/2008 | 493 | 166 |
| 24/11/2008 | 45 | 216 |
| 01/12/2008 | 456 | 792 |
| 10/12/2008 | 1406 | 329 |
| 22/01/2009 | 2212 | 169 |
| 23/02/2009 | 45 | 231 |
| 16/03/2009 | 78 | 9 |
| 24/03/2009 | 493 | 329 |
| 02/04/2009 | 138 | 20 |
| 14/04/2009 | 329 | 40 |
| 20/04/2009 | 1086 | 5423 |
| 05/05/2009 | 78 | 329 |
| 12/05/2009 | 9 | 166 |
| 03/06/2009 | 137 | 45 |
| 15/06/2009 | 1086 | 20 |
| 07/07/2009 | 107 | 329 |
| 20/07/2009 | 700 | 329 |
| 11/08/2009 | 45 | 107 |
| 31/08/2009 | 68 | 18 |
| 09/09/2009 | 45 | 9 |
| 29/09/2009 | 20 | 20 |
| 22/10/2009 | 3477 | 792 |
| 13/11/2009 | 169 | 329 |
| 30/11/2009 | 169 | 792 |
| 21/12/2009 | 20 | 792 |

ANNEXE 1 C

Résultats des analyses de colimétrie dans l'eau (*E. coli* / 100ml) sur l'ensemble des stations de mesure

Etude 2008-2010

| Date | G1 | G2 | G4* | G5* | V1 | V2* | V3 | V4 | V5* | V6* | V7* | V8* | V9* |
|------------|-----|------|------|------|------|-------|------|-------|----------|-------|------|------|------|
| 06/10/2008 | 38 | 38 | 403 | 450 | 77 | 635 | 115 | 781 | 4669 | ** | ** | 78 | ** |
| 20/10/2008 | <38 | 78 | 486 | 635 | <38 | 758 | 77 | 519 | 9978 | 1116 | 38 | 38 | ** |
| 24/11/2008 | 38 | 38 | 1015 | 706 | 77 | 3295 | 412 | 50280 | 87670 | 3553 | 1596 | 4212 | 4594 |
| 01/12/2008 | 299 | 669 | 1491 | 1049 | 459 | 896 | 2444 | 2187 | 8424 | 1850 | 2315 | 460 | 4669 |
| 10/12/2008 | 119 | 250 | 286 | 570 | 208 | 508 | 208 | 1768 | 5028 | 208 | 723 | 460 | 584 |
| 22/01/2009 | 669 | 861 | 570 | 5120 | 520 | 4117 | 6705 | 4966 | 1764 | 3976 | 1228 | 4212 | 5312 |
| 23/02/2009 | 119 | 78 | 38 | 117 | <38 | 78 | 38 | 3925 | 28480 | 412 | 208 | 836 | 706 |
| 16/03/2009 | <38 | <38 | <38 | 119 | <38 | 305 | 78 | <38 | 3762 | 163 | 38 | 119 | 119 |
| 24/03/2009 | <38 | <38 | 357 | 255 | <38 | 204 | <38 | <38 | 22210 | 38 | 350 | 620 | <38 |
| 02/04/2009 | <38 | 38 | 305 | 77 | 38 | 386 | 250 | 6705 | 41530 | 299 | 77 | 255 | 299 |
| 14/04/2009 | 38 | 38 | 78 | 119 | <38 | 460 | <38 | 1553 | 466900 | 460 | 357 | 119 | 889 |
| 20/04/2009 | 163 | 38 | 412 | 781 | 5028 | 618 | 1049 | 3307 | 201980 | 1184 | 802 | 847 | 923 |
| 05/05/2009 | <38 | 38 | 204 | 533 | 255 | 758 | 952 | 4594 | 152580 | 2498 | 78 | 2315 | 1079 |
| 12/05/2009 | <38 | 38 | 760 | 450 | 77 | 2664 | 460 | 923 | 38010 | 2233 | 208 | 893 | 208 |
| 03/06/2009 | 78 | 38 | 635 | 208 | <38 | 706 | 403 | 1349 | 169840 | 2420 | 38 | 887 | 804 |
| 15/06/2009 | 38 | 38 | 520 | 725 | 77 | 1662 | 38 | 1049 | 81800 | 13230 | 208 | 923 | 1464 |
| 07/07/2009 | <38 | 78 | 250 | 634 | <38 | 704 | 78 | 1049 | 466900 | ** | 1228 | 471 | 706 |
| 20/07/2009 | 78 | 78 | 77 | 460 | 115 | 6705 | 208 | 471 | 7214 | ** | ** | 357 | 1043 |
| 11/08/2009 | 38 | <38 | <38 | 460 | 38 | 299 | 38 | 1428 | > 820670 | ** | ** | 1116 | 245 |
| 31/08/2009 | 78 | <38 | ** | 208 | 38 | 1953 | 78 | <38 | ** | ** | ** | ** | 620 |
| 09/09/2009 | 38 | <38 | 119 | 777 | <38 | 599 | <38 | 78 | 2204 | ** | ** | ** | 78 |
| 29/09/2009 | <38 | <38 | 255 | 804 | <38 | 1082 | 255 | 2068 | 536800 | ** | ** | ** | 4212 |
| 22/10/2009 | 163 | 460 | 828 | 357 | 38 | 570 | 983 | 1970 | 11892 | ** | 1662 | 5028 | 2457 |
| 13/11/2009 | 38 | 119 | 706 | 584 | 208 | 949 | 3307 | 11333 | 254900 | 951 | 471 | 255 | 1961 |
| 30/11/2009 | 250 | 686 | 2940 | 1970 | 1276 | 1860 | 2631 | 2328 | 10839 | 6547 | 6398 | 1086 | 3537 |
| 21/12/2009 | 828 | 6860 | 7953 | 8767 | 9663 | 11333 | 6078 | 5120 | 4669 | 8360 | 3354 | 5947 | 5824 |
| 19/01/2010 | ** | ** | 208 | 208 | ** | 584 | ** | ** | 11454 | 299 | 471 | 650 | ** |
| 26/02/2010 | ** | ** | 395 | 983 | ** | 599 | ** | ** | 7404 | 926 | 1551 | 638 | ** |

* station avec mesure de débit

** pas de prélèvement

ANNEXE 2 A

§ 2. Bilan des connaissances acquises préalablement : analyse des résultats du REMI (Réseau de surveillance microbiologique) de 1989 à 2009

Test de comparaison (analyse de la variance) de la contamination moyenne des huîtres à la Guittière, au Veillon et à l'anse du Piquet

Tableau de l'ANOVA

Analyse de variance

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | F | Proba. |
|---------------|------------------|-----|-------------|------|--------|
| Inter-groupes | 3.83872 | 2 | 1.91936 | 3.77 | 0.0234 |
| Intra-groupes | 381.413 | 750 | 0.50855 | | |
| Total (Corr.) | 385.252 | 752 | | | |

Tableau des moyennes avec intervalles de confiance à 95.0%

| | Effectif | Erreur type | | Limite inf. | Limite sup. |
|--------------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|
| | | Moyenne | (s agrégé) | | |
| Log_Huitre_P | 251 | 1.98219 | 0.0450122 | 1.90599 | 2.05839 |
| Log_Huitre_G | 251 | 2.05526 | 0.0450122 | 1.97906 | 2.13146 |
| Log_Huitre_V | 251 | 2.15633 | 0.0450122 | 2.08014 | 2.23253 |
| Total | 753 | 2.06459 | | | |

Test de Kruskal-Wallis

| | Taille échantillon | Rang moyen |
|--------------|--------------------|------------|
| Log_Huitre_P | 251 | 350.143 |
| Log_Huitre_G | 251 | 374.321 |
| Log_Huitre_V | 251 | 406.536 |

Test statistique = 8.54332 Proba. = 0.0139586

Le StatAdvisor

 Le test de Kruskal-Wallis teste l'hypothèse nulle que les médianes pour les 3 colonnes sont les mêmes. Les données de toutes les colonnes sont combinées puis triées de la plus petite à la plus grande. Le rang moyen est alors calculé pour les données de chaque colonne. Comme la valeur de la probabilité est inférieure à 0.05, il y a une différence statistiquement significative entre les médianes au niveau de confiance de 95.0%. Pour déterminer les médianes qui sont significativement différentes les unes des autres, sélectionner Boîtes à moustaches dans la liste des options pour les graphiques et activer l'option Encoche sur la médiane. Test de Kruskal-Wallis

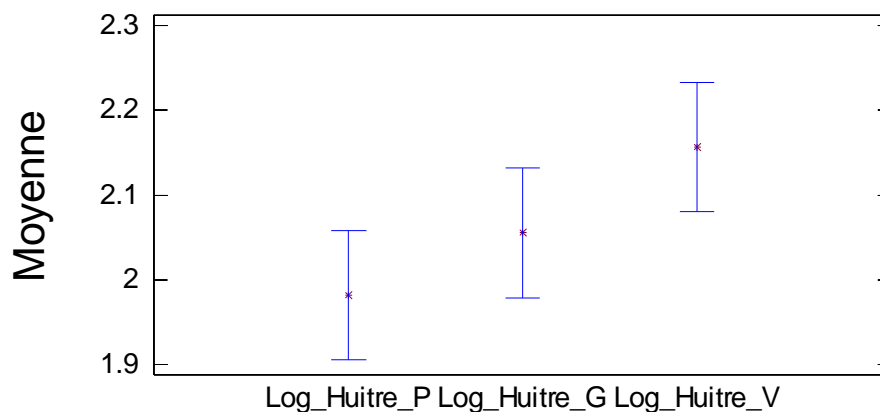
| | Taille échantillon | Rang moyen |
|--------------|--------------------|------------|
| Log_Huitre_P | 251 | 350.143 |
| Log_Huitre_G | 251 | 374.321 |
| Log_Huitre_V | 251 | 406.536 |

 Test statistique = 8.54332 Proba. = 0.0139586

Le StatAdvisor

 Le test de Kruskal-Wallis teste l'hypothèse nulle que les médianes pour les 3 colonnes sont les mêmes. Les données de toutes les colonnes sont combinées puis triées de la plus petite à la plus grande. Le rang moyen est alors calculé pour les données de chaque colonne. Comme la valeur de la probabilité est inférieure à 0.05, il y a une différence statistiquement significative entre les médianes au niveau de confiance de 95.0%.

Moyennes et intervalles à 95.0% de Bonferroni



ANNEXE 2 B

§ 2. Bilan des connaissances acquises préalablement : analyse des résultats du REMI (Réseau de surveillance microbiologique) de 1989 à 2009

Analyse (modèle linéaire général) de la contamination des huîtres au Veillon en fonction des pluies cumulées et du débit de la Ciboule

Nombre de variables à expliquer: 1

Nombre de facteurs qualitatifs: 2

A=Période

B=trimestre

Nombre de facteurs quantitatifs: 2

C=Débit_Ciboule_J1

D=PC_J5*PC_2M

Analyse de la variance pour Log_Huitre_V

| Source | Sommes des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|---------------|-------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Modèle | 40,8323 | 9 | 4,53693 | 11,95 | 0,0000 |
| Résidu | 92,6289 | 244 | 0,379627 | | |
| Total (Corr.) | 133,461 | 253 | | | |

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|------------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Periode | 3,17668 | 4 | 0,79417 | 2,09 | 0,0825 |
| trim | 0,915198 | 3 | 0,305066 | 0,80 | 0,4929 |
| Debit_Ciboule_J1 | 2,72259 | 1 | 2,72259 | 7,17 | 0,0079 |
| PC_J5*PC_2M | 14,9036 | 1 | 14,9036 | 39,26 | 0,0000 |
| Résidu | 92,6289 | 244 | 0,379627 | | |
| Total (corrigé) | 133,461 | 253 | | | |

R-carré = 30,5949 pourcents

R-carré (ajusté pour les ddl) = 28,0349 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0,616138

Erreur absolue moyenne = 0,497247

Statistique de Durbin-Watson = 1,66777 (P=0,0039)

Analyse (modèle linéaire général) de la contamination des huîtres à la Guittière en fonction des pluies cumulées et du débit de la Ciboule

Nombre de variables à expliquer: 1

Nombre de facteurs qualitatifs: 2

A=Période

B=trimestre

Nombre de facteurs quantitatifs: 2

C=Débit_Ciboule_J1

D=PC_J5*PC_2M

Analyse de la variance pour Log Huitre G

| Source | Sommes des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|---------------|-------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Modèle | 53,8823 | 9 | 5,98692 | 21,91 | 0,0000 |
| Résidu | 68,6012 | 251 | 0,273312 | | |
| Total (Corr.) | 122,484 | 260 | | | |

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|------------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Periode | 2,7965 | 4 | 0,699126 | 2,56 | 0,0393 |
| trim | 2,15098 | 3 | 0,716994 | 2,62 | 0,0511 |
| Debit Ciboule J1 | 5,14259 | 1 | 5,14259 | 18,82 | 0,0000 |
| PC J5*PC_2M | 13,3532 | 1 | 13,3532 | 48,86 | 0,0000 |
| Résidu | 68,6012 | 251 | 0,273312 | | |
| Total (corrigé) | 122,484 | 260 | | | |

R-carré = 43,9915 pourcents

R-carré (ajusté pour les ddl) = 41,9832 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0,522792

Erreur absolue moyenne = 0,424575

Statistique de Durbin-Watson = 1,8094 (P=0,0619)

ANNEXE 3

§ 4.1 Hydraulique des cours d'eau

Rivière de référence : La Ciboule à La Chapelle-Achard- Données concernant la station de mesures de débit de La Reneliere

Producteur : DREAL Pays-de-Loire

e-mail : hydrometrie.dreal-pays-de-la-loire@developpement-durable.gouv.fr

Département : Vendée

Code station : N2024010

Bassin versant : 89.2 km²

Mise en service le : 01/11/1981

Type : station à une échelle

Régime influencé : pas ou faiblement

Altitude : 11 m

Statut : station avec signification hydrologique

Coordonnées LAMBERT II étendu

X = 293230 m

Y = 2182830 m

Z = 0.00 m NGF 1884 au 01/11/1981

Loi utilisée pour le module : Gauss

Lloi utilisée pour les étiages : Galton

Loi utilisée pour les crues : Gumbel

Qualité globale des mesures

en basses eaux : bonne

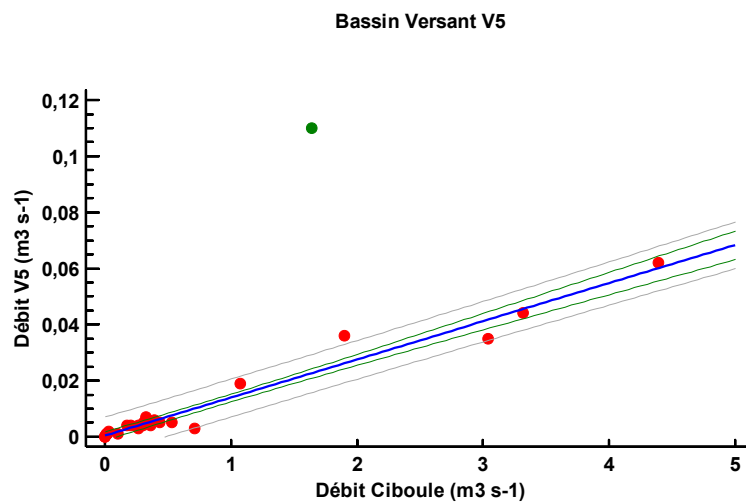
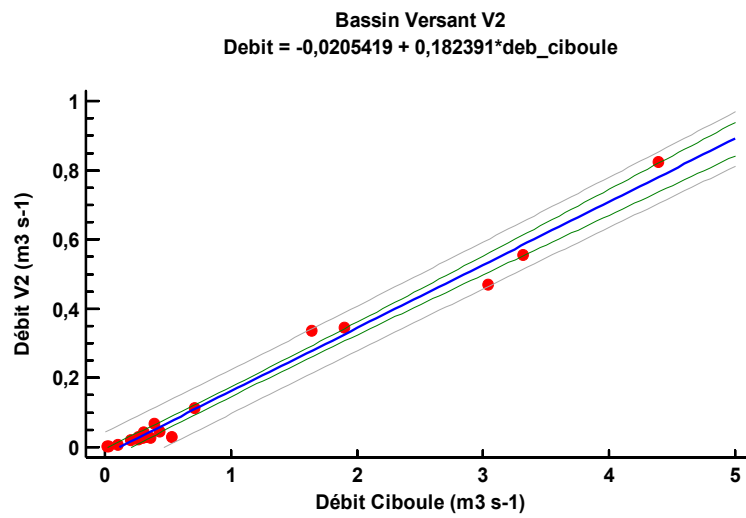
en moyennes eaux : bonne

en hautes eaux : bonne

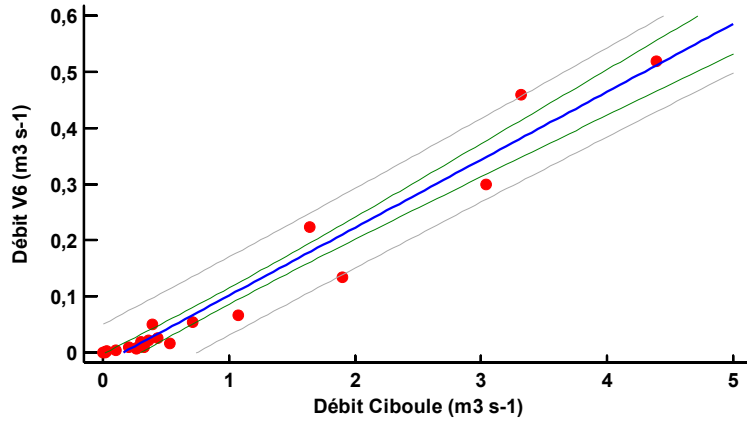
Modèles d'évaluation des débits des sous bassins versants du Payré

| BV | Point | N | Modèle | R ² | p |
|-----------|-------|----|--------------------------------|----------------|------|
| Guittiere | G4 | 6 | Debit_G4 = 0,195*Debit_Ciboule | 75 | 0,02 |
| | G5 | 23 | Debit_G5=0,201*Debit_Ciboule | 90 | 0 |
| Veillon | V2 | 18 | Debit_V2 =0,182*Debit_Ciboule | 98 | 0 |
| | V5 | 24 | Debit_V5 =0,013*Debit_Ciboule | 96 | 0 |
| | V6 | 22 | Debit_V6 =0,120*Debit_Ciboule | 95 | 0 |
| | V7 | 23 | Debit_V7 =0,194*Debit_Ciboule | 98 | 0 |
| | V8 | 28 | Debit_V8 =0,160*Debit_Ciboule | 91 | 0 |

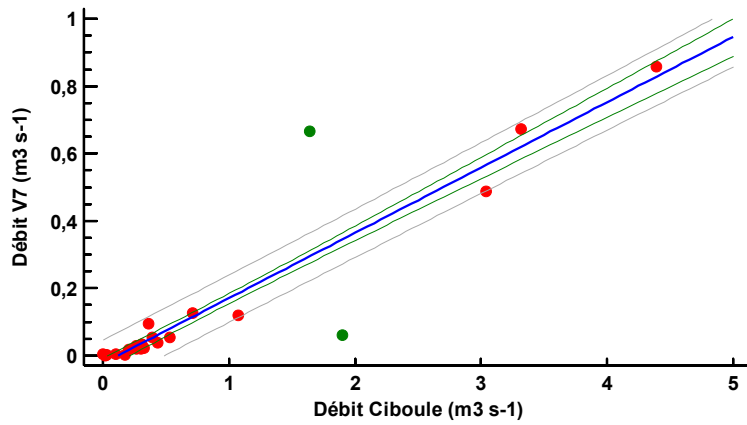
Graphiques des relations entre débits de la Ciboule et des sous bassins versants



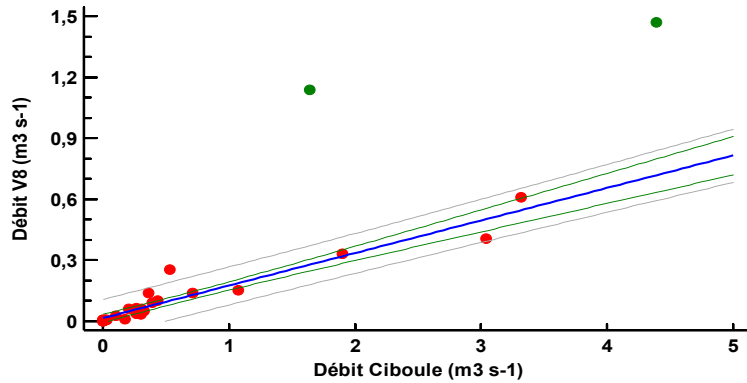
Bassin Versant V6

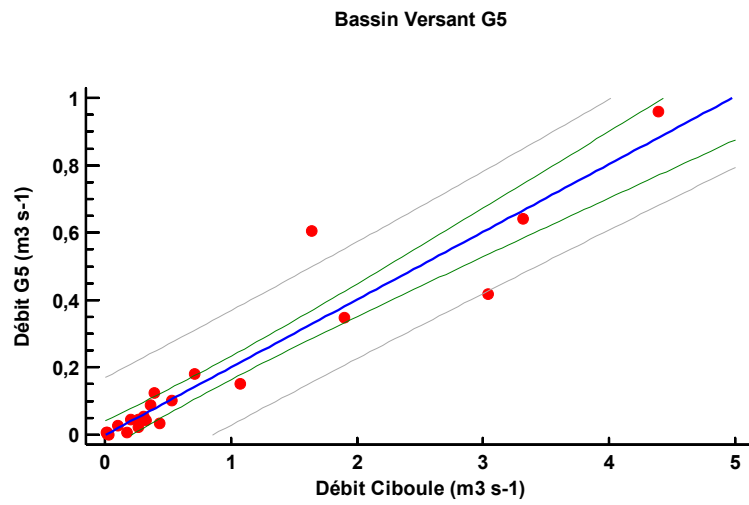


Bassin Versant V7

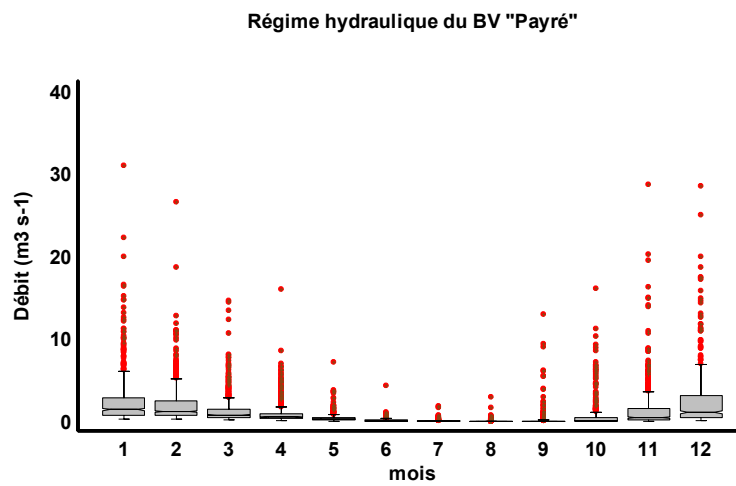


Bassin Versant V8

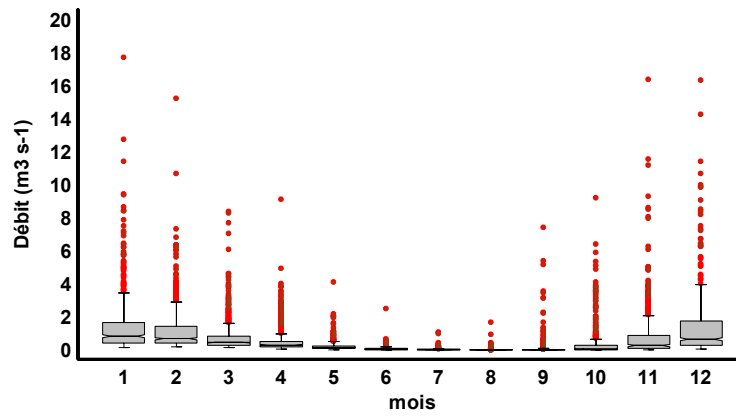




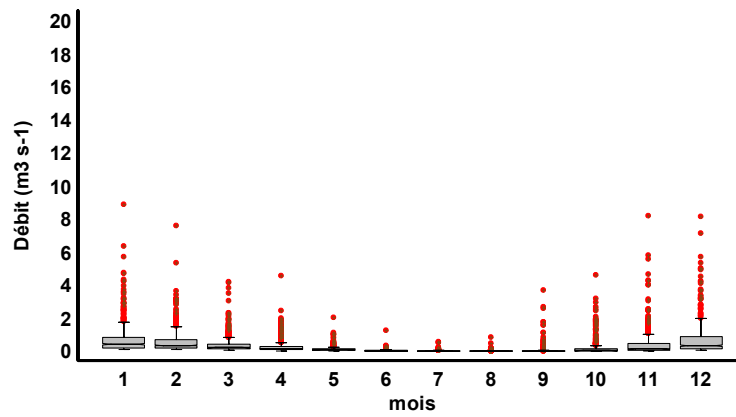
Régimes hydrauliques du bassin versant



Régime hydraulique du BV "Veillon"



Régime hydraulique du BV "Guittière"



ANNEXE 4

§ 4.2.1 Echanges d'eau avec l'Océan.

Analyse des variations (modèle linéaire général) de la proportion d'eau douce à la station Guittièrre amont en fonction des coefficients de marée et des paramètres météorologiques

Nombre de variables à expliquer: 1
 Nombre de facteurs qualitatifs: 2
 A=CODE_DIR_VENT
 B=CODE_INT_VENT
 Nombre de facteurs quantitatifs: 3
 C=Debit_Ciboule_J1
 D=coef
 E=PRES

Analyse de la variance pour (35.5-S MOY GAM)/35.5

| Source | Sommes des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|---------------|-------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Modèle | 13,2858 | 25 | 0,531431 | 70,75 | 0,0000 |
| Résidu | 3,94371 | 525 | 0,00751183 | | |
| Total (Corr.) | 17,2295 | 550 | | | |

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|--------------------------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| CODE_DIR_VENT | 0,105426 | 7 | 0,0150608 | 2,00 | 0,0527 |
| CODE_INT_VENT | 0,0940968 | 3 | 0,0313656 | 4,18 | 0,0062 |
| Debit_Ciboule_J1 | 0,0755268 | 1 | 0,0755268 | 10,05 | 0,0016 |
| coef | 0,36076 | 1 | 0,36076 | 48,03 | 0,0000 |
| PRES | 0,000187884 | 1 | 0,000187884 | 0,03 | 0,8744 |
| Debit_Ciboule_J1*CODE_DIR_VENT | 1,07871 | 7 | 0,154101 | 20,51 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*CODE_INT_VENT | 0,520154 | 3 | 0,173385 | 23,08 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*coef | 0,957989 | 1 | 0,957989 | 127,53 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*PRES | 0,117147 | 1 | 0,117147 | 15,60 | 0,0001 |
| Résidu | 3,94371 | 525 | 0,00751183 | | |
| Total (corrigé) | 17,2295 | 550 | | | |

R-carré = 77,1107 pourcents
 R-carré (ajusté pour les ddl) = 76,0207 pourcents
 Erreur-type d'estimation = 0,0866708
 Erreur absolue moyenne = 0,0576286
 Statistique de Durbin-Watson = 0,654398 (P=0,0000)

Le StatAdvisor

Ce tableau donne un résumé des résultats de l'ajustement d'un modèle linéaire général reliant (35.5-S_MOY_GAM)/35.5 à 5 facteurs prédictifs. Comme la valeur de la probabilité dans le premier tableau de l'ANOVA pour (35.5-S_MOY_GAM)/35.5 est inférieure à 0,05, il y a une relation statistiquement significative entre (35.5-S_MOY_GAM)/35.5 et les variables prédictives au niveau de confiance de 95,0%.

Le deuxième tableau de l'ANOVA pour (35.5-S_MOY_GAM)/35.5 teste la signification statistique de chacun des facteurs dans l'ordre de son entrée dans le modèle. A noter que la plus forte des probabilités vaut 0,8744 et appartient à E. Comme la valeur de la probabilité est supérieure ou égale à 0,05, ce terme n'est pas statistiquement significatif au niveau de confiance de 95,0%. Ainsi, vous pouvez envisager de retirer E du modèle. La statistique du R-carré indique que le modèle ajusté explique 77,1107% de la variabilité de (35.5-S_MOY_GAM)/35.5. La statistique du R-carré ajusté, qui est plus adéquate pour comparer des modèles comportant des nombres de variables explicatives différents, vaut 76,0207%. L'erreur-type d'estimation indique que l'écart-type des résidus vaut 0,0866708. Cette valeur peut être utilisée pour bâtir des limites de prévision pour de nouvelles observations en sélectionnant Rapports dans la liste des options pour les tableaux. L'erreur absolue moyenne (MAE) de 0,0576286 est la valeur moyenne des résidus. La statistique de Durbin-Watson (DW) teste les résidus pour déterminer s'il y a une corrélation significative en se basant sur l'ordre des données dans le fichier de données. Comme la probabilité est inférieure à 0,05, cela indique une possible corrélation sérielle. Afficher les résidus par rapport aux numéros des observations pour voir si une forme particulière se dessine dans le nuage.

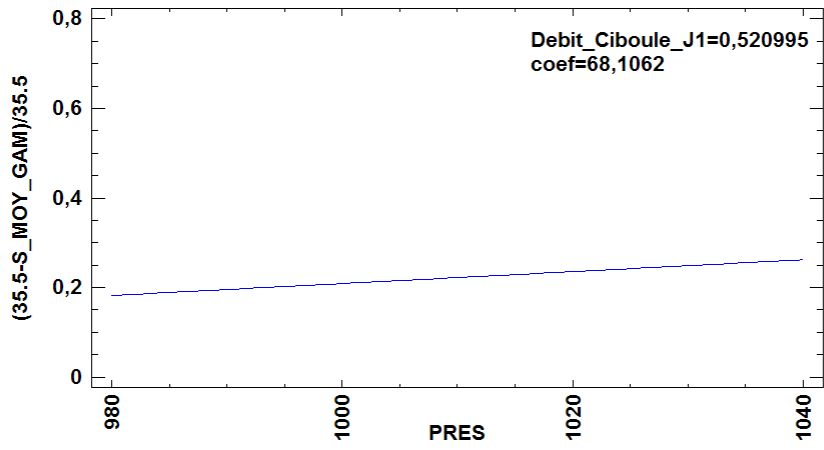
Le rapport donne également un résumé de la performance du modèle dans l'ajustement des données et dans la prévision des données exclues du procédé d'ajustement.

Il affiche:

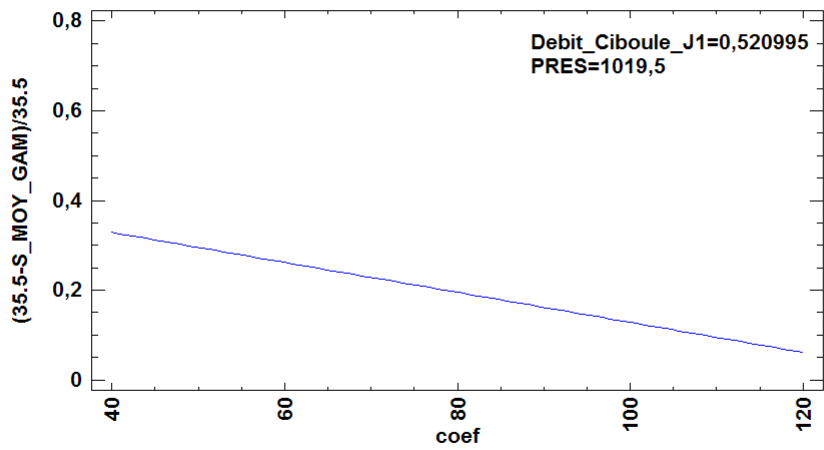
- (1) l'erreur quadratique moyenne (MSE)
- (2) l'erreur absolue moyenne (MAE)
- (3) le pourcentage d'erreur absolue moyenne (MAPE)
- (4) l'erreur moyenne (ME)
- (5) le pourcentage d'erreur moyenne (MPE)

Chacune de ces statistiques est basée sur les résidus. Les trois premières statistiques mesurent la grandeur des erreurs. Un meilleur modèle donnera une valeur plus petite. Les deux dernières statistiques mesurent le biais. Un meilleur modèle donnera une valeur proche de 0.

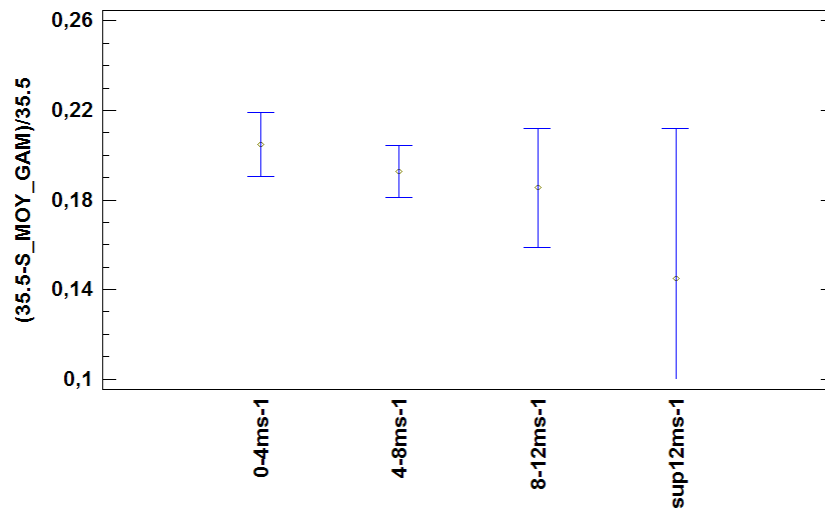
Effet Pression Atmosphérique



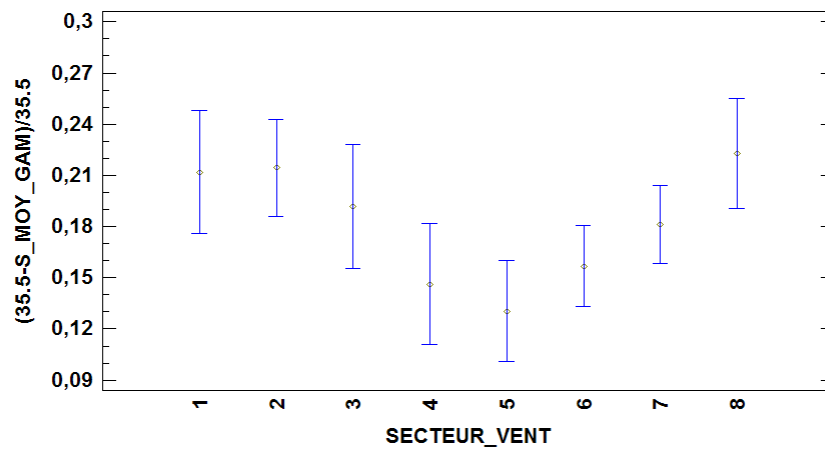
Effet Coefficient de Marée



Effet Intensité Vent



Effet Direction du Vent



Analyse des variations (modèle linéaire général) de la proportion d'eau douce à la station Guittière aval en fonction des coefficients de marée et des paramètres météorologiques

Nombre de variables à expliquer: 1

Nombre de facteurs qualitatifs: 2

A=SECTEUR_VENT

B=CODE_INT_VENT

Nombre de facteurs quantitatifs: 3

C=Debit_Ciboule_J1

D=coef

E=PRES

Analyse de la variance pour (35.5-S_MOY_GAV)/35.5

| Source | Sommes des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|---------------|-------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Modèle | 7,78065 | 25 | 0,311226 | 68,04 | 0,0000 |
| Résidu | 2,41533 | 528 | 0,00457449 | | |
| Total (Corr.) | 10,196 | 553 | | | |

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|--------------------------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| SECTEUR_VENT | 0,112724 | 7 | 0,0161035 | 3,52 | 0,0011 |
| CODE_INT_VENT | 0,0459389 | 3 | 0,015313 | 3,35 | 0,0189 |
| Debit_Ciboule_J1 | 0,098438 | 1 | 0,098438 | 21,52 | 0,0000 |
| coef | 0,154857 | 1 | 0,154857 | 33,85 | 0,0000 |
| PRES | 0,0867023 | 1 | 0,0867023 | 18,95 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*SECTEUR_VENT | 0,677797 | 7 | 0,0968281 | 21,17 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*CODE_INT_VENT | 0,219824 | 3 | 0,0732748 | 16,02 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*coef | 0,359632 | 1 | 0,359632 | 78,62 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*PRES | 0,130534 | 1 | 0,130534 | 28,54 | 0,0000 |
| Résidu | 2,41533 | 528 | 0,00457449 | | |
| Total (corrigé) | 10,196 | 553 | | | |

R-carré = 76,3109 pourcents

R-carré (ajusté pour les ddl) = 75,1893 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0,067635

Erreur absolue moyenne = 0,0462457

Statistique de Durbin-Watson = 0,585242 (P=0,0000)

Le StatAdvisor

Ce tableau donne un résumé des résultats de l'ajustement d'un modèle linéaire général reliant (35.5-S_MOY_GAV)/35.5 à 5 facteurs prédictifs. Comme la valeur de la probabilité dans le premier tableau de l'ANOVA pour (35.5-S_MOY_GAV)/35.5 est inférieure à 0,05, il y a une relation statistiquement significative entre (35.5-S_MOY_GAV)/35.5 et les variables prédictives au niveau de confiance de 95,0%.

Le deuxième tableau de l'ANOVA pour (35.5-S_MOY_GAV)/35.5 teste la signification statistique de chacun des facteurs dans l'ordre de son entrée dans le modèle. A noter que la plus forte des probabilités vaut 0,0189 et appartient à B. Comme la valeur de la probabilité est inférieure à 0,05, ce terme est statistiquement significatif au niveau de confiance de 95,0%. Ainsi, vous ne déciderez probablement pas de retirer de variables du modèle.

La statistique du R-carré indique que le modèle ajusté explique 76,3109% de la variabilité de (35.5-S_MOY_GAV)/35.5. La statistique du R-carré ajusté, qui est plus adéquate pour comparer des modèles comportant des nombres de variables explicatives différents, vaut 75,1893%. L'erreur-type d'estimation indique que l'écart-type des résidus vaut 0,067635. Cette valeur peut être utilisée pour bâtir des limites de prévision pour de nouvelles observations en sélectionnant Rapports dans la liste des options pour les tableaux. L'erreur absolue moyenne (MAE) de 0,0462457 est la valeur moyenne des résidus. La statistique de Durbin-Watson (DW) teste les résidus pour déterminer s'il y a une corrélation significative en se basant sur l'ordre des données dans le fichier de données. Comme la probabilité est inférieure à 0,05, cela indique une possible corrélation sérielle. Afficher les résidus par rapport aux numéros des observations pour voir si une forme particulière se dessine dans le nuage.

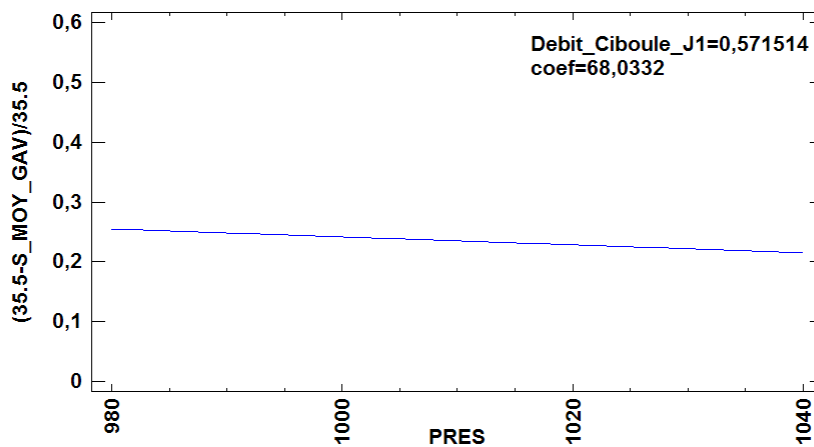
Le rapport donne également un résumé de la performance du modèle dans l'ajustement des données et dans la prévision des données exclues du procédé d'ajustement.

Il affiche:

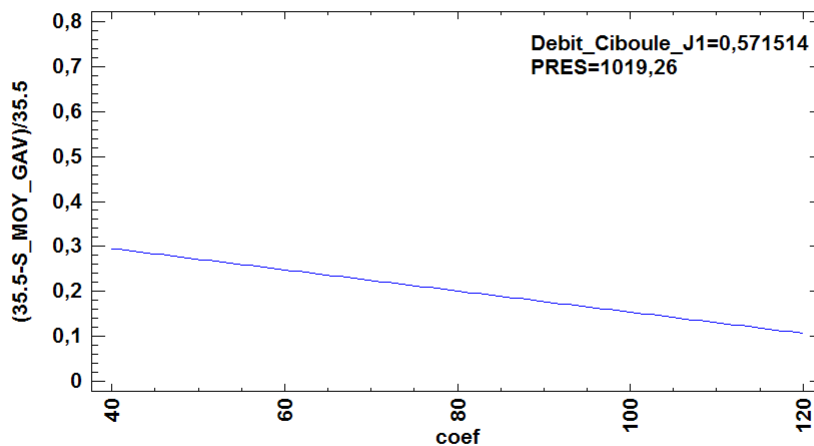
- (1) l'erreur quadratique moyenne (MSE)
- (2) l'erreur absolue moyenne (MAE)
- (3) le pourcentage d'erreur absolue moyenne (MAPE)
- (4) l'erreur moyenne (ME)
- (5) le pourcentage d'erreur moyenne (MPE)

Chacune de ces statistiques est basée sur les résidus. Les trois premières statistiques mesurent la grandeur des erreurs. Un meilleur modèle donnera une valeur plus petite. Les deux dernières statistiques mesurent le biais. Un meilleur modèle donnera une valeur proche de 0. NOTE: Les MAPE et MPE n'ont pas été calculés car la plus petite des données est inférieure ou égale à 0.

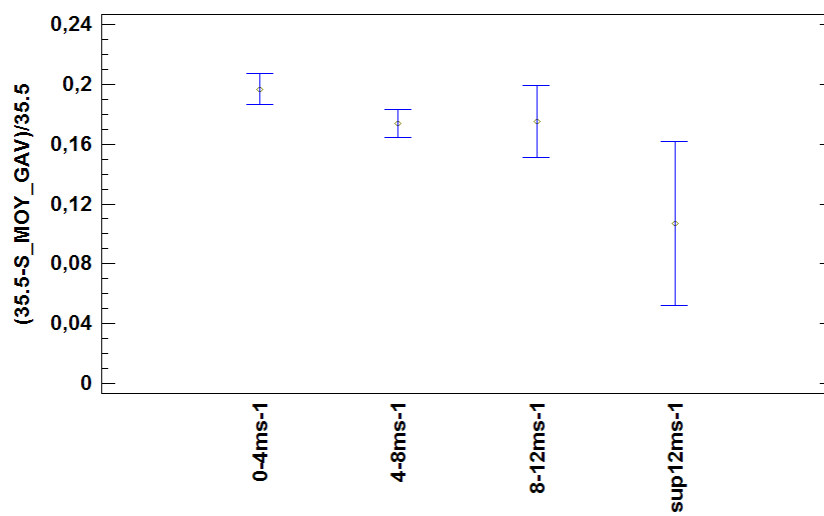
Effet Pression Atmosphérique



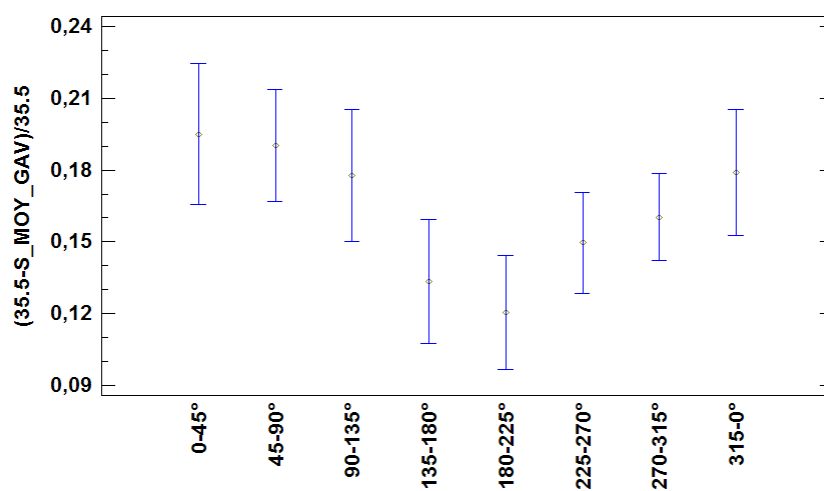
Effet Coefficient de Marée



Effet Intensité du Vent



Effet Direction du Vent



Analyse des variations (modèle linéaire général) de la proportion d'eau douce à la station Veillon amont en fonction des coefficients de marée et des paramètres météorologiques

Nombre de variables à expliquer: 1

Nombre de facteurs qualitatifs: 2

A=SECTEUR_VENT

B=CODE_INT_VENT

Nombre de facteurs quantitatifs: 3

C=Debit_Ciboule_J1

D=coef

E=PRES

Analyse de la variance pour (35.5-S_MOY_VAM)/35.5

| Source | Sommes des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|---------------|-------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Modèle | 34,0663 | 25 | 1,36265 | 90,03 | 0,0000 |
| Résidu | 8,26397 | 546 | 0,0151355 | | |
| Total (Corr.) | 42,3303 | 571 | | | |

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|--------------------------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| SECTEUR_VENT | 0,269797 | 7 | 0,0385424 | 2,55 | 0,0138 |
| CODE_INT_VENT | 0,830751 | 3 | 0,276917 | 18,30 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1 | 0,174447 | 1 | 0,174447 | 11,53 | 0,0007 |
| coef | 0,730961 | 1 | 0,730961 | 48,29 | 0,0000 |
| PRES | 0,0050202 | 1 | 0,0050202 | 0,33 | 0,5649 |
| Debit_Ciboule_J1*SECTEUR_VENT | 2,92803 | 7 | 0,418291 | 27,64 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*CODE_INT_VENT | 1,82092 | 3 | 0,606974 | 40,10 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*coef | 1,23992 | 1 | 1,23992 | 81,92 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*PRES | 0,261833 | 1 | 0,261833 | 17,30 | 0,0000 |
| Résidu | 8,26397 | 546 | 0,0151355 | | |
| Total (corrigé) | 42,3303 | 571 | | | |

R-carré = 80,4774 pourcents

R-carré (ajusté pour les ddl) = 79,5835 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0,123026

Erreur absolue moyenne = 0,0887675

Statistique de Durbin-Watson = 0,600748 (P=0,0000)

Le StatAdvisor

Ce tableau donne un résumé des résultats de l'ajustement d'un modèle linéaire général reliant (35.5-S_MOY_VAM)/35.5 à 5 facteurs prédictifs. Comme la valeur de la probabilité dans le premier tableau de l'ANOVA pour (35.5-S_MOY_VAM)/35.5 est inférieure à 0,05, il y a une relation statistiquement significative entre (35.5-S_MOY_VAM)/35.5 et les variables prédictives au niveau de confiance de 95,0%.

Le deuxième tableau de l'ANOVA pour (35.5-S_MOY_VAM)/35.5 teste la signification statistique de chacun des facteurs dans l'ordre de son entrée dans le modèle. A noter que la plus forte des probabilités vaut 0,5649 et appartient à E. Comme la valeur de la probabilité est supérieure ou égale à 0,05, ce terme n'est pas statistiquement significatif au niveau de confiance de 95,0%. Ainsi, vous pouvez envisager de retirer E du modèle. La statistique du R-carré indique que le modèle ajusté explique 80,4774% de la variabilité de (35.5-S_MOY_VAM)/35.5. La statistique du R-carré ajusté, qui est plus adéquate pour comparer des modèles comportant des nombres de variables explicatives différents, vaut 79,5835%. L'erreur-type d'estimation indique que l'écart-type des résidus vaut 0,123026. Cette valeur peut être utilisée pour bâtir des limites de prévision pour de nouvelles observations en sélectionnant Rapports dans la liste des options pour les tableaux. L'erreur absolue moyenne (MAE) de 0,0887675 est la valeur moyenne des résidus. La statistique de Durbin-Watson (DW) teste les résidus pour déterminer s'il y a une corrélation significative en se basant sur l'ordre des données dans le fichier de données. Comme la probabilité est inférieure à 0,05, cela indique une possible corrélation sérielle. Afficher les résidus par rapport aux numéros des observations pour voir si une forme particulière se dessine dans le nuage.

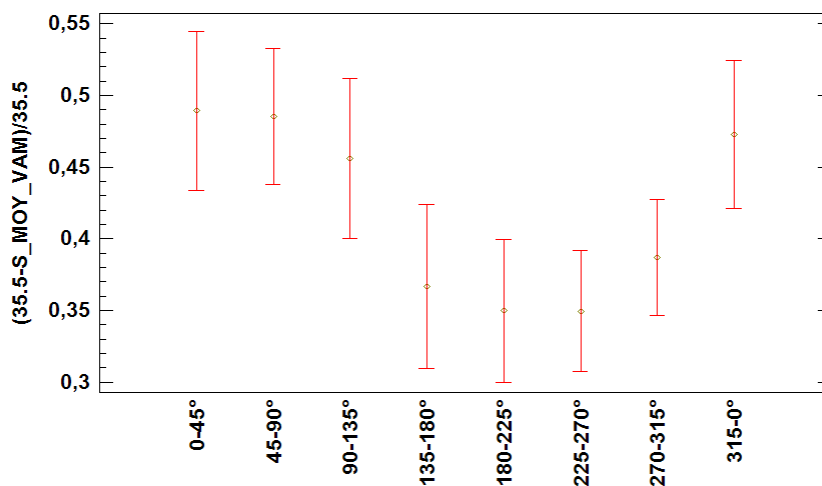
Le rapport donne également un résumé de la performance du modèle dans l'ajustement des données et dans la prévision des données exclues du procédé d'ajustement.

Il affiche:

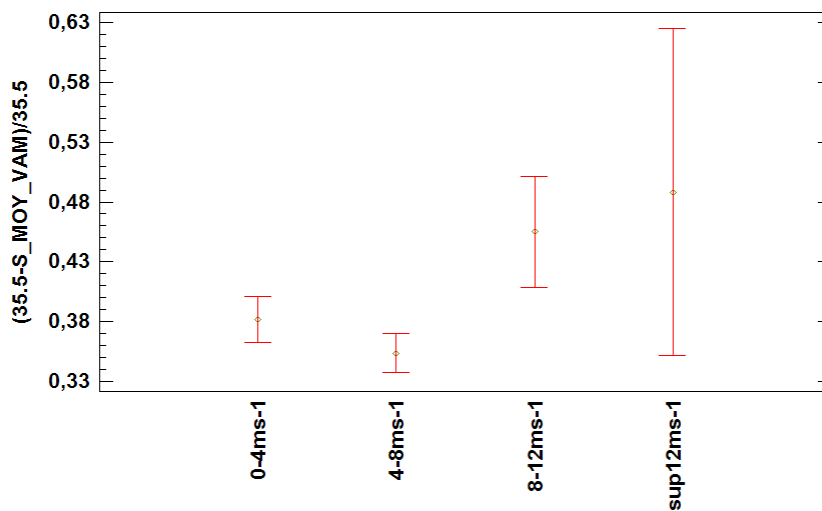
- (1) l'erreur quadratique moyenne (MSE)
- (2) l'erreur absolue moyenne (MAE)
- (3) le pourcentage d'erreur absolue moyenne (MAPE)
- (4) l'erreur moyenne (ME)
- (5) le pourcentage d'erreur moyenne (MPE)

Chacune de ces statistiques est basée sur les résidus. Les trois premières statistiques mesurent la grandeur des erreurs. Un meilleur modèle donnera une valeur plus petite. Les deux dernières statistiques mesurent le biais. Un meilleur modèle donnera une valeur proche de 0.

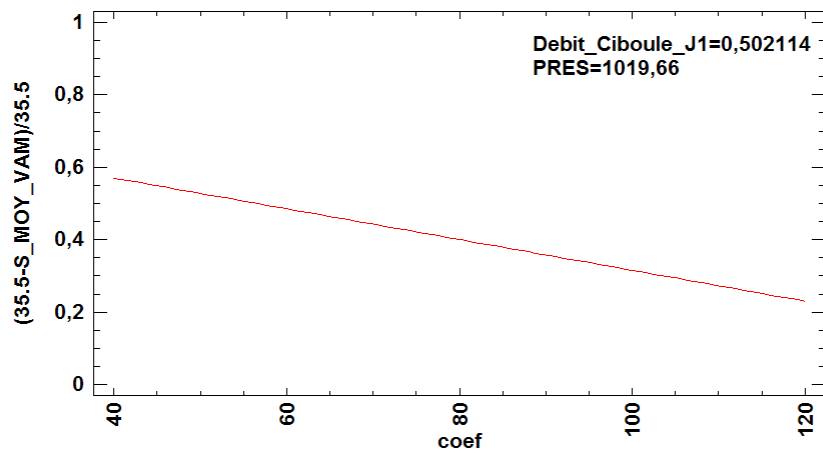
Effet Direction du Vent



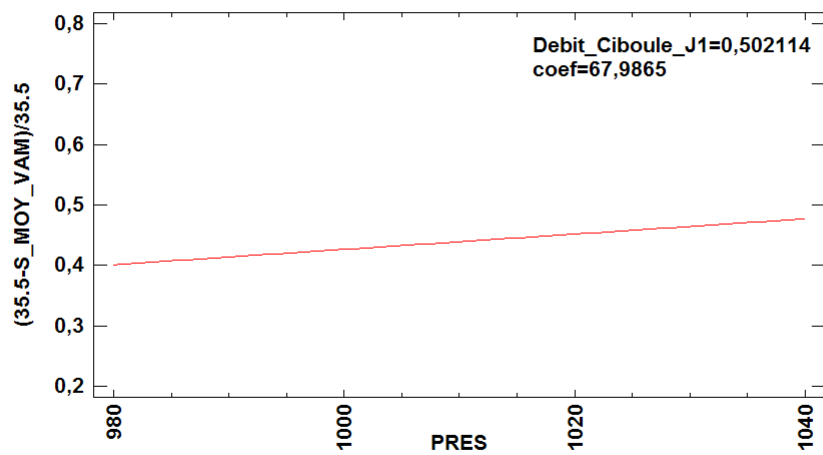
Effet Intensité du Vent



Effet Coefficient de Marée



Effet Pression Atmosphérique



Analyse des variations (modèle linéaire général) de la proportion d'eau douce à la station Veillon aval en fonction des coefficients de marée et des paramètres météorologiques

Nombre de variables à expliquer: 1

Nombre de facteurs qualitatifs: 2

A=SECTEUR_VENT

B=CODE_INT_VENT

Nombre de facteurs quantitatifs: 3

C=Debit_Ciboule_J1

D=coef

E=PRES

Analyse de la variance pour (35.5-S_MOY_VAL)/35.5

| Source | Sommes des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|---------------|-------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Modèle | 13,6469 | 25 | 0,545876 | 64,29 | 0,0000 |
| Résidu | 3,47259 | 409 | 0,00849044 | | |
| Total (Corr.) | 17,1195 | 434 | | | |

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|--------------------------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| SECTEUR_VENT | 0,418559 | 7 | 0,0597942 | 7,04 | 0,0000 |
| CODE_INT_VENT | 0,344907 | 3 | 0,114969 | 13,54 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1 | 0,0596751 | 1 | 0,0596751 | 7,03 | 0,0083 |
| coef | 0,537616 | 1 | 0,537616 | 63,32 | 0,0000 |
| PRES | 0,00758454 | 1 | 0,00758454 | 0,89 | 0,3451 |
| Debit_Ciboule_J1*SECTEUR_VENT | 1,48108 | 7 | 0,211583 | 24,92 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*CODE_INT_VENT | 0,689298 | 3 | 0,229766 | 27,06 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*coef | 0,404623 | 1 | 0,404623 | 47,66 | 0,0000 |
| Debit_Ciboule_J1*PRES | 0,0915499 | 1 | 0,0915499 | 10,78 | 0,0011 |
| Résidu | 3,47259 | 409 | 0,00849044 | | |
| Total (corrigé) | 17,1195 | 434 | | | |

R-carré = 79,7156 pourcents

R-carré (ajusté pour les ddl) = 78,4757 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0,0921436

Erreur absolue moyenne = 0,0696039

Statistique de Durbin-Watson = 0,645625 (P=0,0000)

Le StatAdvisor

Ce tableau donne un résumé des résultats de l'ajustement d'un modèle linéaire général reliant (35.5-S_MOY_VAL)/35.5 à 5 facteurs prédictifs. Comme la valeur de la probabilité dans le premier tableau de l'ANOVA pour (35.5-S_MOY_VAL)/35.5 est inférieure à 0,05, il y a une relation statistiquement significative entre (35.5-S_MOY_VAL)/35.5 et les variables prédictives au niveau de confiance de 95,0%.

Le deuxième tableau de l'ANOVA pour (35.5-S_MOY_VAL)/35.5 teste la signification statistique de chacun des facteurs dans l'ordre de son entrée dans le modèle. A noter que la plus forte des probabilités vaut 0,3451 et appartient à E. Comme la valeur de la probabilité est supérieure ou égale à 0,05, ce terme n'est pas statistiquement significatif au niveau de confiance de 95,0%. Ainsi, vous pouvez envisager de retirer E du modèle. La statistique du R-carré indique que le modèle ajusté explique 79,7156% de la variabilité de (35.5-S_MOY_VAL)/35.5. La statistique du R-carré ajusté, qui est plus adéquate pour comparer des modèles comportant des nombres de variables explicatives différents, vaut 78,4757%. L'erreur-type d'estimation indique que l'écart-type des résidus vaut 0,0921436. Cette valeur peut être utilisée pour bâtir des limites de prévision pour de nouvelles observations en sélectionnant Rapports dans la liste des options pour les tableaux. L'erreur absolue moyenne (MAE) de 0,0696039 est la valeur moyenne des résidus. La statistique de Durbin-Watson (DW) teste les résidus pour déterminer s'il y a une corrélation significative en se basant sur l'ordre des données dans le fichier de données. Comme la probabilité est inférieure à 0,05, cela indique une possible corrélation sérielle. Afficher les résidus par rapport aux numéros des observations pour voir si une forme particulière se dessine dans le nuage.

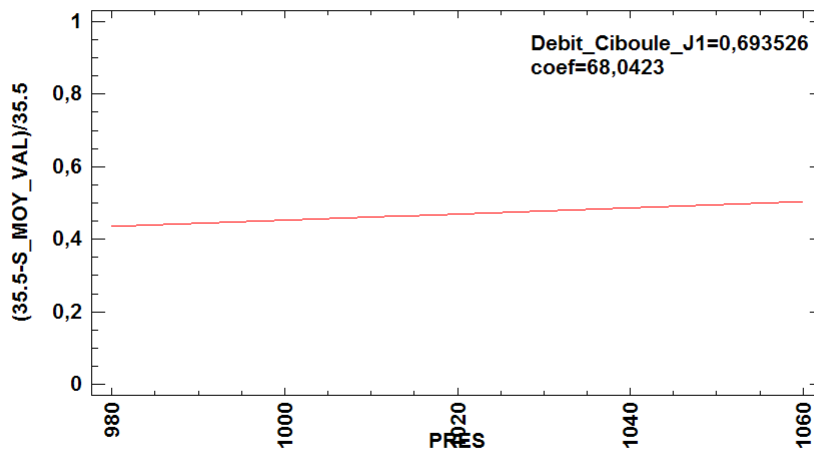
Le rapport donne également un résumé de la performance du modèle dans l'ajustement des données et dans la prévision des données exclues du procédé d'ajustement.

Il affiche:

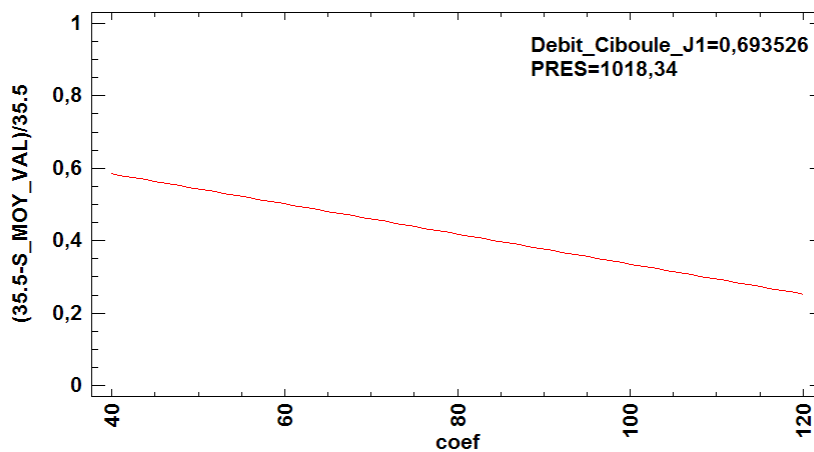
- (1) l'erreur quadratique moyenne (MSE)
- (2) l'erreur absolue moyenne (MAE)
- (3) le pourcentage d'erreur absolue moyenne (MAPE)
- (4) l'erreur moyenne (ME)
- (5) le pourcentage d'erreur moyenne (MPE)

Chacune de ces statistiques est basée sur les résidus. Les trois premières statistiques mesurent la grandeur des erreurs. Un meilleur modèle donnera une valeur plus petite. Les deux dernières statistiques mesurent le biais. Un meilleur modèle donnera une valeur proche de 0.

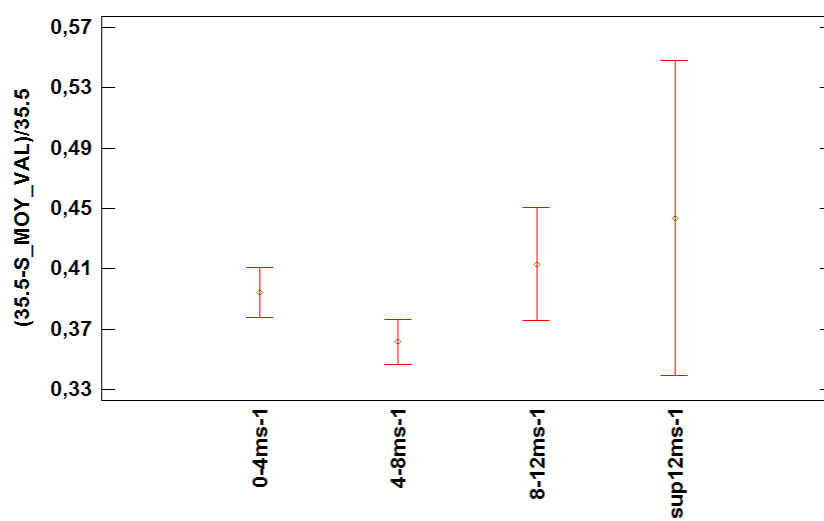
Effet Pression Atmosphérique



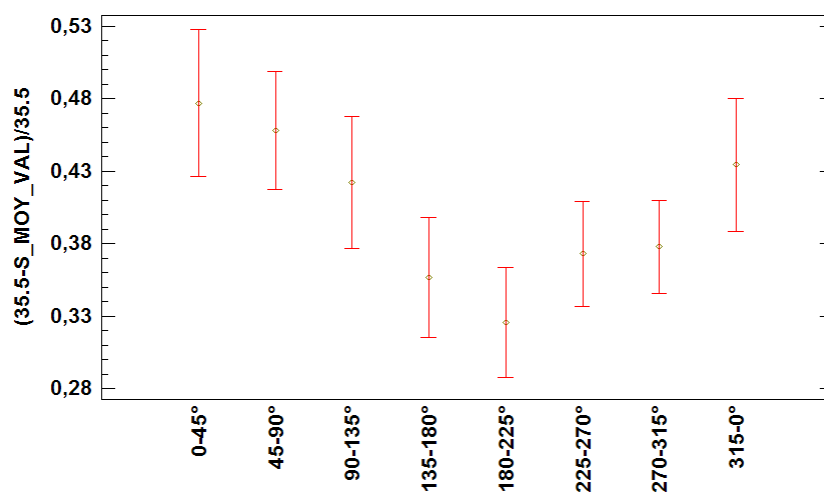
Effet Coefficient de Marée



Effet Intensité du Vent



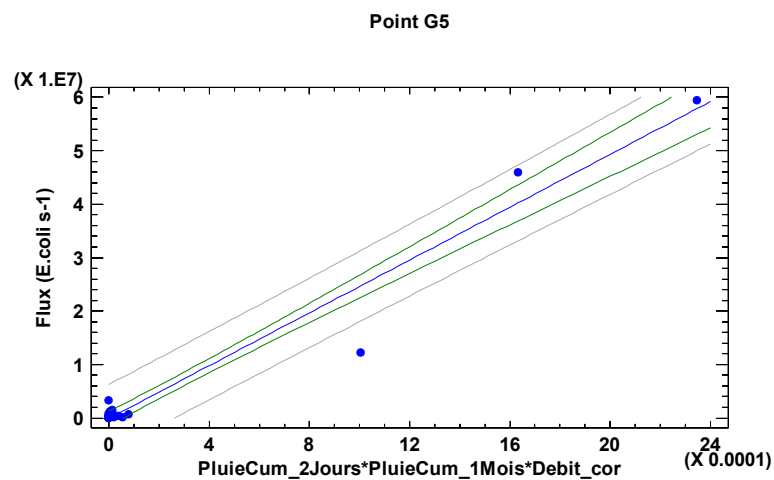
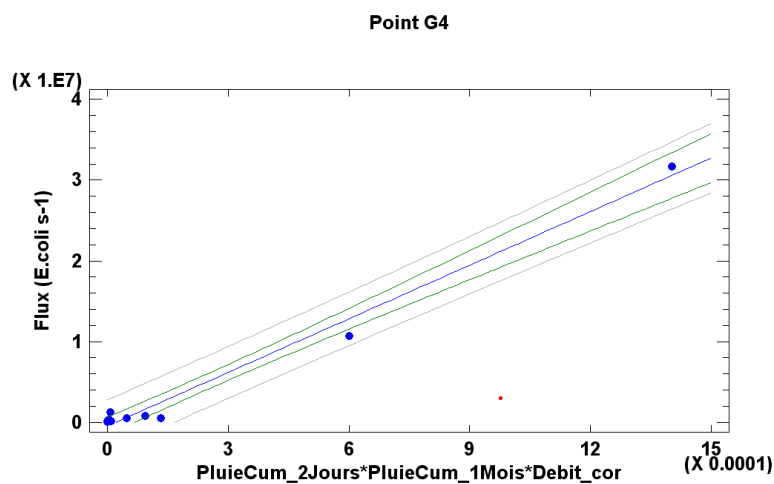
EffetDirection du Vent



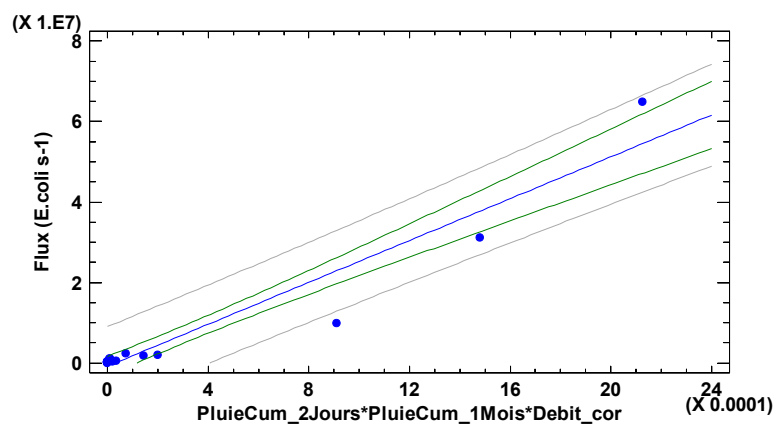
ANNEXE 5

§ 4.3 Contamination microbienne provenant du réseau hydraulique amont

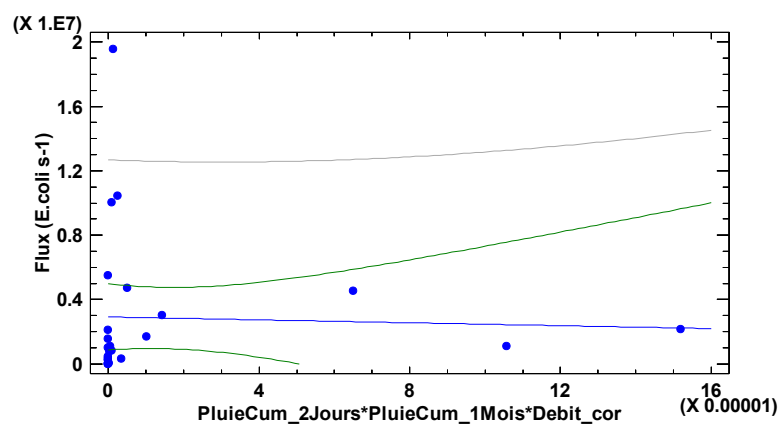
Graphiques des flux bactériens en fonction des produits des cumuls de pluies et des débits de la Ciboule



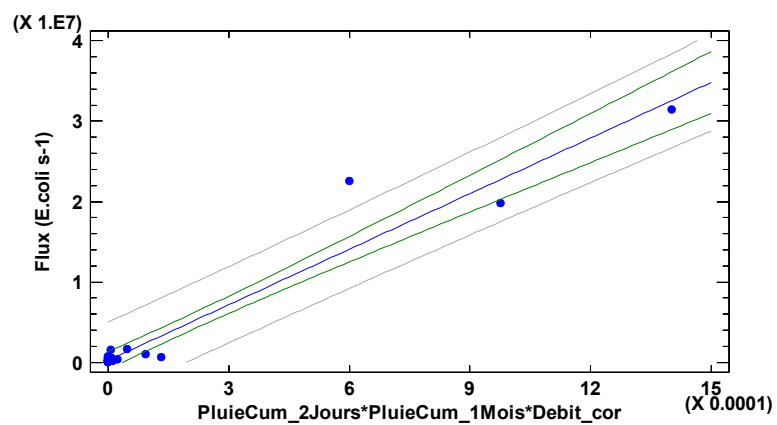
Point V2



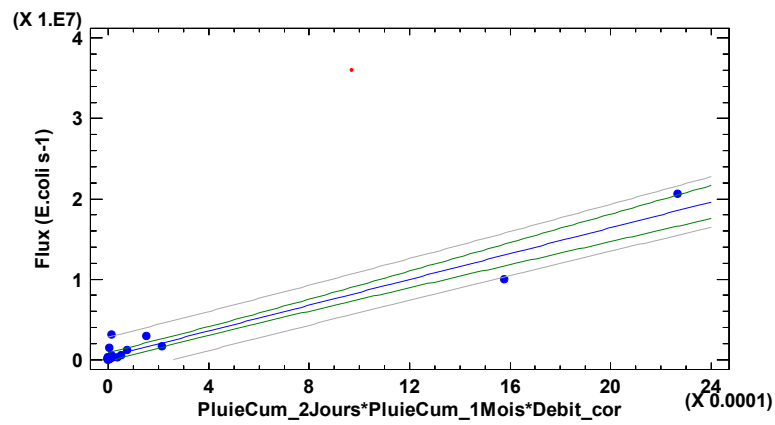
Point V5



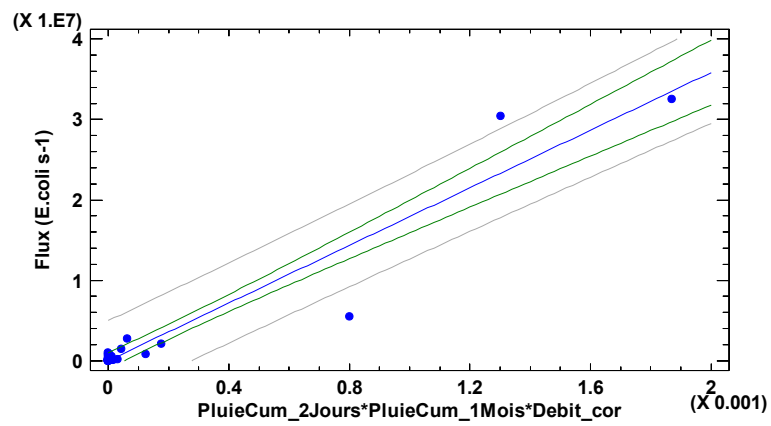
Point V6



Point V7



Point V8



ANNEXE 6 A

4.5 Analyse de la contamination microbienne dans la partie estuarienne

Analyse (modèle linéaire général) de la concentration en bactéries (log₁₀ [E.Coli]/100ml) dans l'eau à G1 en fonction des périodes de vacances en zones B et C, et des pluies cumulées

Nombre de variables à expliquer: 1

Nombre de facteurs qualitatifs: 1

A=VAC_BinterC

Nombre de facteurs quantitatifs: 1

B=PC_J4*PC_2M

Variable de sélection: point=110

Transformation Box-Cox appliquée: puissance = 0.691095 et décalage = 0.0

Analyse de la variance pour log₁₀(ECE)

| Source | Sommes des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|---------------|-------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Modèle | 3.70729 | 2 | 1.85364 | 17.79 | 0.0000 |
| Résidu | 2.396 | 23 | 0.104174 | | |
| Total (Corr.) | 6.10328 | 25 | | | |

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|-----------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| VAC_BinterC | 0.474647 | 1 | 0.474647 | 4.56 | 0.0437 |
| PC_J4*PC_2M | 3.33355 | 1 | 3.33355 | 32.00 | 0.0000 |
| Résidu | 2.396 | 23 | 0.104174 | | |
| Total (corrigé) | 6.10328 | 25 | | | |

Moyennes quadratiques attendues (EMS)

| Source | EMS |
|-------------|--------|
| VAC_BinterC | (3)+Q1 |
| PC_J4*PC_2M | (3)+Q2 |
| Résidu | (3) |

Dénominateurs pour le test F

| Source | Ddl | Carré moyen | Dénominateur |
|-------------|-------|-------------|--------------|
| VAC_BinterC | 23.00 | 0.104174 | (3) |
| PC_J4*PC_2M | 23.00 | 0.104174 | (3) |

Composants de la variance

| Source | Estimation |
|--------|------------|
| Résidu | 0.104174 |

R-carré = 60.7425 pourcents

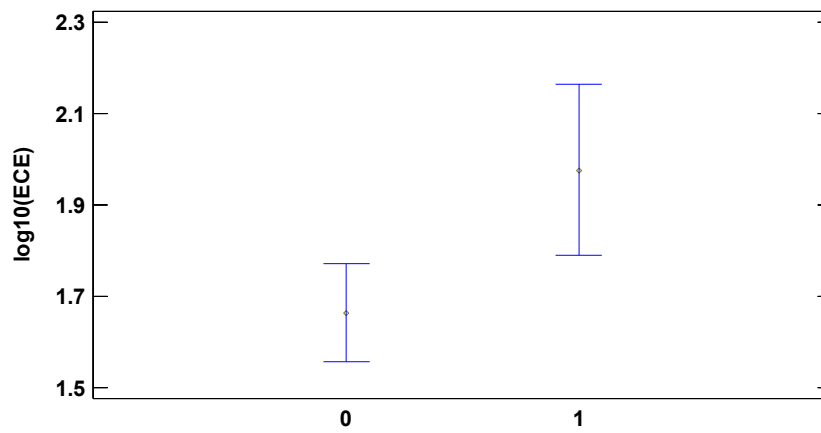
R-carré (ajusté pour les ddl) = 57.3288 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0.32276

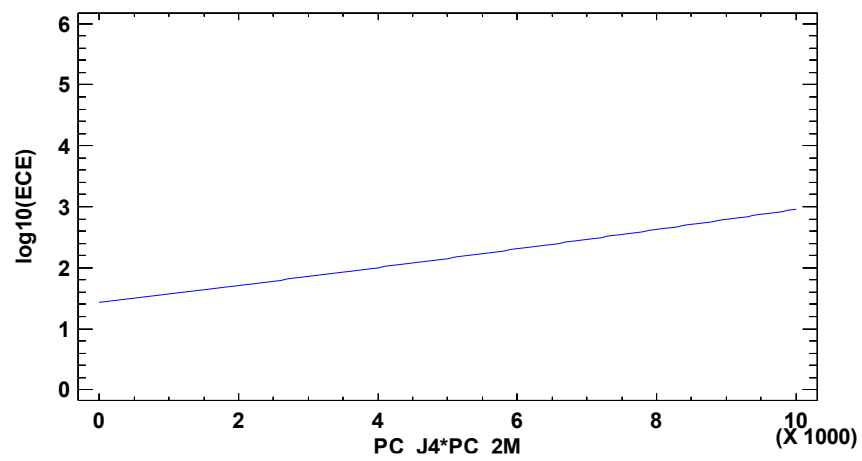
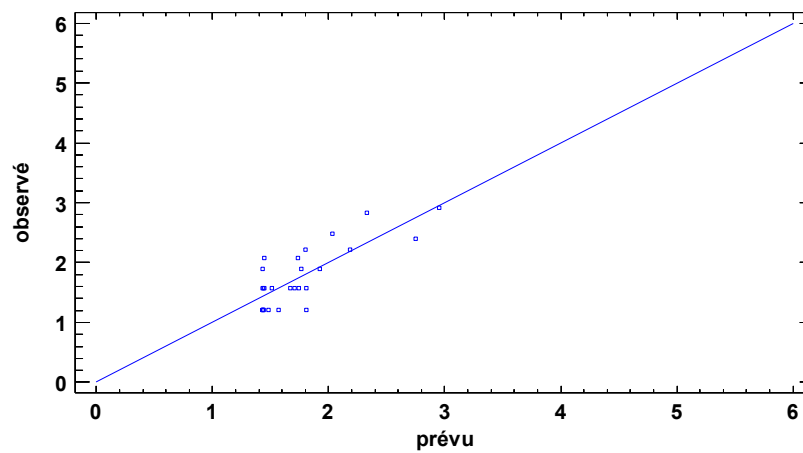
Erreur absolue moyenne = 0.254136

Statistique de Durbin-Watson = 1.49394 (P=0.0607)

Moyennes et intervalles LSD à 95.0%



Graphique du modèle ajusté

Graphique de $\log_{10}(\text{ECE})$ 

ANNEXE 6 B

4.5 Analyse de la contamination microbienne dans la partie estuarienne

Analyse (modèle linéaire général) de la concentration en bactéries (log₁₀ [E.Coli]/100ml) dans l'eau à V1 en fonction des périodes de vacances en zones B et C, et des pluies cumulées

Nombre de variables à expliquer: 1

Nombre de facteurs qualitatifs: 1

A=VAC_BinterC

Nombre de facteurs quantitatifs: 1

B=PC_J4*PC_2M

Variable de sélection: point=210

Transformation Box-Cox appliquée: puissance = 0.0325975 et décalage = 0.0

Analyse de la variance pour log₁₀(ECE)

| Source | Sommes des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|---------------|-------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Modèle | 5.0348 | 2 | 2.5174 | 13.74 | 0.0001 |
| Résidu | 4.0321 | 22 | 0.183277 | | |
| Total (Corr.) | 9.0669 | 24 | | | |

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|-----------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| VAC_BinterC | 0.0085572 | 1 | 0.0085572 | 0.05 | 0.8309 |
| PC_J4*PC_2M | 5.03051 | 1 | 5.03051 | 27.45 | 0.0000 |
| Résidu | 4.0321 | 22 | 0.183277 | | |
| Total (corrigé) | 9.0669 | 24 | | | |

Moyennes quadratiques attendues (EMS)

| Source | EMS |
|-------------|--------|
| VAC_BinterC | (3)+Q1 |
| PC_J4*PC_2M | (3)+Q2 |
| Résidu | (3) |

Dénominateurs pour le test F

| Source | Ddl | Carré moyen | Dénominateur |
|-------------|-------|-------------|--------------|
| VAC_BinterC | 22.00 | 0.183277 | (3) |
| PC_J4*PC_2M | 22.00 | 0.183277 | (3) |

Composants de la variance

| Source | Estimation |
|--------|------------|
| Résidu | 0.183277 |

R-carré = 55.5295 pourcents

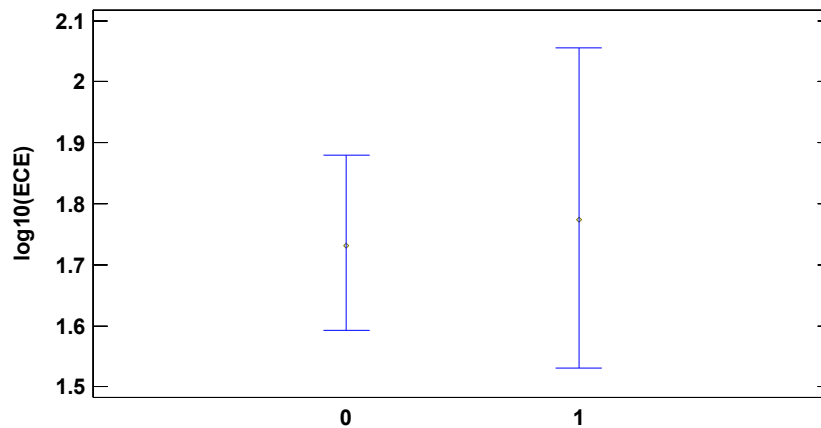
R-carré (ajusté pour les ddl) = 51.4867 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0.428109

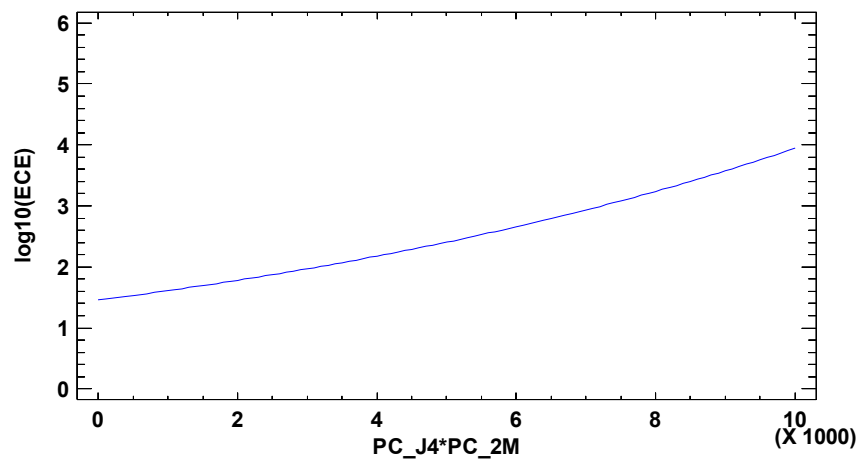
Erreur absolue moyenne = 0.342044

Statistique de Durbin-Watson = 2.17457 (P=0.5923)

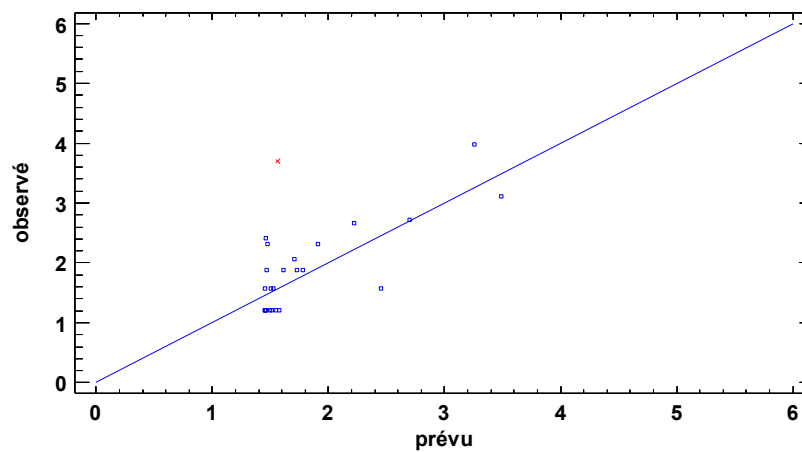
Moyennes et intervalles LSD à 95.0%



Graphique du modèle ajusté



Graphique de log10(ECE)



ANNEXE 6 C

4.5 Analyse de la contamination microbienne dans la partie estuarienne

Analyse (régression simple) de la concentration en bactéries (log [E.Coli]/100ml) dans l'eau à G1 en fonction de la turbidité (log10)

Variable à expliquer: log10(ECE)

Variable explicative: log10(turb)

Variable de sélection: point=110

Modèle linéaire: $Y = a + b \cdot X$

Coefficients

| | Estimation des moindres carrés | Erreur type | t | Probabilité | Estimation M. V. A. |
|----------|-----------------------------------|----------------|-----------|-------------|---------------------|
| Ordonnée | -0.15962 | 0.487283 | -0.327572 | 0.7461 | -0.334414 |
| Pente | 1.77332 | 0.442648 | 4.00615 | 0.0005 | 2.01728 |

Analyse de variance

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | F | Probabilité |
|---------------|------------------|-----|-------------|-------|-------------|
| Modèle | 2.59574 | 1 | 2.59574 | 16.05 | 0.0005 |
| Résidu | 3.88167 | 24 | 0.161736 | | |
| Total (Corr.) | 6.47741 | 25 | | | |

Coefficient de corrélation = 0.633038

R-carré = 40.0737 %

R-carré (ajusté pour les ddl) = 37.5768 %

Estimation de l'écart-type du résidu = 0.402164

Erreur absolue moyenne = 0.334583

Test de Durbin-Watson = 2.00845 (P=0.4641)

Autocorrélation résiduelle d'ordre 1 = -0.0512819

Médiane des valeurs absolues des écarts = 0.330891

Le StatAdvisor

Ce rapport affiche les résultats de l'ajustement d'un modèle linéaire pour décrire la relation entre log10(ECE) et log10(turb).

L'équation du modèle ajusté est:

$$\log_{10}(\text{ECE}) = -0.15962 + 1.77332 \cdot \log_{10}(\text{turb})$$

Valeurs prévues

| X | Y prévu | 95.00% Limite de prévision | | 95.00% Limite de confiance | | Estimation M. V. A. Prévision |
|-----|------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|------------|----------------------------------|
| | | inférieure | supérieure | inférieure | supérieure | |
| 0.7 | 1.0817 | 0.165181 | 1.99822 | 0.693035 | 1.47037 | 1.07768 |
| 0.9 | 1.43636 | 0.573566 | 2.29916 | 1.20084 | 1.67189 | 1.48114 |
| 1.1 | 1.79103 | 0.945095 | 2.63696 | 1.62777 | 1.95429 | 1.88459 |
| 1.3 | 2.14569 | 1.27762 | 3.01376 | 1.89151 | 2.39987 | 2.28805 |
| 1.5 | 2.50035 | 1.57392 | 3.42678 | 2.08885 | 2.91185 | 2.6915 |
| 1.7 | 2.85502 | 1.84024 | 3.86979 | 2.27121 | 3.43882 | 3.09496 |
| 1.9 | 3.20968 | 2.08361 | 4.33575 | 2.4487 | 3.97066 | 3.49841 |
| 2.1 | 3.56434 | 2.31012 | 4.81856 | 2.62406 | 4.50462 | 3.90187 |
| 2.2 | 3.74167 | 2.41856 | 5.06479 | 2.71129 | 4.77205 | 4.10359 |

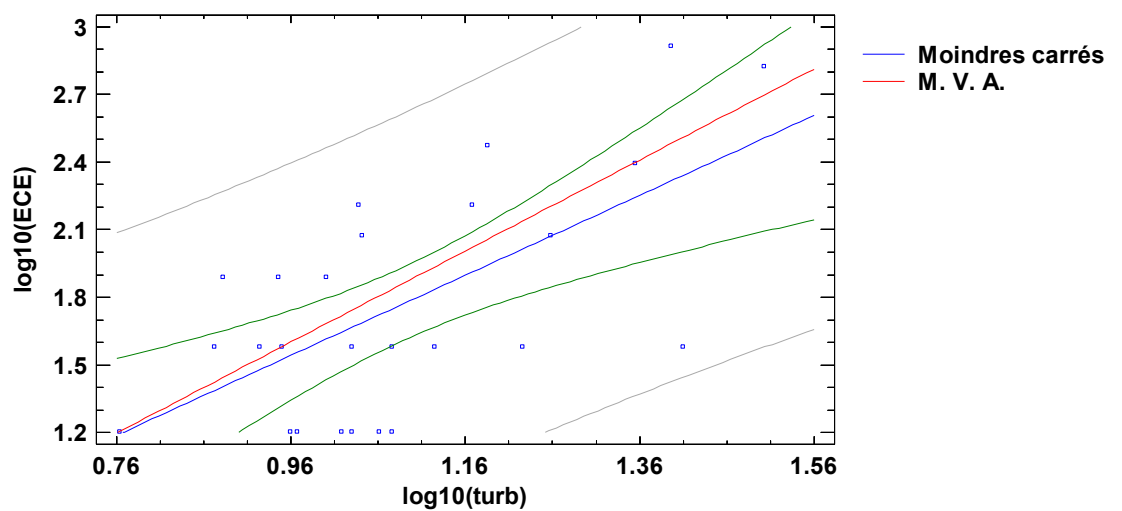
Le StatAdvisor

Ce tableau affiche les valeurs prévues de $\log_{10}(\text{ECE})$ en utilisant le modèle ajusté. En plus des meilleures prévisions, le tableau affiche les:

- (1) intervalles de prévision à 95.0% pour de nouvelles observations
- (2) intervalles de confiance à 95.0% pour la moyenne d'un ensemble d'observations
- (3) prévisions pour le modèle alternatif résistant

Les intervalles de prévision et de confiance correspondent aux limites internes et externes dans le graphique du modèle ajusté.

Graphique du modèle ajusté



ANNEXE 6 D

4.5 Analyse de la contamination microbienne dans la partie estuarienne

Analyse (régression simple) de la concentration en bactéries (log [E.Coli]/100ml) dans l'eau à V1 en fonction de la turbidité (log10)

Variable à expliquer: log10 (ECE)

Variable explicative: log10 (turb)

Variable de sélection: point=210

Modèle linéaire: $Y = a + b \cdot X$

Coefficients

| | Estimation des moindres carrés | Erreur type | t | Probabilité | Estimation M. V. A. |
|----------|-----------------------------------|----------------|----------|-------------|---------------------|
| Ordonnée | -0.974497 | 0.3091 | -3.15269 | 0.0046 | -1.03153 |
| Pente | 2.50197 | 0.267031 | 9.3696 | 0.0000 | 2.59137 |

Analyse de variance

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | F | Probabilité |
|---------------|------------------|-----|-------------|-------|-------------|
| Modèle | 9.90538 | 1 | 9.90538 | 87.79 | 0.0000 |
| Résidu | 2.48228 | 22 | 0.112831 | | |
| Total (Corr.) | 12.3877 | 23 | | | |

Coefficient de corrélation = 0.894213

R-carré = 79.9616 %

R-carré (ajusté pour les ddl) = 79.0508 %

Estimation de l'écart-type du résidu = 0.335903

Erreur absolue moyenne = 0.271615

Test de Durbin-Watson = 1.69785 (P=0.1820)

Autocorrélation résiduelle d'ordre 1 = 0.120464

Médiane des valeurs absolues des écarts = 0.265752

Nombre d'observations exclues: 2

Le StatAdvisor

Ce rapport affiche les résultats de l'ajustement d'un modèle linéaire pour décrire la relation entre log10(ECE) et log10(turb).

L'équation du modèle ajusté est:

$$\log_{10}(\text{ECE}) = -0.974497 + 2.50197 \cdot \log_{10}(\text{tu})$$

Valeurs prévues

| | | 95.00% | | 95.00% | | |
|-----|----------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------------|
| X | Y | Limite inférieure | de prévision supérieure | Limite inférieure | de confiance supérieure | Estimation M. V. A. Prévision |
| 0.7 | 0.776883 | 0.0273044 | 1.52646 | 0.500143 | 1.05362 | 0.782432 |
| 0.9 | 1.27728 | 0.555097 | 1.99946 | 1.08685 | 1.4677 | 1.30071 |
| 1.1 | 1.77767 | 1.06651 | 2.48884 | 1.63459 | 1.92075 | 1.81898 |
| 1.3 | 2.27807 | 1.56078 | 2.99535 | 2.10713 | 2.449 | 2.33726 |
| 1.5 | 2.77846 | 2.03834 | 3.51858 | 2.52846 | 3.02846 | 2.85553 |
| 1.7 | 3.27885 | 2.50065 | 4.05706 | 2.93199 | 3.62572 | 3.37381 |
| 1.9 | 3.77925 | 2.94982 | 4.60867 | 3.32907 | 4.22943 | 3.89208 |
| 2.1 | 4.27964 | 3.38811 | 5.17118 | 3.72327 | 4.83601 | 4.41036 |
| 2.2 | 4.52984 | 3.60384 | 5.45584 | 3.91977 | 5.13991 | 4.66949 |

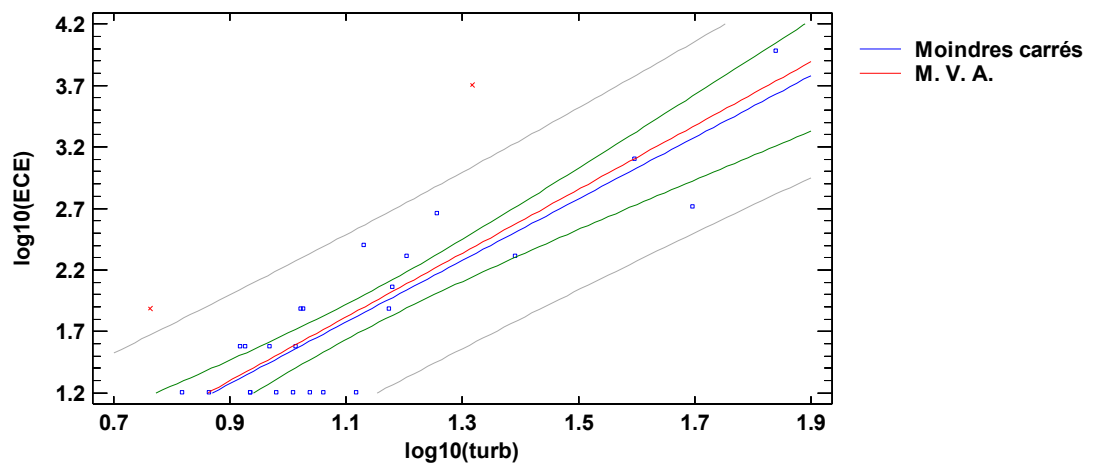
Le StatAdvisor

Ce tableau affiche les valeurs prévues de $\log_{10}(\text{ECE})$ en utilisant le modèle ajusté. En plus des meilleures prévisions, le tableau affiche les:

- (1) intervalles de prévision à 95.0% pour de nouvelles observations
- (2) intervalles de confiance à 95.0% pour la moyenne d'un ensemble d'observations
- (3) prévisions pour le modèle alternatif résistant

Les intervalles de prévision et de confiance correspondent aux limites internes et externes dans le graphique du modèle ajusté.

Graphique du modèle ajusté



ANNEXE 6 E

4.5 Analyse de la contamination microbienne dans la partie estuarienne

Analyse comparée de l'évolution des contaminations_(log10 [E.Coli]/100ml) à V1 et G1 : comparaison des droites de régression en fonction de la turbidité (log10)

Variable à expliquer: log10(ECE)

Variable explicative: log10(turb)

Codes des niveaux: point

Variable de sélection: (point=110 | point=210)

Nombre de sujets complets: 52

Nombre de droites de régression: 2

Analyse de régression multiple

| | | Erreur | Statistique | |
|-----------------------|------------|----------|-------------|--------|
| Paramètre | Estimation | type | t | Proba. |
| CONSTANTE | -0.15962 | 0.523949 | -0.304649 | 0.7620 |
| log10(turb) | 1.77332 | 0.475956 | 3.7258 | 0.0005 |
| point=210 | -0.676925 | 0.645079 | -1.04937 | 0.2993 |
| log10(turb)*point=210 | 0.685844 | 0.577358 | 1.1879 | 0.2407 |

Coefficients

| point | Ordonnée | Pente |
|-------|-----------|---------|
| 110 | -0.15962 | 1.77332 |
| 210 | -0.836546 | 2.45916 |

Analyse de la variance

| Source | Sommes des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|---------------|-------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Modèle | 13.497 | 3 | 4.499 | 24.06 | 0.0000 |
| Résidu | 8.9756 | 48 | 0.186992 | | |
| Total (Corr.) | 22.4726 | 51 | | | |

R-carré = 60.0598 pourcents

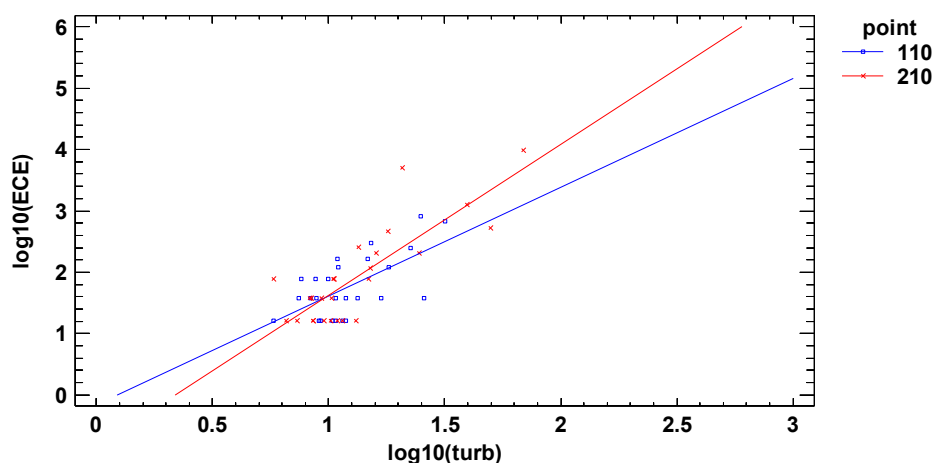
R-carré (ajusté pour les ddl) = 57.5635 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0.432425

Erreur absolue moyenne = 0.333102

Statistique de Fisher: F(3,48) = 125.512 (p < 0.0001)

Graphique du modèle ajusté



ANNEXE 7 A

§ 4.6 Contamination microbiologique des huîtres

Test de comparaison (analyse de la variance) de la contamination moyenne des huîtres ($\log_{10}[\text{E.Coli}]/100\text{mn CLI}$) à la Guittière et au Veillon

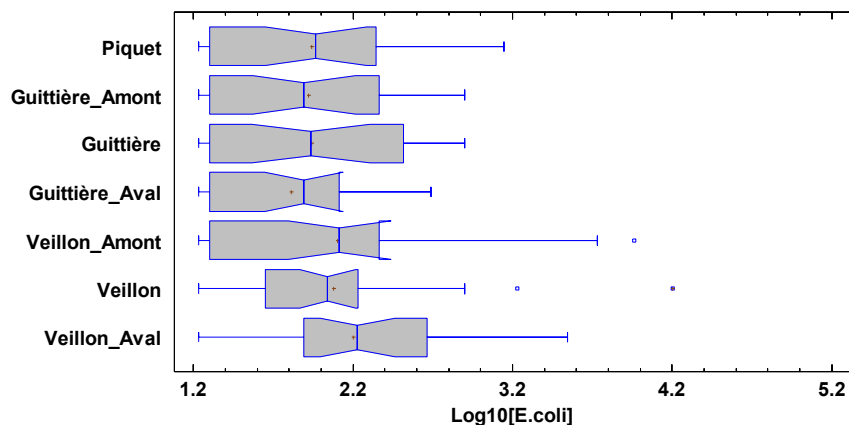
Test de Kruskal-Wallis

Test statistique = 6.29908 Proba. = 0.390534

Le StatAdvisor

Le test de Kruskal-Wallis teste l'hypothèse nulle que les médianes pour les 7 colonnes sont les mêmes.

Comme la valeur de la probabilité est supérieure ou égale à 0.05, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les médianes au niveau de confiance de 95.0%.



ANNEXE 7 B

§ 4.6 Contamination microbiologique des huîtres

Analyse (régression simple) de la contamination des huîtres ($\log_{10}[\text{E.Coli}]/100\text{mn}$ CLI) en fonction de celle de l'eau ($\log_{10}[\text{E.Coli}]/100\text{ml}$)

Variable à expliquer: $\log_{10}(\text{ECC})$

Variable explicative: $\log_{10}(\text{ECE})$

Modèle linéaire: $Y = a + b \cdot X$

Coefficients

| | Estimation des moindres carrés | Erreur type | t | Probabilité |
|----------|-----------------------------------|----------------|---------|-------------|
| Ordonnée | 1.12923 | 0.237865 | 4.74735 | 0.0000 |
| Pente | 0.598443 | 0.122481 | 4.88602 | 0.0000 |

Analyse de variance

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | F | Probabilité |
|---------------|------------------|-----|-------------|-------|-------------|
| Modèle | 7.60442 | 1 | 7.60442 | 23.87 | 0.0000 |
| Résidu | 14.9711 | 47 | 0.318534 | | |
| Total (Corr.) | 22.5755 | 48 | | | |

Coefficient de corrélation = 0.580382

R-carré = 33.6844 %

R-carré (ajusté pour les ddl) = 32.2734 %

Estimation de l'écart-type du résidu = 0.564388

Erreur absolue moyenne = 0.457175

Test de Durbin-Watson = 2.03578 (P=0.5266)

Autocorrélation résiduelle d'ordre 1 = -0.0542704

Nombre d'observations exclues: 1

Le StatAdvisor

Ce rapport affiche les résultats de l'ajustement d'un modèle linéaire pour décrire la relation entre $\log_{10}(\text{ECC})$ et $\log_{10}(\text{ECE})$.

L'équation du modèle ajusté est:

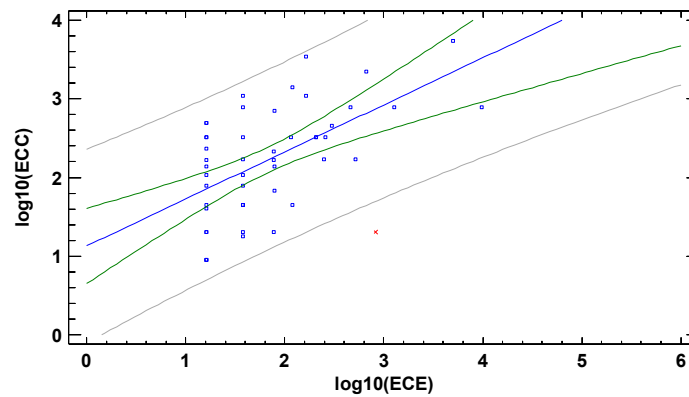
$$\log_{10}(\text{ECC}) = 1.12923 + 0.598443 \cdot \log_{10}(\text{ECE})$$

Comme la valeur de la probabilité dans le tableau de l'ANOVA est inférieure à 0.05, il y a une relation statistiquement significative entre $\log_{10}(\text{ECC})$ et $\log_{10}(\text{ECE})$ au niveau de confiance de 95.0%.

La statistique de R-carré indique que le modèle ajusté explique 33.6844% de la variabilité dans $\log_{10}(\text{ECC})$. Le coefficient de corrélation vaut 0.580382, ce qui indique une relation modérément forte entre les variables. L'erreur-type d'estimation indique que l'écart-type des résidus est de 0.564388. Cette valeur peut être utilisée pour construire des limites de prévision pour de nouvelles observations en sélectionnant l'option Prévisions dans le menu pour les tableaux.

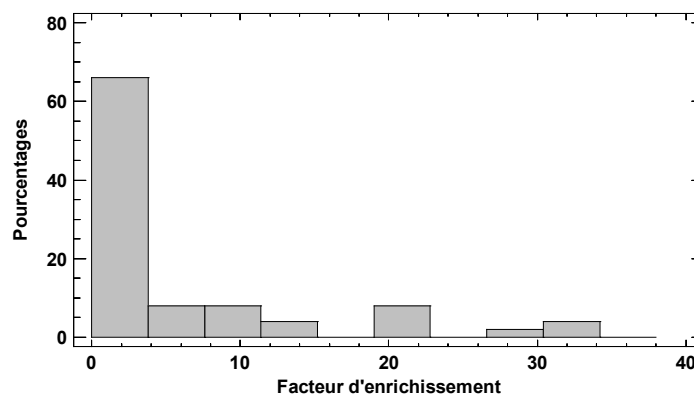
L'erreur absolue moyenne de 0.457175 est la valeur moyenne des résidus. La statistique de Durbin-Watson (DW) teste les résidus pour déterminer s'il y a une corrélation significative basée sur l'ordre dans lequel ils apparaissent dans le fichier des données. Comme la valeur de la probabilité est supérieure à 0.05, il n'y a pas d'autocorrélation sérielle des résidus au niveau de confiance de 95.0%.

Graphique du modèle ajusté
 $\log_{10}(\text{ECC}) = 1.12923 + 0.598443 \cdot \log_{10}(\text{ECE})$



Distribution du facteur d'enrichissement (tableau et graphique)

| Classe | Limite infér. | Limite supér. | Point central | Effectif | Fréquence | Effectif cumulé | Fréquence cumulée |
|--------|---------------|---------------|---------------|----------|-----------|-----------------|-------------------|
| | < ou = | 0 | | 0 | 0.0000 | 0 | 0.0000 |
| 1 | 0 | 3.8 | 1.9 | 33 | 0.6600 | 33 | 0.6600 |
| 2 | 3.8 | 7.6 | 5.7 | 4 | 0.0800 | 37 | 0.7400 |
| 3 | 7.6 | 11.4 | 9.5 | 4 | 0.0800 | 41 | 0.8200 |
| 4 | 11.4 | 15.2 | 13.3 | 2 | 0.0400 | 43 | 0.8600 |
| 5 | 15.2 | 19.0 | 17.1 | 0 | 0.0000 | 43 | 0.8600 |
| 6 | 19.0 | 22.8 | 20.9 | 4 | 0.0800 | 47 | 0.9400 |
| 7 | 22.8 | 26.6 | 24.7 | 0 | 0.0000 | 47 | 0.9400 |
| 8 | 26.6 | 30.4 | 28.5 | 1 | 0.0200 | 48 | 0.9600 |
| 9 | 30.4 | 34.2 | 32.3 | 2 | 0.0400 | 50 | 1.0000 |
| 10 | 34.2 | 38.0 | 36.1 | 0 | 0.0000 | 50 | 1.0000 |



ANNEXE 7 C

§ 4.6 Contamination microbiologique des huîtres

Graphiques de la contamination des huîtres ($\log_{10}[\text{E.Coli}]/100\text{mn CLI}$) à la Guittière et au Veillon en fonction des produits des cumuls de pluies et des débits de la Ciboule

VEILLON AMONT

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|-----------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| PC_J5*PC_2M | 2.49275 | 1 | 2.49275 | 10.47 | 0.0035 |
| Résidu | 5.71612 | 24 | 0.238172 | | |
| Total (corrigé) | 8.20888 | 25 | | | |

R-carré = 30.3666 pourcents

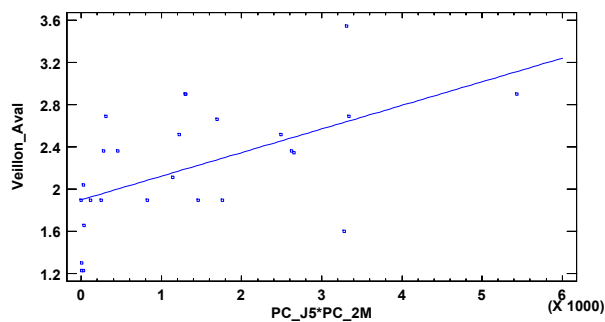
R-carré (ajusté pour les ddl) = 27.4652 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0.488028

Erreur absolue moyenne = 0.367916

Statistique de Durbin-Watson = 2.20356 (P=0.7181)

Graphique du modèle ajusté



VEILLON

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|-----------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| PC_J5*PC_2M | 3.30307 | 1 | 3.30307 | 12.47 | 0.0017 |
| Résidu | 6.35956 | 24 | 0.264982 | | |
| Total (corrigé) | 9.66263 | 25 | | | |

R-carré = 34.184 pourcents

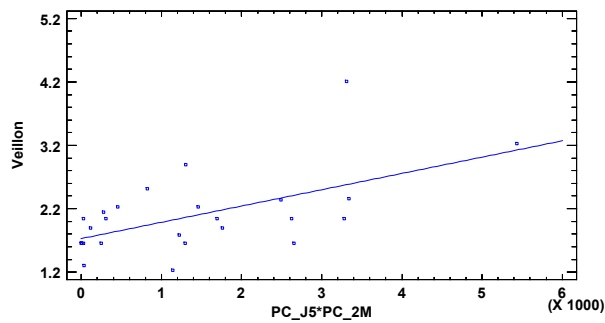
R-carré (ajusté pour les ddl) = 31.4417 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0.514764

Erreur absolue moyenne = 0.358989

Statistique de Durbin-Watson = 1.91915 (P=0.4347)

Graphique du modèle ajusté



VEILLON AVAL

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|-----------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| PC_J5*PC_2M | 5.09056 | 1 | 5.09056 | 13.42 | 0.0012 |
| Résidu | 9.10622 | 24 | 0.379426 | | |
| Total (corrigé) | 14.1968 | 25 | | | |

R-carré = 35.8572 pourcents

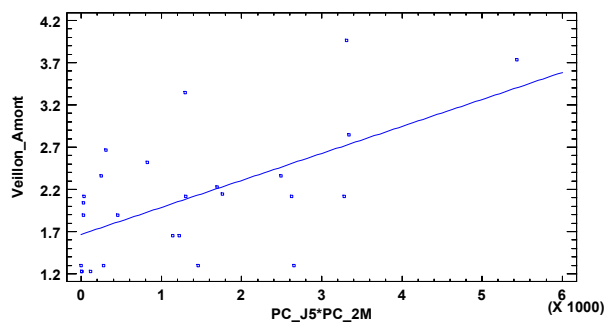
R-carré (ajusté pour les ddl) = 33.1846 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0.615975

Erreur absolue moyenne = 0.475804

Statistique de Durbin-Watson = 2.00186 (P=0.5203)

Graphique du modèle ajusté



GUITTIERE AMONT

Sommes des carrés de type III

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|-----------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| PC_J5*PC_2M | 0.603674 | 1 | 0.603674 | 2.31 | 0.1417 |
| Résidu | 6.27391 | 24 | 0.261413 | | |
| Total (corrigé) | 6.87759 | 25 | | | |

R-carré = 8.77741 pourcents

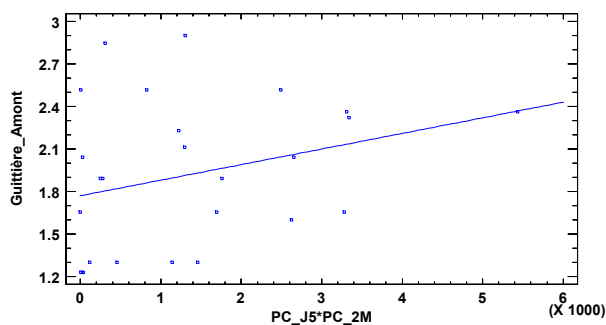
R-carré (ajusté pour les ddl) = 4.97647 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0.511286

Erreur absolue moyenne = 0.407826

Statistique de Durbin-Watson = 2.349 (P=0.8318)

Graphique du modèle ajusté



GUITTIERE

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|-----------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| PC_J5*PC_2M | 0.0382119 | 1 | 0.0382119 | 0.11 | 0.7449 |
| Résidu | 8.46792 | 24 | 0.35283 | | |
| Total (corrigé) | 8.50613 | 25 | | | |

R-carré = 0.449228 pourcents

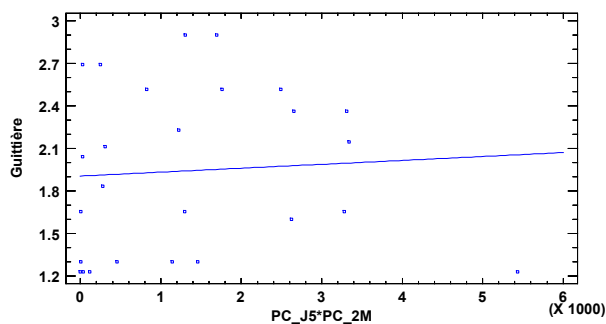
R-carré (ajusté pour les ddl) = 0.0 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0.593995

Erreur absolue moyenne = 0.514682

Statistique de Durbin-Watson = 1.99056 (P=0.5086)

Graphique du modèle ajusté



GUITTIERE AVAL (log10)

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | Rapport F | Proba. |
|-----------------|------------------|-----|-------------|-----------|--------|
| PC_J5*PC_2M | 0.00486306 | 1 | 0.00486306 | 0.02 | 0.8880 |
| Résidu | 5.75681 | 24 | 0.239867 | | |
| Total (corrigé) | 5.76168 | 25 | | | |

R-carré = 0.0844036 pourcents

R-carré (ajusté pour les ddl) = 0.0 pourcents

Erreur-type d'estimation = 0.489762

Erreur absolue moyenne = 0.40272

Statistique de Durbin-Watson = 1.64656 (P=0.1892)

Graphique du modèle ajusté

