



**ENSP**

ECOLE NATIONALE DE  
LA SANTE PUBLIQUE

RENNES

**Ingénieur du génie sanitaire**

**Promotion - 2002-2003**

**Méthode de caractérisation de la fragilité  
microbiologique des zones conchylicoles  
Application à plusieurs bassins français**

**Présenté par :**

**Valérie DEROLEZ**

Ingénieur Agronome de l'ENSAR

**Référent professionnel :**

Goulven BREST

Comité National de la  
Conchyliculture

**Référent pédagogique :**

Michèle LEGEAS

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier M. Goulven Brest, Président du Comité National de la Conchyliculture et de la Section Régionale de la Conchyliculture Bretagne Nord pour m'avoir donné l'opportunité de travailler sur ce sujet.

Je tiens à remercier Me Michèle Legeas, référente pédagogique, pour avoir contribué à la définition de la problématique de ce stage et pour son aide.

J'adresse mes remerciements à Me Monique Pommepuy, responsable du laboratoire de Microbiologie de la Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral de l'IFREMER, pour m'avoir impliquée dans ce projet, pour ses précieux conseils et son enthousiasme.

Je remercie M. Jean-Claude Le Saux, responsable de l'antenne IFREMER de Morlaix, pour m'avoir accueillie dans ses bureaux. Je tiens à lui adresser ma reconnaissance pour sa disponibilité et son soutien tout au long du stage ainsi que pour les sorties sur le terrain.

Je tiens à remercier Me Michèle Quéroutil, chargée de mission en Environnement à la Section Régionale de la Conchyliculture Bretagne Nord, pour ses conseils et le suivi de mon travail. Merci également à Arnaud Amos, stagiaire à la SRC Bretagne Nord pour les informations concernant la baie de Lanveur.

Mes remerciements s'adressent à Me Anne Jansen et à Manuel Savary, de la Section Régionale de la Conchyliculture Normandie Mer du Nord pour leur collaboration active.

Je remercie M. Jean-Pierre Allenou, directeur adjoint du Laboratoire Côtier IFREMER de La Trinité sur mer pour sa disponibilité et son aide lors de l'application au Golfe du Morbihan.

Je tiens également à remercier les membres des laboratoires côtiers FREMER de Port en Bessin et de Sète pour les informations communiquées, en particulier M. Philippe Riou et Me Catherine Vercelli.

Merci enfin à toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail et qui ont contribué au bon déroulement de ce stage.

# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>1 Contexte réglementaire et sanitaire</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Contexte réglementaire</b>	<b>3</b>
1.1.1 Classement des zones de production conchylicole	3
1.1.2 Réglementation sanitaire des produits conchylicoles	4
<b>1.2 Contexte sanitaire</b>	<b>5</b>
1.2.1 Les principaux microorganismes impliqués	5
1.2.2 Données cliniques et épidémiologiques	6
<b>2 Etapes de la contamination microbiologique le long d'un bassin versant</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Source humaine de contamination</b>	<b>9</b>
2.1.1 Population humaine et prévalence de pathogènes	9
2.1.2 Système d'assainissement	10
<b>2.2 Source animale de contamination</b>	<b>11</b>
2.2.1 Cheptel et portage animal	11
2.2.2 Etat des bâtiments d'élevage	11
2.2.3 Pratiques d'épandage	12
<b>2.3 Survie des microorganismes dans l'environnement</b>	<b>12</b>
2.3.1 Dans les effluents d'élevage	13
2.3.2 Dans les eaux douces	14
2.3.3 Dans le milieu marin	14
<b>2.4 Eaux littorales et élevage conchylicole</b>	<b>15</b>
2.4.1 Le milieu littoral récepteur	15
2.4.2 Les pratiques conchylicoles	15
2.4.3 Physiologie des mollusques et concentration des pathogènes	16
<b>3 Choix des indicateurs et construction du score de fragilité</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Modalités de calcul et délimitation de la zone d'étude</b>	<b>18</b>
3.1.1 Méthode de calcul du score	18
3.1.2 Limites de la zone d'étude	19
<b>3.2 Caractéristiques du bassin versant</b>	<b>20</b>
3.2.1 Les facteurs intervenant	20
3.2.2 Les indicateurs retenus	20
<b>3.3 Pression humaine</b>	<b>22</b>
3.3.1 Les facteurs intervenant	22
3.3.2 Les indicateurs retenus	22
<b>3.4 Pression animale</b>	<b>24</b>
3.4.1 Les facteurs intervenant	24
3.4.2 Les indicateurs retenus	25
<b>3.5 Facteurs météorologiques</b>	<b>26</b>
3.5.1 Les facteurs intervenant	26
3.5.2 Formule retenue	26
<b>3.6 Milieu récepteur littoral</b>	<b>27</b>
3.6.1 Les facteurs intervenant	27
3.6.2 Les indicateurs retenus	27
<b>3.7 Calcul du score de fragilité microbiologique</b>	<b>29</b>

<b>3.8</b>	<b>Interprétation du score de fragilité microbiologique</b>	<b>29</b>
3.8.1	Score de fragilité total	30
3.8.2	Facteurs critiques	30
3.8.3	Appréciation du score de fragilité par rapport aux données microbiologiques	30
<b>4</b>	<b>Application à quelques bassins tests</b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Analyse de la sensibilité du score de fragilité</b>	<b>31</b>
4.1.1	Description du bassin versant théorique	31
4.1.2	Sensibilité des indicateurs	32
<b>4.2</b>	<b>L'anse du Cul de Loup (Est Cotentin)</b>	<b>33</b>
4.2.1	Présentation et délimitation de la zone d'étude	33
4.2.2	Application du score de fragilité	34
4.2.3	Résultats microbiologiques de la zone conchylicole	36
<b>4.3</b>	<b>La baie de Lanveur (Finistère)</b>	<b>38</b>
4.3.1	Présentation et délimitation de la zone d'étude	38
4.3.2	Application du score de fragilité	38
4.3.3	Résultats microbiologiques de la zone conchylicole	40
<b>4.4</b>	<b>Le nord-est du Golfe du Morbihan</b>	<b>40</b>
4.4.1	Présentation et délimitation de la zone d'étude	40
4.4.2	Application du score de fragilité	41
4.4.3	Résultats microbiologiques de la zone conchylicole	43
<b>4.5</b>	<b>Nord de l'étang de Thau (Languedoc Roussillon)</b>	<b>43</b>
4.5.1	Présentation et délimitation de la zone d'étude	43
4.5.2	Application du score de fragilité	45
4.5.3	Résultats microbiologiques de la zone conchylicole	46
<b>5</b>	<b>Discussion et adaptations envisageables</b>	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>Discussion sur les résultats obtenus</b>	<b>48</b>
<b>5.2</b>	<b>Adaptations envisageables</b>	<b>49</b>
	<b>Conclusion</b>	<b>50</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>51</b>
	<b>Liste des annexes</b>	<b>57</b>

## Liste des tableaux et figures

TABLEAU 1 : CRITERES MICROBIOLOGIQUES DES ZONES DE PRODUCTION CONCHYLICOLE. ....	4
TABLEAU 2 : CRITERES CHIMIQUES DES ZONES DE PRODUCTION CONCHYLICOLE. ....	4
TABLEAU 3. DOSE MINIMALE INFECTANTE POUR DES PATHOGENES TRANSMIS PAR LES COQUILLAGES. ....	7
TABLEAU 4 : T90 DES BACTERIES DANS LE LISIER DE BOVINS.....	13
TABLEAU 5 : SURVIE DES MICROORGANISMES EN MER ET EN ESTUAIRE. ....	14
TABLEAU 6. COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT POUR DIFFERENTES CONDITIONS GEOGRAPHIQUES. ....	20
TABLEAU 7. FLUX MOYEN JOURNALIER DE GTCF EXCRETE PAR ESPECE ANIMALE. ....	24
TABLEAU 8. INTERPRETATION DU SCORE DE FRAGILITE PAR SECTEUR DU BASSIN VERSANT. ....	30
TABLEAU 9. EFFET DES MESURES CORRECTIVES SUR LE SCORE DE FRAGILITE DU BASSIN VERSANT THEORIQUE.....	32
TABLEAU 10. COMPOSITION DU SCORE DE FRAGILITE POUR LES SECTEURS DE L'ANSE DU CUL DE LOUP. ...	36
TABLEAU 11. COMPOSITION DU SCORE DE FRAGILITE POUR LES SECTEURS DE L'ANSE DU CUL DE LOUP. ...	40
TABLEAU 12. DONNEES REMI DU SECTEUR EST GOLFE DU MORBIHAN.....	43
TABLEAU 13. DENSITE DE POPULATION ET CARACTERISTIQUES DES STEP DU BASSIN DE L'ETANG DE THAU. ....	45
TABLEAU 14. SCORES DE FRAGILITE CALCULES ET CLASSEMENT SANITAIRE ACTUEL POUR LES QUATRE BASSINS TEST. ....	48
TABLEAU 15. TEMPS DE CONCENTRATION Tc CALCULES PAR LA FORMULE DE PASSINI.....	49
FIGURE 1. DEVENIR DES BACTERIES EN MER .....	15
FIGURE 2. SCHEMA RECAPITULANT LES ETAPES DE TRANSFERT DES MICROORGANISMES .....	17
FIGURE 3. SYNTHESE DES FACTEURS DE TRANSFERT DES MICROORGANISMES.....	18
FIGURE 4. LOCALISATION DE ST-VAAST-LA-HOUGUE ET DES BASSINS VERSANTS DU CUL DE LOUP. ....	33
FIGURE 5. DONNEES REMI CONCERNANT LA ZONE CONCHYLICOLE DE L'ANSE DU CUL DE LOUP. ....	36
FIGURE 6. POURCENTAGE D'ECHANTILLONS CONTAMINES PAR AU MOINS UN VIRUS.....	37
FIGURE 7. LOCALISATION DE LA RADE DE BREST ET DU BASSIN VERSANT DE LA BAIE DE LANVEUR.....	38
FIGURE 8. DELIMITATION DES TROIS ZONES D'ETUDE DU GOLFE DU MORBIHAN. ....	41
FIGURE 9. BASSIN VERSANT DE L'ETANG DE THAU ET LIMITES DES DEUX ZONES D'ETUDE. ....	44
FIGURE 10. DONNEES REMI POUR LES HUITRES DES POINTS DE MEZE ET DE BOUZIGUES .....	46

## Liste des sigles utilisés

AQS : programme Aliment Qualité Sécurité  
CBPA : code des bonnes pratiques agricoles  
CE : Communauté Européenne  
CEMAGREF : Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts  
CLI : chair et liquide intralarvaire  
CNC : Comité National de la Conchyliculture  
CQEL : Cellule Qualité des Eaux Littorales  
CSP : Conseil Supérieur de la Pêche  
CTh, CT, CF : coliformes thermotolérants, coliformes totaux, coliformes fécaux  
DDAF : Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt  
DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales  
DDE : Direction Départementale de l'Équipement  
DIREN : Direction Régionale de l'Environnement  
DMI : dose minimale infectante  
DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche  
DSV : Direction des Services Vétérinaires  
*E. coli* : *Escherichia coli*  
E.H. : Equivalent-Habitant  
EHo : Equivalent-Homme  
GTCF : germe témoin de contamination fécale  
HACCP : analyse des risques et points critiques pour leur maîtrise  
IAA : industrie agro-alimentaire  
ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement  
IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer  
MES : matières en suspension  
NPP : nombre le plus probable  
NV : Norwalk-like virus  
PAC : politique agricole commune  
PMPOA : programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole  
REMI : réseau de surveillance microbiologique  
REPHY : réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines  
RGA : recensement général agricole  
RNDE : Réseau National des Données sur l'Eau  
RNO : réseau national d'observation de la qualité du milieu marin  
RSD : Règlement Sanitaire Départemental  
SATESE : Service d'Assistance Technique aux exploitants de Stations d'Épuration  
SAU : surface agricole utile  
SF : streptocoques fécaux  
SFP : surface fourragère principale  
SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine  
SRC : Section Régionale de la Conchyliculture  
STEP : station d'épuration des eaux usées  
STH : surface toujours en herbe  
T90 : temps nécessaire pour que la concentration du microorganisme diminue d'un facteur 10  
Tc : temps de concentration  
TIAC : toxi-infection alimentaire  
UFC ; UFP: unité formant colonie ; unité formant plage  
UGB : unité de gros bétail  
UV : ultra violets  
VHA : virus de l'hépatite A  
VNC : viable non cultivable  
ZES : zone d'excédent structurel

## Introduction

L'activité conchylicole, développée à proximité des côtes, est directement conditionnée par les facteurs environnementaux et la qualité du milieu marin. A l'exutoire du bassin versant, les eaux littorales constituent le réceptacle des apports terrestres urbains et agricoles qui peuvent contenir des substances potentiellement pathogènes pour l'homme. En particulier, les microorganismes qui se trouvent dans l'eau sont concentrés par les coquillages peuvent pour certains constituer un risque sanitaire pour le consommateur en provoquant des gastroentérites ou des hépatites A. Actuellement, le contrôle de la qualité microbiologique des coquillages consiste en un suivi de la teneur en *Escherichia coli*, bactérie témoin de contamination fécale. Cet indicateur, faiblement corrélé à la présence de microorganismes pathogènes, montre aujourd'hui ses limites en matière de prévention du risque sanitaire dans la mesure où des coquillages répondant aux normes ont été liés à des épisodes de toxi-infections alimentaires collectives (TIAC).

La réglementation est désormais orientée vers la recherche de nouveaux indicateurs spécifiques du risque microbiologique et vers une approche plus préventive visant à augmenter la traçabilité des produits. La profession conchylicole a choisi de se tourner vers une démarche préventive de maintien de la qualité des eaux littorales et de la gestion des pollutions. La pérennité et le développement de l'activité conchylicole sont en effet très fortement liés à la qualité du milieu marin.

Dans le cadre du programme "Aliment-Qualité-Sécurité" initié en 2001 et mené en collaboration avec l'IFREMER, cette étude vise à élaborer une méthode de diagnostic des facteurs de contamination microbiologique rencontrés sur les bassins versants situés à l'amont des zones d'élevage conchylicole. Après le recensement des sources terrestres de microorganismes pathogènes, la description des étapes de contamination des eaux conchylicoles a permis de mettre en évidence les paramètres les plus déterminants. Parmi ces paramètres, un nombre limité d'indicateurs ont été retenus et regroupés sous forme d'un "score de fragilité microbiologique". Enfin, ce système de caractérisation de la sensibilité microbiologiques a été appliqué à plusieurs conchylicoles afin d'adapter et d'ajuster le modèle à des cas concrets.

# 1 Contexte réglementaire et sanitaire

La sécurité alimentaire constitue un enjeu important de Santé Publique et le consommateur exige aujourd'hui un maximum de garanties quant à la qualité des produits alimentaires. Le rôle de la consommation de coquillages dans la transmission de toxi-infections alimentaires est connu depuis l'Antiquité. Aujourd'hui, une étude de la FAO les classe parmi les denrées à haut risque en terme de santé publique au niveau mondial (hors pays de la CE) (NACMCF, 1992).

Les coquillages sont des denrées alimentaires qui peuvent présenter des dangers intrinsèques dus à une contamination par des microorganismes (bactéries, virus, protozoaires) pathogènes pour l'homme. La contamination peut être de nature microbiologique, en particulier du fait de la capacité des coquillages à concentrer les microorganismes, mais elle peut concerner des phycotoxines ou des métaux lourds. En France, les deux tiers des TIAC liées à la consommation de coquillages mettent en cause des microorganismes d'origine anthropique ou animale à transmission féco-orale (Zidane *et al.*, 2002). Les principaux pathogènes impliqués sont des bactéries (essentiellement des salmonelles) et des virus entériques (essentiellement les norovirus et le virus de l'hépatite A).

Afin de protéger les consommateurs contre les risques microbiologiques des produits conchylicoles, la législation de la communauté européenne a établi des normes de qualité au niveau des zones d'élevage et des produits.

## 1.1 Contexte réglementaire

L'objet de ce travail ne concerne que le cas des coquillages issus des zones de production, c'est à dire les zones d'élevages et les gisements classés. Les coquillages issus de la pêche récréative demeurent un problème identifié, mais légalement ces produits ne peuvent intégrer aucun des circuits commerciaux.

Pour les coquillages issus de zones de production, le contrôle administratif s'exerce sur deux niveaux :

- dans la zone d'élevage, par un contrôle de la qualité du milieu littoral au travers d'un "biomarqueur" que constitue le coquillage,
- à la vente avant commercialisation des coquillages.

### 1.1.1 Classement des zones de production conchylicole

Afin de s'assurer de la qualité du produit, les zones de production conchylicole sont classées selon la directive de la communauté européenne du 15/07/91 (91/492/CEE), fixant les règles régissant la production et la mise sur le marché des mollusques bivalves vivants. La transcription en droit français de cette directive s'est traduite sous la forme de deux textes réglementaires :

- le décret n° 94-340 du 28/04/94 relatif aux conditions sanitaires de production et de mise sur le marché des coquillages vivants.
- l'arrêté du 21/05/99 relatif au classement de salubrité et à la surveillance des zones de production et des zones de reparcage des coquillages vivants.

Le suivi de la qualité du milieu est assuré par l'IFREMER pour le compte de l'Etat par l'intermédiaire de trois réseaux : REMI (réseau de surveillance microbiologique), REPHY (réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines) et RNO (réseau national d'observation de la qualité du milieu marin). Le classement de la salubrité des zones de production se fait par groupe de coquillages (gastéropodes, bivalves fouisseurs et bivalves non fouisseurs), disposition qui traduit leur faculté différentielle à se contaminer et à se



purifier. La norme est établie sur la base du dénombrement, dans les coquillages, des *Escherichia coli* (*E. coli*), germes témoins de contamination fécale (GTCF), mais aussi des teneurs en certains contaminants chimiques présentant un risque sanitaire (Tableau 1 et Tableau 2). En France, 491 zones conchylicoles étaient classées au 1<sup>er</sup> janvier 2002 : 39 % sont classées en A, 44 % en B, 15 % en C et 2 % en D.

**Tableau 1** : Critères microbiologiques des zones de production conchylicole. Décret du 28/04/1994 - Arrêté 21/05/1999.

<i>E. coli</i> (E.C.) / 100g de chair et de liquide intervalvaire (CLI)	Zones	Exploitation	
		Elevage	Pêche professionnelle gisement naturel
Au moins 90 % des résultats < 230 E.C. Aucun > 1000 E.C.	<b>A</b>	Autorisé (consommation directe)	
Au moins 90 % des résultats < 4 600 E.C. Aucun > 46 000 E.C.	<b>B</b>	Autorisé (reparcage ou purification)	
Au moins 90% des résultats < 46 000 EC	<b>C</b>	Interdit (sauf dérogation préfecturale)	Autorisée (reparcage de longue durée – 2 mois minimum) purification interdite
Non A, non B, non C	<b>D</b>	Interdit	

**Tableau 2** : Critères chimiques des zones de production conchylicole. Arrêté 21/05/1999.

Seuils de contamination chimique (mg/kg chair humide)			Zones	Exploitation
Plomb	Cadmium	Mercure	Classement	Pêche & élevage
≤2 mg*	≤2 mg	≤ 0.5mg	<b>A</b>	Autorisée
>2 mg	>2 mg	> 0.5mg	<b>D</b>	Interdite

\* Les normes sont modifiées par les règlements CEE 466/2001 du 8/03/2001 et 221/2002 du 10/02/02 qui fixent à 1,5 mg et à 1 mg les teneurs maximales en plomb et cadmium pour les mollusques issus de zone A.

### 1.1.2 Réglementation sanitaire des produits conchylicoles

Cette réglementation en complément du classement sanitaire des zones de production s'articule autour de 2 textes :

- l'arrêté du 02/07/96 fixant les critères sanitaires auxquels doivent satisfaire les coquillages vivants destinés à la consommation humaine immédiate, modifié par l'arrêté du 25/11/99,
- les règlements européens (466-2001 du 8/03/01, modifié par le 221/2002 du 10/02/02) sur la fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires.

En plus d'*E. coli* (<230 *E. coli*/100g CLI), les normes microbiologiques établies par l'arrêté du 02/07/96 concernent les salmonelles (absence de *Salmonella*/25g de chair). Les critères microbiologiques et chimiques sont complétés par une norme portant sur les phycotoxines associées aux espèces toxiques de phytoplanctons.

En l'absence de techniques de routine pour la recherche de virus et de normes spécifiques, le contrôle sanitaire microbiologique se fonde uniquement sur les bactéries fécales. Or, dans la majorité des cas, les coquillages impliqués dans les épidémies de gastro-entérites en France respectent la norme en *E. coli*. Ils proviennent, pour certains cas, des zones salubres (classées A) et peuvent être mis sur le marché sans traitement ultérieur de purification. Pour d'autres, ils sont récoltés dans des secteurs conchylicoles de qualité bactériologique inférieure (classés B) et subissent alors une purification de 48 à 72 heures avant commercialisation. Ce résultat démontre le peu de fiabilité des indicateurs fécaux vis-à-vis

du risque viral. En effet, de nombreux travaux montrent qu'il n'existe pas de relation entre les indicateurs classiques et la présence de pathogènes (Miossec *et al.*, 2001). De plus, ce fait souligne que les techniques actuelles de purification sont encore insuffisantes pour assurer la décontamination virale du produit.

Les règles communautaires d'hygiène en matière de sécurité alimentaire (Directive 93/43/CEE, relative à l'hygiène des denrées alimentaires) font actuellement l'objet de révision par la Commission européenne (Directive DGSANCO/4198/2001 "on microbiological criteria for foodstuffs and food production"). La CE soumet notamment des propositions de règlement en vertu desquelles chaque acteur de la chaîne alimentaire ("de la fourche à la fourchette") sera responsable au premier chef de la sécurité alimentaire. Pour garantir la sécurité alimentaire, l'objectif visé est d'augmenter la transparence en matière d'hygiène et la traçabilité des produits. Les principales mesures révisées portent sur :

- l'élaboration de guides en matière de bonnes pratiques d'hygiène ainsi que l'application des principes HACCP (analyse des risques et points critiques pour leur maîtrise). L'approche, plus préventive, sera tournée vers l'encouragement des autocontrôles,
- les normes microbiologiques : la commission souligne le caractère inopérant des GTCF pour démontrer la présence/absence des virus entériques comme les virus Norwalk ou de l'hépatite A. La révision en cours porterait sur l'introduction éventuelle d'un meilleur indicateur de la contamination virale tel que la quantité de bactériophages ARNf spécifiques.
- la purification rendue obligatoire pour tous les coquillages dont la charge virale excéderait 100 UFP de bactériophages ARNf spécifiques / 100 g de CLI.

La profession conchylicole s'interroge sur la pertinence de cet éventuel durcissement de la réglementation. D'une part, l'efficacité de telles mesures n'est pas réellement démontrée et leur application représenterait un coût socio-économique élevé. D'autre part, le pourcentage de TIAC du aux coquillages (3,2 %) est très faible comparé à celui des ovoproduits (21%) au niveau européen (Burkhardt, 2002 et cf. 1.2.2). Pour la profession conchylicole, le maintien durable de son activité passe en premier lieu par la reconquête et la préservation de la qualité de l'eau des zones d'élevage.

## 1.2 Contexte sanitaire

### 1.2.1 Les principaux microorganismes impliqués

Le tableau en Annexe 1 reprend les symptômes provoqués chez l'homme par les différents pathogènes retrouvés dans les coquillages.

#### a) Les bactéries

Les bactéries pathogènes pour l'homme et à transmission féco-orale sont dénommées entérobactéries pathogènes. Les espèces qui ont pu être retrouvées en France dans les coquillages très contaminés provoquent essentiellement des gastro-entérites et sont principalement :

- pour les plus fréquemment recherchées : *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* et *Campylobacter* spp.,
- plus rarement, les *Vibrio parahaemolyticus* et autres *Vibrio* non cholériques (Annexe 1),
- très rarement car peu recherchées : *Yersinia enterocolitica* et les *Escherichia coli* entéropathogènes (dont la souche *E. coli* O157:H7) (Pommepuy *et al.*, 2001 ; Dupray *et al.*, 1999).

## b) Les virus

Les virus mis en cause dans la contamination des coquillages sont des virus humains ou animaux excrétés dans les fèces d'individus malades ou porteurs sains. Présentant pour la plupart un cycle de multiplication entérique, ces virus nus à ARN, appartiennent à plusieurs familles. Les virus les plus souvent incriminés dans les épidémies liées à la consommation de coquillages sont le virus de l'hépatite A (VHA) et les norovirus provoquant des gastro-entérites, le plus répandu étant le Norwalk-like virus (NV) (Le Guyader *et al.*, 2002). Les rotavirus, les astrovirus et les adénovirus, également à l'origine de gastro-entérites, sont parfois présents dans les coquillages mais n'ont pas été mis en cause dans le cadre de TIAC. L'origine de la contamination virale semble humaine mais la source animale ne peut être négligée. Les virus, parasites intracellulaires, ont - en principe - une spécificité d'hôte, cependant, la notion de barrière d'espèce est de plus en plus remise en cause. Certaines espèces, peuvent être retrouvées à la fois chez les animaux et les humains, par exemple les rotavirus chez l'homme et les bovins (Kohli *et al.*, 2001).

## c) Les protozoaires

Des parasites des espèces *Cryptosporidium* et *Giardia* ont pu être isolés dans des coquillages très contaminés. Les symptômes sont principalement des gastro-entérites.

### 1.2.2 Données cliniques et épidémiologiques

#### a) Dose minimale infectante.

Le tableau en Annexe 2 reprend les périodes d'incubation des différents pathogènes retrouvés dans les coquillages. Des études expérimentales animales ou humaines ont permis de déterminer la dose minimale infectante (DMI) des principaux pathogènes. Cette dose, très variable d'un auteur à l'autre, correspond à la quantité de germes pathogènes viables suffisante pour provoquer une réponse physiologique (infection ou maladie) chez l'individu (Tableau 3). Il est à noter que les virus et les protozoaires ont des DMI bien moins élevées que les bactéries. Ce critère reste néanmoins très approximatif, étant donnée sa variabilité selon l'individu touché (âge, état de santé, système immunitaire).

L'hypothèse d'une infection par un microorganisme unique pathogène viable a été récemment développée. Par ailleurs, des modèles mathématiques ont été proposés pour décrire la relation entre l'ingestion d'un certain nombre de microorganismes et les effets possibles (relations dose-réponse) (Ross *et al.*, 2002 ; Chick *et al.*, 2001). Les quelques études portant sur des volontaires humains ont par exemple permis d'évaluer la probabilité d'infection pour un individu à une chance sur 2000 par ingestion d'une seule salmonelle et à 1 chance sur 30 par un rotavirus (Forsythe, 2002).

Cependant, de nombreuses approximations s'ajoutent à celle de la DMI, pour obtenir une évaluation du risque sanitaire lié à l'ingestion de coquillages contaminés (FAO/WHO, 2001):

- la quantité de coquillages ingérés par individu est difficile à évaluer,
- l'abondance des microorganismes pathogènes dans les coquillages est une donnée rarement disponible. Il manque des données quantitatives du fait des difficultés liées aux techniques de dénombrement (méthode du nombre le plus probable (NPP)<sup>1</sup>),

---

<sup>1</sup> Dénombrement d'*E. coli* : "NPP, 3x5 tubes" : méthode classique consistant à utiliser des dilutions décimales de l'échantillon. L'interprétation numérique est donnée par des tables statistiques en Nombre le Plus Probable de coliformes fécaux par 100 g de CLI. Cette méthode lourde et fastidieuse à mettre en œuvre, comprend des imprécisions assez importantes. Mais elle est la seule reconnue au plan européen et certifiée norme ISO.

- la virulence des pathogènes dépend de nombreux paramètres : l'adhésion aux cellules hôtes, la résistance à l'action lytique et à la phagocytose, la production de toxines, la résistance aux antibiotiques, mais aussi l'état physiologique des pathogènes (Plusquellec, 1992).

**Tableau 3.** Dose minimale infectante pour des pathogènes transmis par les coquillages (Forsythe, 2002 ; Kholi *et al.*, 2001).

Microorganisme	Dose Minimale Infectante estimée
<b>Bactéries</b>	
- <i>Salmonella</i> spp.	10 <sup>4</sup> -10 <sup>10</sup>
- <i>Listeria monocytogenes</i>	>100 /g d'aliment
- <i>Campylobacter jejuni</i>	10 <sup>3</sup>
- <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>9</sup>
- <i>Yersinia enterocolitica</i>	10 <sup>7</sup>
- <i>E. coli</i> entéropathogènes	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>
<i>E.coli</i> O157:H7	10-100
- <i>Costridium perfringens</i>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>
- <i>Shigella flexneri</i>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>9</sup>
- <i>Shigella dysenteriae</i>	10-10 <sup>4</sup>
<b>Virus</b>	
- Hépatite A	< 10 particules
- Virus Norwalk-like	< 10 particules
- Rotavirus	10-100 particules
<b>Protozoaires</b>	
- <i>Cryptosporidium parvum</i>	10 oocystes ; 100-130
- <i>Giardia lamblia</i>	10-100 kystes

## b) Données épidémiologiques

### ♦ Les TIAC en France

Un foyer de toxi-infection alimentaire collective est défini par la survenue d'au moins deux cas groupés, d'une symptomatologie similaire, en général digestive, dont on peut rapporter la cause à une même origine. L'analyse des TIAC déclarées de 1999 à 2001 en France montre que parmi les agents étiologiques identifiés, *Salmonella* spp. est responsable de plus de 60 % des foyers. Il faut noter la proportion de foyers pour lesquels l'agent étiologique est inconnu ou non confirmé est élevée (> 50 %). L'origine virale est rarement mise en évidence (moins de 1 % des foyers). Cependant, la recherche de virus n'est pas faite systématiquement, ce qui peut expliquer ce faible pourcentage (Haeghebaert *et al.*, 2002 a).

On observe une saisonnalité dans la répartition des TIAC. Les contaminations bactériennes sont plus fréquentes en été avec une recrudescence des foyers à *Salmonella* spp. de juin à septembre. D'octobre à mars, l'augmentation de la proportion de TIAC d'étiologie inconnue pourrait correspondre à une recrudescence des TIAC d'origine virale, coïncidant avec la saisonnalité hivernale des épidémies de maladies virales (Haeghebaert *et al.*, 2002 b).

Le système de Déclaration Obligatoire des cas de TIAC présente des limites. L'exhaustivité de ce système pour les TIAC à salmonelles a été estimée entre 26 % et 41 % en 2000. Des infections asymptomatiques ou sub-cliniques peuvent ne pas être détectées, sous-estimant ainsi le risque, en particulier chez certains groupes d'âge (nourrissons, personnes âgées).

### ♦ L'origine coquillière

---

"Malthus": cette méthode s'appuie sur la variation des propriétés électriques du milieu de culture au fur et à mesure de la croissance bactérienne. Le suivi de la conductance permet de déterminer le nombre d'*E. coli* présents. Cette méthode est plus rapide, plus facile et la sensibilité et la précision sont supérieures à la méthode Malthus.

Parmi les TIAC déclarées de 1996 à 2001 en France, la proportion des foyers associés à la consommation de coquillages est globalement faible. Elle est de 3,2 % en moyenne pour les 3 années 96-97-98, et a régulièrement augmenté puisqu'on est passé de 13 foyers sur 519 en 1998 à 24 foyers sur 272 en 2001.

En France, les principales épidémies imputées à la consommation de coquillages sont des épisodes de salmonelloses, de gastro-entérites virales ou d'hépatites A. Le nombre de TIAC attribuées à la consommation de coquillages, pour lesquelles une origine virale est suspectée, est très faible en 1996-98 (1 %). Pour les TIAC déclarées, l'origine virale a été le plus souvent suspectée sur des arguments cliniques et rarement avec confirmation par détection de virus dans les selles ou dans l'aliment responsable. Cependant, en 1999 et 2000, 5 des 6 TIAC pour lesquelles des prélèvements de selles ont été obtenus étaient dues à des calicivirus (virus Norwalk), ce qui révèle l'importance de l'implication des virus dans les foyers de TIAC.

Les huîtres sont les coquillages le plus souvent mis en cause avec 85 % en 1998 (11/13) et 36 % en 1999 et 2000 (18/49) (Miossec *et al.*, 2001 ; Haeghebaert *et al.*, 2002 a et b).

## 2 Etapes de la contamination microbiologique le long d'un bassin versant

Les coquillages constituent une ressource naturelle marine très sensible aux facteurs environnementaux ainsi qu'à la qualité du milieu littoral, du fait de la situation géographique des zones d'élevage proches des côtes et des rejets anthropiques. Le littoral constitue un milieu spatialement limité qui connaît des pressions d'usage de plus en plus fortes et contradictoires. A l'interface entre le bassin versant et la mer, ce milieu est le réceptacle de toutes les formes de pollution générée par les activités continentales. Les pressions peuvent venir d'une densité importante de population, des activités agricoles, de l'activité portuaire, des industries ou encore du tourisme. Les apports continentaux sont transférés par l'intermédiaire du réseau hydrographique ou des réseaux d'assainissement.

Les dangers microbiologiques (microorganismes pathogènes) qui interviennent dans les cas sporadiques ou épidémiques de contamination des coquillages ont été décrits dans un premier temps (cf.1). Il est important de décrire ensuite les événements qui conduisent au transfert des microorganismes pathogènes depuis l'amont du bassin versant jusqu'au littoral. L'approche choisie permettra d'identifier les points critiques et donc les paramètres déterminant la vulnérabilité des zones conchylicoles vis-à-vis de la contamination microbiologique provenant de sources ponctuelles ou diffuses et accidentelles ou chroniques. La démarche vise à estimer la probabilité de contamination des coquillages et non pas le risque d'intoxication alimentaire par les individus ingérant les coquillages.

### 2.1 Source humaine de contamination

Les principales étapes de la contamination des eaux littorales par une source humaine de microorganismes pathogènes figurent en Annexe 3.1. Les sources potentielles d'apport de pathogènes humains au littoral sont :

- les rejets de station d'épuration,
- les activités non raccordées au système d'épuration (habitations, camping, etc.),
- les apports diffus des rivières.

#### 2.1.1 Population humaine et prévalence de pathogènes

La densité de population permanente des communes du littoral français est trois fois supérieure à la moyenne nationale ; elle peut y devenir neuf fois supérieure en période estivale, ce qui peut représenter des apports microbiologiques importants (Legeas, 1992). Un être humain excrète par gramme de selle environ 10 millions d'*E. coli* et jusqu'à 100 milliards de rotavirus et  $10^9$  particules de VHA pour un malade (Forsythe, 2002 ; Leftah, 1999). Les concentrations moyennes par litre retrouvées dans les eaux usées non traitées sont de  $10^7$  à  $10^9$  germes pour *E. coli*, 20 à  $10^5$  pour *Salmonella*, 40 à 4600 pour les entérovirus (Courtois, 1993). Il a également été montré que les eaux usées d'une agglomération de 300 000 habitants peuvent apporter plus de  $10^9$  particules virales par jour (Schwartzbrod, 1991).

Les teneurs en microorganismes pathogènes des effluents urbains dépendent de l'état sanitaire de la population. On observe en effet une variation saisonnière de la concentration en entérovirus dans les eaux usées, avec des maxima hivernaux correspondant à des épidémies de gastro-entérites au sein de la population (Pommepuy *et al.*, 2002).

Pour évaluer la probabilité de présence de microorganismes pathogènes dans les effluents domestiques, il est nécessaire de connaître la prévalence des pathogènes au sein de la

population du bassin versant. Il est difficile d'en obtenir une donnée précise mais elle peut être estimée à partir des statistiques de surveillance épidémiologique (déclaration obligatoire), du système de déclaration volontaire ou encore des ventes de médicaments. Le réseau "Sentinelle" du Ministère de la Santé, composé de 500 médecins volontaires qui rapportent chaque semaine le nombre de consultations concernant neuf pathologies, fournit par exemple l'incidence des gastro-entérites au niveau régional. Mais ces données sont peu fiables (peu de médecins sentinelle par région) et le portage sain ou les infections asymptomatiques ne peuvent pas être détectées, sous-estimant ainsi la prévalence (Forsythe, 2002).

### **2.1.2 Système d'assainissement**

Les eaux usées domestiques peuvent contenir des quantités importantes de bactéries et virus fécaux, dont certains sont pathogènes pour l'homme. Mais il convient ici de souligner **qu'un déversement d'eaux usées dans le milieu récepteur ne représente un risque microbiologique qu'en cas de présence d'individus malades (ou porteurs sains) excréant des pathogènes au sein de la population.**

Environ 80 % de la population française est raccordée aux stations d'épuration des eaux usées (STEP). Si les filières de traitement des eaux urbaines permettent de réduire très nettement la pollution carbonée, azotée et phosphorée, les procédés de désinfection ne sont pas aussi bien maîtrisés et sont relativement peu efficaces vis-à-vis des microorganismes. Selon le type de procédé d'épuration, l'abattement des teneurs en microorganismes est plus ou moins important. Pour les bactéries, la réduction du nombre de germes va de  $10^2$  à  $10^3$  dans le cas des boues activées et de  $10^4$  à  $10^6$  dans le cas d'un lagunage. L'abattement des virus est de 10 à  $10^2$  pour un traitement par boue activée et de  $10^2$  à  $10^4$  dans le cas d'un lagunage (Courtois, 1993). Certains pathogènes survivent au passage en station d'épuration et subsistent dans les eaux épurées. Ainsi, on peut trouver des quantités non négligeables de GTCF en sortie de station d'épuration : jusqu'à  $10^2$  en sortie de lagunage et  $3.10^6$  coliformes thermotolérants (CTh)/100 mL après un traitement par boues activées (Legeas, 1992).

Un traitement tertiaire de désinfection (i.e. chloration, ozonation, rayons ultraviolets, ultrafiltration ou lagune tertiaire) peut être mis en place pour assurer un meilleur abattement de la teneur en microorganismes. L'efficacité de ces traitements a été démontrée pour les virus (Lazarova *et al.*, 1999). Cependant, certaines espèces (ex : adenovirus, enterovirus) sont difficilement inactivées et les coûts d'investissement et d'exploitation de ces procédés sont souvent très élevés (Tree *et al.*, 2003 ; Gerba *et al.*, 2002).

Le risque de contamination microbiologique du littoral est également fortement conditionné par le lieu et le type de rejet. Le rejet en mer des eaux traitées peut s'effectuer directement à la côte, par un émissaire (canalisation immergée en pleine mer) ou dans un bassin à flot (dans les ports de pêche ou de plaisance).

En bordure littorale, un rejet de faible flux peut avoir autant d'impact qu'un important rejet s'il est situé à proximité des concessions conchylicoles. Il est donc important de considérer l'ensemble des points de rejet potentiel en zone littorale susceptibles de présenter un impact sanitaire sur la conchyliculture. En réseau séparatif, prévu pour ne recevoir que des effluents domestiques ou éventuellement industriels, un déversement dans le milieu est toujours lié à une défaillance technique (rupture de canalisation, dysfonctionnement d'un poste de relèvement, obstruction du réseau). Pour un réseau unitaire, destiné à recevoir, en sus, les eaux pluviales, des points de déversement sont généralement prévus pour éviter la saturation du réseau et du système de traitement en cas d'orage (bassin tampon, déversoir d'orage) (Guérin-Schneider, 2001).

Au sein des communes littorales, la part de l'habitat dispersé est souvent importante. Le nombre d'habitations non raccordées au réseau collectif d'assainissement peut donc être élevé. Les techniques d'assainissement individuel sont un peu moins satisfaisantes que les procédés collectifs. Par exemple, l'abattement des concentrations en bactéries après passage en fosse sceptique va de 10 à 10<sup>2</sup> et celui des virus de 0 à 10. Cependant les rejets individuels présentent souvent moins de problèmes techniques que les réseaux étendus.

## 2.2 Source animale de contamination

Les techniques de production agricole ont principalement évolué ces dernières décennies vers une augmentation de la taille des exploitations et leur concentration géographique. L'intensification de l'élevage agricole conduit à l'augmentation de la pression sur l'environnement. Le développement de l'élevage bovin et porcin s'est en particulier fait de manière intensive dans certaines zones littorales normandes et bretonnes. Les installations d'élevage, lorsqu'elles ne sont pas accompagnées de mesures protectrices de l'environnement (mise aux normes des installations, établissement et respect d'un plan d'épandage) peuvent entraîner l'augmentation des apports microbiologiques vers les eaux littorales. Les principales étapes de la contamination par une source animale figurent en Annexe 3.2.

### 2.2.1 Cheptel et portage animal

De nombreux microorganismes sont excrétés par les animaux d'élevage, que ce soit par l'intermédiaire des fécès (fumiers et lisiers) ou d'autres excréta comme les produits d'avortement ou les urines, qui s'y trouvent mêlés. Parmi ces microorganismes, certains sont responsables de zoonoses, c'est-à-dire pathogènes tant pour l'homme que pour l'animal : *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *E. coli* O157:H7, certains astrovirus et rotavirus, etc. (cf. Annexe 1). Pour les norovirus, l'origine des contaminations semble humaine, mais dans l'état actuel des connaissances, la source animale ne peut être négligée (Kohli *et al.*, 2001).

Pour évaluer la probabilité de présence des pathogènes dans les effluents d'élevage, il est nécessaire de connaître le niveau de portage animal. Les services vétérinaires peuvent renseigner sur les taux d'incidence de certaines maladies au sein des cheptels. La prévalence des pathogènes peut varier de façon importante selon l'âge de l'animal, avec un portage en général plus élevé chez les animaux jeunes. Par exemple, le portage de *Giardia* spp. est de 4 % chez les moutons adultes et de 35,7 % chez les agneaux non sevrés ; la prévalence d'*E. coli* O157:H7 peut aller de 6 % chez les bovins adultes à 21 % chez les jeunes veaux sevrés (Hooda *et al.*, 2000 ; Tillaut, 2002). Le portage sain (sans signe clinique) est également important à considérer, il est estimé pour *Salmonella* spp. à 23 % chez les porcs et 7 % chez les bovins (Dupray *et al.*, 1999).

### 2.2.2 Etat des bâtiments d'élevage

Une des origines de la contamination microbiologique des eaux de surface adjacentes aux exploitations d'élevage est le ruissellement sur le siège de l'exploitation. Beaucoup d'installations polluent par temps de pluie car les fosses peuvent déborder et les eaux pluviales accumulées sur les aires d'exercice ou les bâtiments mal protégés peuvent s'écouler, entraînant des déjections vers le fossé ou le ruisseau le plus proche (Hooda *et al.*, 2000).

Une série de mesures réglementaires visant la réduction des pollutions dues aux élevages agricoles a été établie en vue de protéger l'eau. La Directive 91/676/CEE du 12/12/91 concernant la protection des eaux par les nitrates a conduit à l'élaboration d'un Code de Bonnes Pratiques Agricoles (CBPA). De plus, dans le cadre du premier Programme de



maîtrise des pollutions d'origine agricole (PMPOA<sup>2</sup>), élaboré en octobre 1993, des aides sont accordées aux éleveurs pour la mise aux normes des bâtiments d'élevage. Ce programme ne concerne que les grosses exploitations supérieures à 450 porcs, 70 bovins ou 20 000 poules pondeuses, dont l'activité relève de la nomenclature des installations classées (arrêté du 29/02/92). Les élevages qui ne dépassent pas les seuils des installations classées sont soumis au respect du Règlement Sanitaire Départemental (RSD).

La mise aux normes des élevages impose notamment le respect de règles d'exploitation et d'aménagement. Les exploitations doivent disposer d'un volume minimal pour permettre un stockage des effluents pendant quatre mois. Les surfaces accessibles aux animaux doivent être étanches et imperméabilisées. Les eaux de ruissellement des aires d'exercice, les eaux vertes (déjections) et blanches (lait) doivent être collectées et épurées et les eaux pluviales doivent être collectées et évacuées vers le milieu naturel (Martel, 1996 ; Dupray *et al.*, 1999).

### **2.2.3 Pratiques d'épandage**

Les sources locales de pollution par les déjections animales peuvent être identifiées et assez bien contrôlées par le respect du CBPA et du PMPOA. Les sources diffuses de pollution (épandage des lisiers ou fumiers sur les sols) conduisant au transfert des microorganismes par ruissellement le long des bassins versants jusqu'au milieu marin, sont plus difficiles à localiser et à contrôler (Hooda *et al.*, 2000). Les pratiques d'épandage conduisent le plus souvent, pour des raisons technico-économiques, à concentrer les apports d'effluents sur les cultures de maïs au printemps et, dans une moindre mesure, sur les chaumes de céréales ou sur les prairies à l'automne. Ces pratiques, ajoutées aux quantités d'effluents d'élevage parfois trop importantes par rapport à la surface cultivée pouvant valoriser ces effluents, ont souvent des conséquences défavorables sur l'environnement (Bordenave *et al.*, 1999).

Cependant des règles d'épandage sont fixées pour les élevages soumis à la réglementation des installations classées (arrêté du 29/02/92). Parmi ces mesures, on peut citer les interdictions d'épandre : sur un terrain en forte pente, en cas de gel, ou encore à moins de 500 mètres d'une zone conchylicole. Il faut noter que cette dernière interdiction peut faire l'objet de dérogation préfectorale. L'éleveur doit également tenir un cahier d'épandage mentionnant les dates d'épandage, les volumes d'effluents, les parcelles réceptrices et les cultures en place, les délais d'enfouissement et les traitements contre les odeurs.

## **2.3 Survie des microorganismes dans l'environnement**

Une fois déversés dans le milieu naturel, les microorganismes pathogènes d'origine humaine ou animale peuvent parvenir au littoral si les conditions rencontrées leur sont favorables. La durée de survie des microorganismes peut être exprimée par le T90 qui correspond au temps nécessaire pour que 90 % d'entre eux ne soient plus détectés par technique classique de mesure. Le T90 varie de façon sensible selon l'espèce et l'état du microorganisme et selon les conditions environnementales rencontrées. Les principaux paramètres du milieu susceptibles d'agir sur la survie des bactéries entériques sont (Corre *et al.*, 1999; Pompey *et al.*, 1992) :

- la température : les basses températures favorisent la survie des germes,
- la lumière : les rayons Ultraviolets (UV) ont un effet germicide,

---

<sup>2</sup> Un nouveau programme (PMPOA<sub>2</sub>), va démarrer d'ici 2004 (décret du 4 janvier 2002). Ce n'est plus un programme d'accompagnement de la législation sur les installations classées mais de la directive Nitrates. L'amélioration des pratiques d'épandage prend donc beaucoup plus d'importance et les bénéficiaires potentiels sont plus nombreux (ex : tous les élevages en zone vulnérable, quelques soient les effectifs).

- la salinité : l'eau de mer est un milieu hostile pour la plupart des microorganismes fécaux,
- la turbidité : une forte teneur en matières en suspension (MES) est favorable aux microorganismes,
- les phénomènes de prédation et d'antibiose,
- la teneur en matière organique,
- le temps de transit des eaux.

Sous l'effet du stress imposé par les conditions du milieu (par exemple manque de matière organique), les bactéries évoluent vers des formes viables non cultivables (VNC). Or, la valeur du T90 ne prend pas en compte les bactéries stressées, qui peuvent conserver leur potentiel pathogène. Le VT90, temps nécessaire pour que le nombre de bactéries viables mais non cultivables diminue d'un logarithme décimal, pourrait y remédier (Pommeuy *et al.*, 2001).

En plus des facteurs précités pour les bactéries, la survie des virus entériques dépend de leur état. Ils peuvent être libres, associés à des particules solides ou agrégés. La majorité des virus est associée à des particules en suspension qui se déposent et constituent la couche superficielle des sédiments (Crenn *et al.*, 1999).

Lors du transfert des microorganismes le long des bassins versants jusqu'aux eaux littorales, les conditions des milieux rencontrés (effluents, eau douce, eau de mer) sont plus ou moins favorables à leur survie.

### 2.3.1 Dans les effluents d'élevage

Dans le lisier, la température stable et basse, ainsi que les conditions d'atmosphère anaérobie, conduisent à des T90 des bactéries élevés (Tableau 4). Certaines études indiquent que *Salmonella* spp. peut survivre jusqu'à un an dans une fosse à lisier en conditions anaérobies (Hooda *et al.*, 2000). Dans les fumiers, les T90 sont plus courts, du fait des températures plus élevées. Avant l'épandage, une durée suffisante de stockage des effluents peut permettre d'abaisser sensiblement la charge bactérienne, mais très peu la charge virale. Des études antérieures ont montré qu'à condition qu'il n'y ait pas de nouvel apport d'effluent au stock, 2 mois en été et 3 mois en hiver peuvent permettre un abattement bactérien suffisant (Desmazières, 1999 ; Martel, 1996). Mais cette condition est très difficilement respectée du fait du grand volume de stockage nécessaire et la mise aux normes fixe désormais un volume minimal équivalent à une durée de quatre mois de stockage.

**Tableau 4** : T90 des bactéries dans le lisier de bovins (in Dupray *et al.*, 1999).

Bactérie	T 90 (jours)
<i>Campylobacter jejuni</i>	438
<i>Salmonella typhimurium</i>	34
<i>Listeria monocytogenes</i>	28
<i>Yersinia enterocolitica</i>	18

Après épandage sur le sol, les conditions de milieu, assez défavorables aux microorganismes (lumière solaire, sécheresse, température élevée), font que les temps de survie sont moins grands que dans les effluents. Cependant, des études ont montré que *Salmonella* spp. pouvait survivre 42 semaines après épandage et jusqu'à 968 jours dans le sol, *Cryptosporidium parvum* 21 jours et *E. coli* O157:H7 jusqu'à 77 jours à 5°C (Hooda *et al.*, 2000 ; Dupray *et al.*, 1999).

Si les effluents sont épandus sur des sols nus, humides, riches en matière organique et avec une faible microflore indigène, les microorganismes présents peuvent subsister et arriver aux cours d'eau ou au littoral et ceci d'autant plus rapidement que les terrains sont en pente

(Tillié, 1994 ; Guizou *et al.*, 1994). Le transfert vers les eaux superficielles peut être accéléré par des fortes pluies qui vont lessiver les sols. La proximité des zones d'épandage en bordure du littoral limite le temps de transfert vers la mer et augmente d'autant le risque d'apport de microorganismes d'origine agricole au milieu marin.

### 2.3.2 Dans les eaux douces

En eau douce, le T90 moyen pour *E. coli* fluctue de 2 à 6 jours (Corre *et al.*, 1999). Mais une étude menée en été dans les petits cours d'eau normands donne un T90 médian de 10 heures pour cette même bactérie (Beaudeau *et al.*, 1998). Dans l'eau douce, les bactéries survivent d'autant mieux que l'ensoleillement est faible et la température basse.

Il a été montré que le T90 dépend également fortement de la prédation par la biocénose benthique, de la teneur en MES et du débit. On observe par exemple des concentrations virales 10 à 1000 fois plus élevées dans les sédiments que dans l'eau surnageante (Crenn *et al.*, 1999). L'importance du débit dans les variations de charge bactérienne a été soulignée par plusieurs auteurs. On observe ainsi une augmentation de 2 à 3 log des flux de GTCF entre un débit de base et un débit de crue (Micromer, 1997 ; Crowther *et al.*, 2003).

Pour ce qui concerne les virus, Schlösser *et al.* (1995) indiquent un temps de survie pour le VHA de 3 mois dans les eaux de surface à 25 °C.

### 2.3.3 Dans le milieu marin

Les temps de survie des microorganismes en milieu marin sont généralement inférieurs à ceux observés en eau douce. En fonction de leur sensibilité à l'eau de mer et aux conditions stressantes du milieu, les pathogènes peuvent être classés ainsi :

1. sensibles : *E. coli*, *Listeria* spp.,
2. assez sensibles : *Salmonella* spp., bactériophages,
3. peu sensibles : virus entériques,
4. résistants : *Vibrio* spp.

La survie en mer des coliformes thermotolérants est limitée à quelques jours alors que la persistance des virus peut être de plusieurs mois (Tableau 5). En effet, les virus sont plus résistants que les bactéries et leur comportement se rapproche de celui d'autres contaminants inertes (Pommeuy *et al.*, 2001).

**Tableau 5** : Survie des microorganismes en mer et en estuaire. T90 exprimé en heures (minimum-maximum) (Le Saux *et al.* 2003 a ; Pommeuy *et al.*, 2001). \*nd : non déterminé.

Microorganisme	eau de mer 18-22°C	eau de mer 4-9°C	eau d'estuaire 18-22°C	eau d'estuaire 4- 9°C
<i>Listeria innocua</i>	5-45	54-89	6-24	57-96
<i>Listeria monocytogenes</i>	22-39	nd*	80	Nd
<i>Escherichia coli</i>	5-35	nd	96-500	120-168
<i>Salmonella panama</i>	13-72	108-316	15-34	96-144
<i>Cryptosporidium</i>	48-96	nd	48-96	nd
<i>Giardia</i>	2-54	nd	1-64	nd
Virus de l'hépatite A	72-300	nd	nd	nd
Astrovirus	384-432	648-720	nd	nd
Phage (ARNf +)	60-76	nd	nd	nd

En milieu estuarien, une partie importante des microorganismes est associée à des particules qui vont sédimenter et se retrouver sur les fonds vaseux plus propices à leur survie. Dans le

sédiment marin, les temps de survie des virus sont très longs, ils peuvent atteindre plusieurs semaines (Crenn *et al.*, 1999).

## 2.4 Eaux littorales et élevage conchylicole

Une fois parvenus au niveau littoral, les effluents humains ou animaux, potentiellement contaminés par des microorganismes pathogènes, sont plus ou moins dilués au sein des zones d'élevages conchylicoles. Au niveau de ces sites, les coquillages subissent une succession d'étapes de production avant leur mise sur le marché (Annexe 3.3).

### 2.4.1 Le milieu littoral récepteur

En arrivant dans les eaux littorales, les microorganismes sont plus ou moins dilués selon les conditions hydrodynamiques rencontrées. La dilution est importante lors d'un rejet au niveau d'une zone ouverte et faible dans le cas d'un milieu aux eaux peu renouvelées (Allen, 1972). Les mouvements de marée assurent une dispersion et un entraînement des contaminants vers le large (Menesguen, 1991).

De nombreux microorganismes sont éliminés pendant leur séjour dans le milieu marin. Plusieurs processus se conjuguent pour assurer l'épuration en mer (Figure 1) (Pommeuy *et al.*, 2001) :

- la sédimentation d'abord massive puis lente,
- les facteurs de stress défavorables aux bactéries (salinité, oligotrophie, lumière, oxygène),
- les paramètres biologiques : état du microorganisme, compétition et prédation.

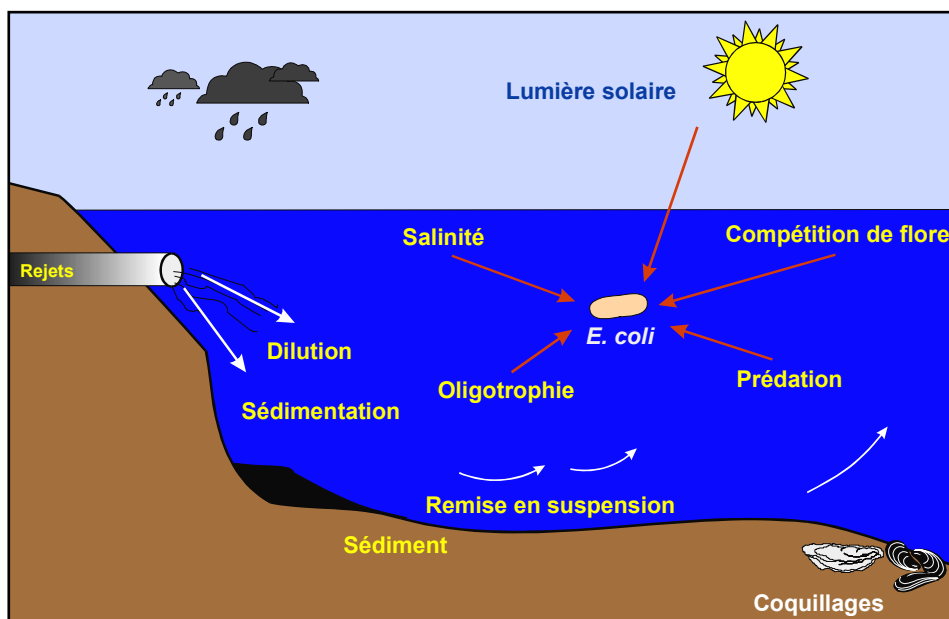


Figure 1. Devenir des bactéries en mer (d'après Courtois, 1993).

Le processus de sédimentation est important puisque la majorité des microorganismes est associée aux sédiments. Les quantités de virus retrouvées dans les sédiments sont importantes puisqu'elles atteignent souvent  $10^2$  à  $10^3$  particules  $g^{-1}$ . La couche sédimentaire est très facilement remise en suspension par des marées, tempêtes ou des opérations de dragage et peut éventuellement contaminer les coquillages à proximité (Crenn *et al.*, 1999).

### 2.4.2 Les pratiques conchylicoles

Les derniers critères conduisant à l'accumulation des microorganismes pathogènes vers les coquillages concernent les pratiques conchylicoles. Tout d'abord, le type de coquillage mis en élevage est déterminant. Le mode d'alimentation du coquillage conditionne l'accumulation des microorganismes. Les coquillages fouisseurs (coque, palourde), s'alimentant directement à partir des sédiments marins, sont plus susceptibles d'être contaminés que les espèces non fouisseuses. L'espèce de coquillage détermine également la capacité d'accumulation. Chez les bivalves, à biomasse égale, la moule présente un taux de filtration plus important que celui de l'huître, ce qui peut expliquer des contaminations parfois plus importantes (Beliaeff *et al.*, 2002).

Ensuite, le mode d'élevage est susceptible de modifier l'exposition des coquillages aux sédiments et éventuellement à la pollution microbiologique. L'élevage des bivalves, dont la majeure partie s'effectue sur l'estran, peut se faire sur sol (culture à plat), en surélévation (poches) ou en suspension (sur filières) (Bodoy, 1993). Enfin, le stade de l'élevage conditionne le risque microbiologique associé à la consommation des coquillages. Pour l'élevage des huîtres par exemple, seules les étapes concernant des coquillages de plus de deux ans peuvent constituer un risque potentiel. En effet, si des naissains ou des coquillages âgés de moins de 18 mois sont contaminés, le délai avant la mise à la consommation peut être suffisant pour assurer leur décontamination naturelle en zone d'élevage salubre. Par contre, le risque peut devenir non négligeable pour les étapes ultérieures (affinage, finition et stockage) car la décontamination peut s'avérer insuffisante.

Seuls les coquillages issus de zones conchylicoles classées A peuvent être commercialisés sans traitement préalable. La purification des coquillages est obligatoire pour les coquillages en provenance de zones B. Fondée sur un procédé contrôlé utilisant de l'eau de mer purifiée, la purification permet aux coquillages filtreurs d'éliminer naturellement les agents qu'ils ont accumulés dans leur environnement, en particulier dans leur système digestif. La charge initiale en bactéries et virus conditionne l'efficacité de la purification. La température de l'eau et le temps de purification sont également des facteurs importants (Le Saux *et al.*, 2003 b).

La saison de production des coquillages semble également contribuer au niveau de contamination microbiologique. L'état physiologique du coquillage peut avoir un impact car en période de ponte, le taux de filtration est plus important (Le Bec *et al.*, 2002). Une hausse de la température de l'eau conduit également à une augmentation du taux de filtration du fait de l'accélération du métabolisme des mollusques (Daguzan, 1992).

Certaines études ont également montré que la teneur en glycogène du tissu conjonctif est maximale dans les huîtres entre fin novembre et mars, ce qui coïncide avec les périodes de TIAC. La forte teneur en glycogène, associée au développement des gonades, pourrait favoriser la fixation des virus sur la chair des coquillages (Burkhardt, 2000). Enfin, la charge bactérienne et virale varie fortement d'un individu à l'autre, au sein d'un même groupe. Ainsi sur un même lot de coquillages, ou dans une même assiette, un seul coquillage peut être contaminé.

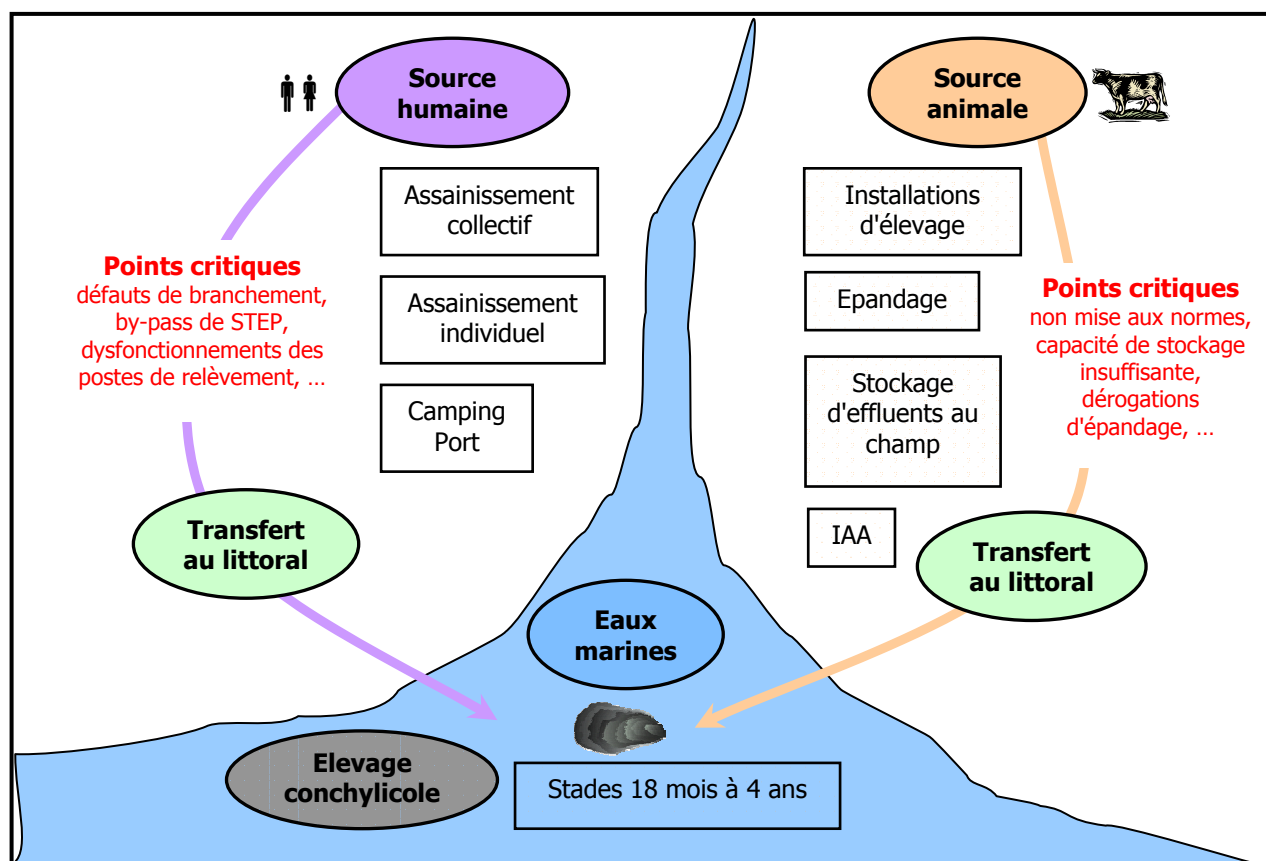
### **2.4.3 Physiologie des mollusques et concentration des pathogènes**

Les microorganismes survivants aux conditions du milieu marin peuvent être accumulés par les coquillages et représenter un risque pour la santé humaine. Les coquillages filtreurs peuvent en effet filtrer jusqu'à 40 litres d'eau par heure pour les huîtres (5 L/h pour les moules) et se comportent comme des intégrateurs de la pollution microbiologique. Les microorganismes s'accumulent préférentiellement dans les tissus digestifs et semblent plus facilement assimilés s'ils sont associés à des particules ou des fécès (Le Saux *et al.*, 2003 b).

Pour les bactéries fécales, le facteur de concentration<sup>3</sup> peut aller de 1 à 100 car l'accumulation dépend de la nature des germes et de l'état physiologique des mollusques. Pour *E. coli*, des travaux anglais ont permis de mettre en évidence un facteur d'enrichissement de 5,9 pour les moules et de 2,6 à 6,9 pour les huîtres (EU, 1996 ; Lees *et al.*, 1995). En France, un facteur de 30 a été fixé comme critère de référence dans l'instruction interministérielle du 12 mai 1981 (relative aux rejets des effluents en mer et à la conception de l'assainissement en zone conchylicole).

Pour les virus, le processus est favorisé du fait de la tendance de ces particules à s'adsorber ou s'agréger entre elles. La concentration dans le coquillage est plusieurs dizaines de fois supérieure à celle du pathogène dans l'eau environnante. De plus, les liaisons ioniques entre les particules virales et les polysaccharides du mucus des coquillages peuvent provoquer une hyper-accumulation des virus (Le Saux *et al.*, 2003 b ; Burkhardt, 2000).

La Figure 2 schématise les étapes conduisant au transfert des microorganismes depuis l'amont d'un bassin versant jusqu'aux zones d'élevage conchylicole, en faisant apparaître quelques points critiques.



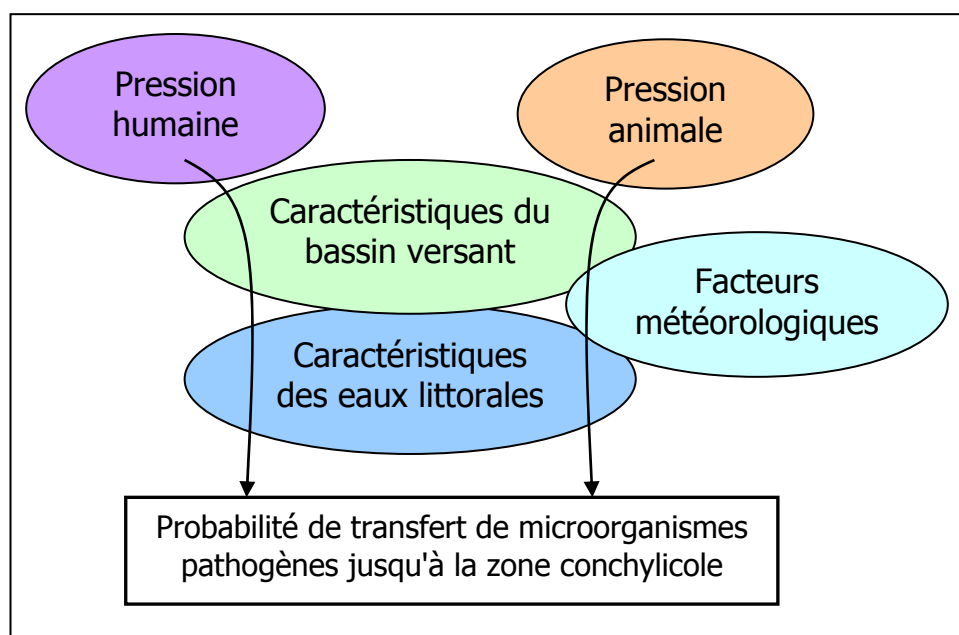
**Figure 2.** Schéma récapitulant les étapes de transfert des microorganismes le long d'un bassin versant.

<sup>3</sup> Rapport entre la concentration en germes dans 100 mL d'eau de mer et dans 100 g de CLI de coquillages.

### 3 Choix des indicateurs et construction du score de fragilité

La démarche visant à décrire les étapes du transfert des microorganismes pathogènes de l'amont du bassin versant jusqu'au littoral, a permis de recenser les paramètres qui contribuent à la fragilité microbiologique des zones conchylicoles (Figure 2). Parmi la liste non exhaustive établie (annexe 4), l'objectif est de retenir les paramètres les plus déterminants. L'approche consiste à hiérarchiser les facteurs selon l'importance qui leur est attribuée dans la littérature et suite aux récents travaux de recherche.

L'objectif étant d'aboutir à un outil synthétique, seul un nombre limité d'indicateurs est sélectionné pour l'élaboration du score de fragilité microbiologique des zones conchylicoles. Le système de score doit être reproductible sur l'ensemble des secteurs conchylicoles et pouvoir être aisément approprié par les utilisateurs. La sélection des indicateurs tient donc également compte de la facilité d'accès aux données. Au final, le score élaboré doit rendre compte, avec la meilleure représentativité possible, d'un niveau de probabilité de présence de pathogènes dans les coquillages. Cinq thématiques sont retenues pour construire le score de fragilité microbiologique (Figure 3) : les caractéristiques du bassin versant, les pressions humaine et animale, les facteurs météorologiques et les caractéristiques des eaux littorales.



**Figure 3.** Synthèse des facteurs de transfert des microorganismes du bassin versant à la zone conchylicole.

#### 3.1 Modalités de calcul et délimitation de la zone d'étude

##### 3.1.1 Méthode de calcul du score

Parmi la liste d'indicateurs établie en annexe 4, trois niveaux sont distingués selon l'importance de l'information :

- en niveau 1, il est nécessaire de se limiter à un nombre réduit d'indicateurs afin de rendre possible une interprétation claire, synthétique et rapide. Seuls les indicateurs de niveau 1 sont retenus pour le calcul du score de fragilité (en grisé),

- les indicateurs de niveau 2 viennent enrichir l'analyse quand l'information demandée en niveau 1 est indisponible ou lorsque plus de précision s'impose pour répondre à une préoccupation locale,

- le niveau 3 ne doit servir qu'accessoirement, si un intérêt ponctuel (mesures de gestion, etc.) justifie un suivi régulier.

Les indicateurs de niveau  $i$  sont à renseigner pour obtenir des informations descriptives sur la zone étudiée.

Les indicateurs choisis pour établir le score de fragilité sont qualitatifs ou quantitatifs. Dans ce dernier cas, un ou plusieurs (au maximum 3) seuils sont fixés à partir des données bibliographiques afin de définir des classes ou des modalités. Chaque modalité correspond à un nombre de points de 0 à 2. Plus la modalité contribue à la fragilité microbiologique du bassin versant, plus le nombre de points est élevé.

L'origine et la fiabilité (bonne, suffisante, mauvaise) des informations sont précisées. L'appréciation de la fiabilité des données permet d'évaluer le niveau d'erreur.

### **3.1.2 Limites de la zone d'étude**

Pour répondre à l'objectif de caractérisation de la fragilité microbiologique des zones conchylicoles, l'étude est ciblée sur le ou les bassins versants situés directement à l'amont des concessions. La distance au littoral est retenue pour délimiter les secteurs d'étude. En effet, plus le transfert des microorganismes vers le littoral est rapide, plus le risque de contamination des coquillages élevés à l'aval est grand puisque les microorganismes auront été moins exposés aux différents stress environnementaux (Dupray, 1999 ; Picot, 2002).

Dans le cadre de leur programme de préparation des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux, les Agences de l'Eau ont utilisé un découpage des bassins versant littoraux en trois zones d'éloignement à la côte pour traduire l'influence décroissante de la pollution microbiologique (Martel, 1996).

Crowther *et al.* (2002 et 2003) ont montré qu'en condition d'étiage, la teneur en GTCF de l'eau est plus influencée par l'utilisation des sols dans la bande du premier kilomètre à l'amont de l'exutoire que dans le bassin versant entier ; du fait de la disparition et de la sédimentation des microorganismes provenant des parties plus à l'amont du bassin versant. En condition de crue, la corrélation entre la teneur en GTCF de l'eau et l'occupation des sols devient valable pour des bandes plus larges - à partir de 5 km de l'exutoire jusqu'à l'ensemble du bassin versant - car la surface générant un ruissellement en réponse à la pluie est largement plus grande et l'abattement en GTCF le long des cours d'eau plus faible.

Sur la base des travaux cités ci-dessus, trois zones du bassin versant seront étudiées, en considérant un abattement microbien en fonction de l'éloignement à la côte :

- la zone immédiate ( $Z_1$ ), comprise entre 0 et environ 1 km de distance du littoral,
- la zone rapprochée ( $Z_2$ ), comprise entre environ 1 et 5 km de distance,
- la zone éloignée ( $Z_3$ ), distante de plus de 5 km du littoral.

Les indicateurs seront renseignés pour chacune de ces bandes de distance au littoral et on obtiendra un score de fragilité pour chaque zone.

De plus, il était intéressant de déterminer le temps de concentration ( $T_c$ ) du bassin versant étudié. Ce paramètre correspond à la *durée de réponse d'un bassin versant aux phénomènes pluviométriques* et se définit comme le temps d'écoulement d'une goutte d'eau à travers le bassin versant pour se rendre à l'exutoire. Plusieurs formules sont utilisées par les hydrologues pour exprimer les temps de concentration, elles dépendent en particulier de la topographie. Pour les bassins versant ruraux, la formule de Passini, couramment employée, peut être utilisée (Aguinet, 2003 ; ARPE, 2001) :



$$T_c = I^{-1/2} \cdot 0,108 \cdot (A \cdot L)^{1/3} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} T_c : \text{temps de concentration en heures,} \\ L : \text{plus long chemin hydraulique en km,} \\ I : \text{pente du plus long cours d'eau en m/m,} \\ A : \text{surface du bassin versant en km}^2. \end{array}$$

Le temps de concentration permet de délimiter la portion du bassin versant pouvant avoir un impact sur la zone conchylicole. Ce paramètre est retenu en indicateur de niveau 1, parallèlement à la délimitation des zones d'étude. Le temps de transfert d'une molécule d'eau pour un bassin versant peut être comparé aux temps de survie des bactéries et virus. Par exemple on peut comparer le  $T_c$  calculé au  $T_{90}$  moyen d'*E. coli* en eau douce de 48 heures (Corre *et al.*, 1999).

## 3.2 Caractéristiques du bassin versant

### 3.2.1 Les facteurs intervenant

Sur un bassin versant, l'eau déversée lors de pluies peut s'infiltrer, s'évaporer ou ruisseler sur le sol. Le principal processus conduisant au transfert des microorganismes le long d'un bassin versant est l'entraînement d'eaux contaminées par ruissellement (Desmazières, 1999 ; Aurousseau *et al.*, 1997). Le phénomène de ruissellement se produit quand l'intensité de la pluie dépasse la somme de la capacité d'infiltration et de l'évaporation.

Le type d'occupation du sol influence considérablement les conditions d'écoulement sur un bassin versant. Le pouvoir d'infiltration d'une prairie et ou d'une forêt est beaucoup plus important que pour un sol nu ou une surface urbanisée. Les surfaces urbanisées (routes, zones pavillonnaires) entraînent l'imperméabilisation des sols, favorisent le ruissellement, empêchent l'infiltration de l'eau et accroissent sa vitesse d'écoulement. Depuis les années 1970, la diminution des surfaces en herbage au profit de l'extension des terres labourables a augmenté considérablement le phénomène de ruissellement. En effet, les sols cultivés ont une capacité de stockage moindre que les sols occupés en permanence par les végétaux. Selon le CEMAGREF, les sols labourés retiennent 10 à 60 mm d'eau alors que les prairies en retiennent 40 à 100 mm (ARPE, 2001).

Le ruissellement dépend également de la nature des sols et des pratiques culturales. Ce phénomène est favorisé par la tendance à la battance<sup>4</sup> des sols limoneux, par les travaux culturaux réalisés dans le sens de la pente ou par les systèmes de culture laissant le sol à nu pendant une longue période de l'année (par exemple le maïs) et par la destruction du réseau bocager. Les terrains fortement inclinés sont également un facteur favorable au phénomène de ruissellement. Le Code des Bonnes Pratiques Agricoles déconseille d'ailleurs l'épandage sur les terrains en fortes pentes (cf. 2.2.3).

### 3.2.2 Les indicateurs retenus

♦ Le ruissellement étant le principal processus conduisant au transfert des microorganismes le long d'un bassin versant, le coefficient de ruissellement (CRu) est choisi comme indicateur de niveau 1. Ce coefficient exprime le rapport entre la lame d'eau écoulée et les précipitations reçues pendant le même intervalle de temps. Compris entre 0 et 1, il est déterminé par la couverture du sol, la pente et le type de sol (Tableau 6).

**Tableau 6.** Coefficients de ruissellement pour différentes conditions géographiques (*in* Bonn, 2000).

<sup>4</sup> Destruction de la structure du sol sous l'effet de la pluie avec formation d'une mince croûte superficielle, favorisant le phénomène de ruissellement.

Type dominant de couverture du sol	Pente moyenne des versants (%)	Type de sol		
		Sable	Limon	Argile
<b>Forêt</b> ( >50% de la zone)	<0,5	0,03	0,20	0,40
	0,5-5	0,12	0,22	0,45
	5-10	0,23	0,27	0,50
	>10	0,28	0,40	0,60
<b>Herbe</b> (STH / surf zone >50%)	<0,5	0,03	0,20	0,40
	0,5-5	0,07	0,21	0,45
	5-10	0,15	0,23	0,55
	>10	0,20	0,29	0,60
<b>Cultures</b> (STH / surf zone <50%)	<0,5	0,23	0,40	0,60
	0,5-5	0,27	0,44	0,64
	5-10	0,33	0,50	0,70
	>10	0,45	0,62	0,82
<b>Sol nu</b> ( > 50 % de la zone)	<0,5	0,33	0,50	0,70
	0,5-5	0,37	0,54	0,74
	5-10	0,43	0,60	0,80
	>10	0,55	0,72	0,92

▪ Les surfaces agricoles étant constituées en majorité par des prairies et des cultures, nous nous limiterons à ces deux types de couverture du sol, sauf cas particulier (ex : surface urbanisée >50%, surface de forêt >50%). La surface en herbe est un élément déterminant dans le phénomène de ruissellement, cette donnée peut donc être employée en tant qu'indicateur dans le score de fragilité du bassin versant. Le type dominant de couverture du sol pour la zone d'étude est déterminé au moyen du pourcentage de la surface de la zone occupée par des prairies (STH<sup>5</sup>), selon les deux classes de valeurs suivantes :

STH/Surface de la zone en %	> 50 %	< 50 %
Type dominant de couverture du sol	prairie	cultures

▪ La pente moyenne des versants est déterminée à partir des cartes IGN à l'échelle 1/25000 (sur deux ou trois transects par cours d'eau) ou en ayant recours à un modèle numérique de terrain. Les classes correspondant à la pente moyenne définies dans le Tableau 6 sont reprises ci-dessous. Il est à noter que le seuil de 5 % de pente est pris habituellement pour considérer un terrain inapte à l'épandage (Aurousseau *et al.*, 1997 ; Guiziou *et al.*, 1994).

Classes de pentes	< 0,5 %	0,5 à 5 %	5 à 10 %	> 10 %
-------------------	---------	-----------	----------	--------

▪ Le type de sol (sable, limon ou argile) peut être obtenu à partir de cartes pédologiques du secteur ou d'informations recueillies auprès de la DDAF, la DIREN, la DDE ou la chambre d'agriculture, etc.

A partir du Tableau 6, le coefficient de ruissellement moyen du secteur d'étude peut alors être déterminé. Les classes de l'indicateur "CRu" correspondant sont établies en fonction des valeurs moyennes observées sur prairie (0,25), cultures (0,4) et sur sol nu (0,55) :

Classes de l'indicateur CRu	< 0,25	0,25 à 0,4	0,4 à 0,55	> 0,55
Nombre de points	0	0,4	0,8	1,2

<sup>5</sup> STH : surface toujours en herbe (incluse dans la SFP ou surface fourragère principale).

♦ Les zones inondables, correspondant aux secteurs couverts par la plus forte crue connue ou par une crue de fréquence centennale, constituent un facteur aggravant du phénomène de ruissellement et sont donc prises en compte dans le score de fragilité. En France, les surfaces inondables représentent près de 7 % du territoire (Gendreau, 2003). L'indicateur "SI" prend une valeur pénalisante pour le score de fragilité dès lors que plus de 10 % du secteur est en zone inondable :

Classes de l'indicateur SI (% de la surface du secteur)	< 10 %	> 10 %
<b>Nombre de points</b>	0	0,2

❖ Le score "bassin versant", noté sur un total de 1,4 point, se calcule alors selon la formule suivante :

$$\boxed{BV = CRu + SI}$$
 avec CRu : coefficient de ruissellement moyen,  
SI : pourcentage de surface inondable.

### 3.3 Pression humaine

#### 3.3.1 Les facteurs intervenant

Les principales causes de dysfonctionnement des systèmes d'assainissement urbain à l'origine d'un déversement direct d'eaux usées dans le milieu récepteur sont :

- le sous-dimensionnement de la STEP qui peut conduire à des déversements d'eaux usées non traitées lors d'événements pluvieux importants ou d'afflux touristiques, en particulier dans le cas des réseaux unitaires,
- le mauvais état du réseau de collecte qui conduit à des débordements,
- le faible taux de collecte des eaux usées par le réseau,
- ou encore les branchements défectueux dans le cas d'un réseau séparatif.

Dans le cas de l'assainissement individuel (puisard, fosse sceptique, filtre à sable), le risque de transfert direct d'eaux usées vers le milieu est parfois plus important que dans le cas d'un assainissement collectif. Le taux de conformité généralement utilisé dans les études de zonage d'assainissement individuel n'est que de 10 % (DDAF 28, *com. pers.*). En particulier, si la date de construction des maisons non raccordées est antérieure à 1980, on peut suspecter un rejet direct vers le milieu. Cependant, la probabilité de transfert de pathogène vers le milieu est plus faible que dans le cas de l'assainissement collectif, étant donné que la probabilité de présence d'un malade dans chaque maison est moins importante que dans une agglomération (M. Legeas, *com. pers.*).

#### 3.3.2 Les indicateurs retenus

♦ La densité de population indique le niveau de pression humaine exercée sur un bassin versant. L'indicateur "Densité Humaine" (DH) rapportant l'effectif de population à la surface du secteur (données INSEE) est donc pris en compte dans le score de fragilité afin d'évaluer le niveau de probabilité de transfert de pathogènes vers le milieu récepteur littoral. Les seuils établis pour l'indicateur DH sont tirés des densités moyennes de zones côtières (RDBE, 2000). Sont pris comme références les densités de population de la région Basse-Normandie, peu densément peuplée et celle de Provence Alpes Côte d'Azur, très densément peuplée, soit respectivement 80 hab/km<sup>2</sup> et 140 hab/km<sup>2</sup> (Lavoux *et al.*, 1996).

Classes de l'indicateur DH (hab/km <sup>2</sup> )	< 80	80 à 140	> 140
<b>Nombre de points</b>	1	1,2	1,3

Les indicateurs suivants concernent les systèmes d'assainissement individuel et collectif en vue d'évaluer la probabilité de déversement des effluents urbains sans traitement vers le milieu littoral.

♦ Les installations d'assainissement individuel peuvent déverser des eaux usées vers le milieu aquatique en cas de mauvais entretien : filtres à sables non lavés, fosses sceptiques non vidangées, etc. L'indicateur "Ind", correspondant au pourcentage d'habitations non raccordées à l'assainissement collectif dans un secteur, fait donc partie du score de fragilité. En France, la part de l'assainissement autonome est importante car moins de 30 % des habitations sont situées en agglomération (INSEE). Ce pourcentage correspond à la classe maximale de l'indicateur. La population non raccordée représente un risque microbiologique moins élevé que la population raccordée à un système d'assainissement collectif (cf. plus haut). Le nombre de points associés à l'indicateur "Ind" sera donc moins important que pour les indicateurs suivants consacrés à l'assainissement collectif :

<b>Classes de l'indicateur Ind (%)</b>	< 15 %	15 à 30 %	> 30 %
<b>Nombre de points</b>	0	0,05	0,1

♦ La date de mise en service du système d'assainissement renseigne sur l'état technique et le risque de dysfonctionnement. Les performances épuratoires des stations d'épuration datant de plus de 10 ans sont plus faibles que celles des nouvelles générations, en particulier pour l'abattement microbiologique. De plus, au bout de quelques années de fonctionnement, beaucoup de STEP sont confrontées au vieillissement des installations et à des problèmes de surcharge ou de sous-capacité, pouvant conduire au non respect des normes de qualité des rejets. A partir de 10 années après la mise en service d'une STEP et l'installation d'un réseau d'assainissement, les risques de dysfonctionnements et de transfert direct des eaux usées non traitées peuvent devenir non négligeables (M. Legeas, *com. pers.*). Les indicateurs renseignant sur l'âge du réseau et de la STEP (respectivement AR et AS) prennent les valeurs suivantes :

<b>Classes des indicateurs AR et AS (an)</b>	< 5 ans	5 à 10 ans	> 10 ans
<b>Nombre de points</b>	0	0,2	0,4

♦ Des rejets ponctuels d'eaux usées non traitées peuvent avoir lieu au niveau des postes de refoulement, des déversoirs d'orage, des rejets pluviaux ou des by-pass de stations d'épuration (cf. 2.1.2). Les travaux de l'AFNOR ont établi un "indice de rejets sans traitements" égal au nombre de déversements dans le milieu récepteur (Guérin-Schneider, 2001). Afin d'obtenir une donnée comparable entre les bassins versants, l'indicateur "NR" correspond au nombre de ces rejets rapporté à la surface en km<sup>2</sup> de la zone étudiée :

<b>Classes de l'indicateur NR (nb rejets/km<sup>2</sup>)</b>	< 0,5	0,5 à 1	> 1
<b>Nombre de points</b>	0	0,05	0,1

Dans le cadre du programme "GALATE" (Gestion en Assainissement Collectif des Alertes Techniques et Environnementales), un système de diagnostic technique des postes de relèvement et de leur impact sanitaire potentiel sur les usages sensibles du Golfe du Morbihan (conchyliculture, baignade) a été mis au point. Dans ce système, seule la bande du premier kilomètre littoral, pour laquelle le délai de transfert est considéré comme critique, a été retenue comme zone d'étude (Camus *et al.*, 2003). De même, nous ne retiendrons l'indicateur "NR" que sur la zone immédiate.

♦ Certaines activités développées sur le littoral génèrent des pollutions qui, bien que globalement minoritaires dans le classement des causes de dégradation de l'ensemble du littoral, peuvent localement suffire à menacer la qualité microbiologique des eaux. Il s'agit, pour les plus importantes, des activités portuaires (Sobsey *et al.*, 2003), des campings, des activités conchylicoles et des établissements de thalassothérapie. Pour chacune de ces activités présentes sur la bande du premier kilomètre littoral, un nombre de points de 0,05 est affecté en cas de non raccordement au système d'assainissement :

Modalités de l'indicateur AA	absence	non raccordé
Nombre de points	0	0,05

❖ Le calcul du score "pression humaine", noté sur 2,8 points, s'effectue grâce à la formule suivante :

$$\text{PH} = \text{DH} \times (1 + \text{Ind} + \text{AR} + \text{AS} + \text{NR}) + \text{AA}$$

avec DP : densité de population,  
 Ind : part de l'habitat non raccordé,  
 AR : âge du réseau,  
 AS : âge de la STEP,  
 Zone immédiate { NR : nombre de rejets directs vers le milieu,  
 AA : autres activités.

### 3.4 Pression animale

#### 3.4.1 Les facteurs intervenant

Les sources potentielles d'apport de microorganismes d'origine animale au littoral sont les épandages d'effluents d'élevage, les pâturages des animaux, les rejets provenant directement des élevages, les débordements de fosse et les ruissellements au niveau des exploitations agricoles. Selon l'équipement mis en place pour le traitement et le stockage des fumiers et lisiers, l'impact sur l'environnement peut être différent.

Une augmentation du nombre d'animaux d'élevage par exploitation et par hectare de culture fourragère reflète un accroissement de la pression sur l'environnement. L'unité de gros bétail (UGB), indicateur utilisé dans le cadre de la PAC, permet d'établir une équivalence entre les différents types de bétail herbivore et de donner une indication normalisée de la pression animale sur le sol. Cependant cet indicateur n'est valable que pour les herbivores et ne permet pas de rendre compte du niveau de pollution microbiologique qui peut être associé à toutes les espèces animales.

En effet, la quantité de germes rejetés dans les fèces par les animaux varie selon l'espèce animale et le microorganisme. Sur le modèle de l'équivalent-habitant utilisé en assainissement urbain, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie a établi un équivalent-homme (EHo) correspondant à un flux journalier moyen de  $2.10^9$  *E. coli* et  $5.10^8$  SF (streptocoques fécaux). La moyenne des valeurs de pollution brute générée par animal citées dans les publications a été utilisée afin d'obtenir la pollution fécale excrétée par animal en terme d'équivalent-homme. On estime ainsi qu'un porc excrète une quantité cumulée d'*E. coli* et de streptocoques fécaux 60 fois plus élevée que celle d'un homme et qu'un bovin une quantité 7 fois supérieure (Tableau 7) (Picot, 2002 ; Dupray, 1999).

**Tableau 7.** Flux moyen journalier de GTCF excrété par espèce animale (Picot, 2002 ; Dupray, 1999).

Espèce	Flux moyen en EHo/j
homme	1

bovin	7,23
porc	65,19
mouton	6,02
volaille	0,25
cheval	0,18

### 3.4.2 Les indicateurs retenus

♦ L'équivalent-homme peut être utilisé pour rendre compte de la pollution fécale émise par l'ensemble des animaux d'élevage sur un secteur de bassin versant. Ainsi l'indicateur "DA", rapportant la charge moyenne animale en EHo à la surface de SAU du secteur, est intégré à la formule du score de fragilité. Les seuils de cet indicateur sont choisis en référence au chargement animal d'un secteur d'élevage agricole intensif bien étudié, classé en zone d'excédent structurel (ZES)<sup>6</sup> : la baie de la Fresnaye en Côtes d'Armor, dont le chargement animal est de 1880 EHo/ha SAU (Corre *et al.*, 1999).

<b>Classes de l'indicateur DA</b> (en EHo/ha SAU)	<500	500-1000	1000
<b>Nombre de points</b>	1	1,2	1,3

♦ Les installations d'élevage non mises aux normes (non conformes au PMPOA) entraînent des rejets directs d'effluents vers le milieu aquatique du fait de l'absence ou du sous-dimensionnement des fosses de stockage d'effluents et du rinçage des zones d'exercice (cf. 2.2.2). En 2000, moins de 25 % des élevages de plus de 70 UGB avaient souscrits un contrat PMPOA. Le pourcentage "No" d'élevages agricole aux normes parmi les exploitations soumises à autorisation, figure donc dans le score de fragilité. Les seuils sont fixés à 40 et 20 % d'élevages aux normes :

<b>Classes de l'indicateur No</b> (% d'élevages aux normes)	> 40 %	20 à 40 %	< 20 %
<b>Nombre de points</b>	0	0,2	0,5

♦ La circulaire ministérielle 27/12/2001, sur laquelle s'appuient les services du Ministère de l'Agriculture pour le classement en ZES des cantons agricoles, précise que la superficie potentiellement épandable ne peut excéder 70 % de la S.A.U. (Surface Agricole Utile). La moyenne nationale pour ce ratio est de 70 %<sup>7</sup> (DDAF 56, *com. pers.*). Afin de rendre compte de la part des terres pouvant recevoir des effluents d'élevage, l'indicateur "SA", égal à la SAU divisée par la surface de la zone étudiée, est donc intégré au score de pression animale selon les classes et nombre de points ci-dessous :

<b>Classes de l'indicateur SA</b> (SAU/surf zone)	> 50 %	50 à 70 %	< 70 %
<b>Nombre de points</b>	0	0,2	0,5

♦ Enfin, certaines industries agro-alimentaires, les abattoirs ou les usines d'équarrissage peuvent produire des effluents contaminés par des microorganismes pathogènes pour l'homme. Si le système d'assainissement autonome de ces structures est âgé, le niveau d'abattement microbiologique avant rejet vers le milieu naturel peut s'avérer insuffisant. Pour l'indicateur "IAA", la valeur sera non nulle dans le cas d'une STEP mise en service il y a plus de cinq ans (cf. 3.3.2) :

<sup>6</sup> Secteur où la production d'azote d'origine animale dépasse les 170 kg par hectare de superficie agricole utilisée épandable par an (Décret du 10/01/2001, article 3).

<sup>7</sup> Dans le cas où les surfaces de prairies dépassent 50 % de la SAU, ce ratio peut être majoré jusqu'à 80 % en tenant compte des parts respectives des productions herbivores et des productions hors-sol.

Classes de l'indicateur IAA (années)	< 5 ans	> 5 ans
Nombre de points	0	0,2

❖ Le score "pression animale", noté sur 2,8 comme le score "pression humaine", se calcule alors ainsi :

$$\mathbf{PA = DA \times (1 + N_0 + SA) + IAA}$$

avec DA : densité d'élevage en EHo / ha SAU,  
 No : pourcentage d'élevages agricoles aux normes,  
 SA : pourcentage de la surface occupée par la SAU,  
 IAA : STEP autonome des IAA de plus de 5 ans.

### 3.5 Facteurs météorologiques

#### 3.5.1 Les facteurs intervenant

De nombreuses études ont permis de mettre en évidence l'influence de la pluie sur la contamination microbiologique des eaux marines et des coquillages. Une étude menée sur le bassin versant de la Penzé en Finistère nord a permis d'observer une corrélation entre les pics de pluviométrie (pluie cumulée du jour et de la veille) et les pics de contamination des eaux de rivière et des coquillages élevés en aval (Piriou *et al.*, 2002). Plusieurs auteurs montrent qu'à partir d'un seuil de pluviométrie identique (hauteur d'eau supérieure à 10 mm), les précipitations cumulées du jour précédant le prélèvement participent très significativement au niveau de pollution microbiologique des eaux superficielles et marines (Beaudeau, 1999 ; Dupray *et al.*, 1999). Crowther *et al.* (2001) ont également mis en évidence une corrélation entre le niveau de contamination bactériologique des eaux des rivières et la présence de pluie, avec une réponse à des lames d'eau plus faibles pour les bassins urbanisés, du fait du plus fort ruissellement.

Le ruissellement est favorisé par une saturation en eau des couches superficielles du sol. Dans ce contexte, le transfert des microorganismes est permanent. L'état hydrique des sols, conditionné en partie par l'intervalle entre les événements pluvieux, est utilisé pour caractériser l'aptitude des sols à l'épandage d'effluents animaux (Guiziou *et al.*, 1994). L'intervalle entre deux périodes pluvieuses conditionne également le transfert des pesticides.

Parmi les facteurs météorologiques au niveau du bassin versant pouvant intervenir sur la survie des microorganismes, la température et l'ensoleillement sont fréquemment cités. Cependant, dans les études réalisées, ces facteurs sont généralement négligeables par rapport à la pluviométrie dans la contribution au transfert des microorganismes le long d'un bassin versant (Tillaut, 2002 ; Dupray *et al.*, 1999 ; Cemagref, 1996).

#### 3.5.2 Formule retenue

♦ La pluviométrie, qui peut conduire au transfert rapide des microorganismes par ruissellement sur les bassins versants, est intégrée au score de fragilité microbiologique. Sur la base des résultats présentés ci-dessus, l'indicateur "P<sub>10</sub>", le nombre moyen annuel de pluies journalières dépassant le seuil de 10 mm (représentant une pluie importante), est sélectionné. Pour une bonne représentativité, le calcul est fondé sur une série chronologique de données (moyenne interannuelle), provenant de la station météorologique la plus proche. Pour cette étude, les seuils de l'indicateur sont fixés à partir de données des stations météorologiques de Brest, zone ayant une forte pluviométrie annuelle, et de Caen, ayant une

pluviométrie annuelle moyenne, et pour lesquelles  $P_{10}$  est respectivement de 36 et de 17 jours par an (moyenne 1961-1990) :

Classes de l'indicateur $P_{10}$ (nb de j/an de pluie > 10 mm)	< 15 j.	15 à 30 j.	> 30 j.
<b>Nombre de points</b>	0	0,5	1

♦ Les pluies qui surviennent après plusieurs jours secs sont particulièrement polluantes. Le nombre de séquences de plus de 10 jours consécutifs sans pluie importante (moins de 1 mm) est utilisé par Météo France afin de caractériser les périodes de sécheresse (Jan, 2003). En France, l'année 1976 a été marquée en moyenne par 3 mois sans pluie importante, soit 9 séquences de 10 jours. Nous retenons l'indicateur Sec avec les classes suivantes :

Classes de l'indicateur Sec (nb de séquences 10 j sans pluie)	< 4	4 à 6	> 6
<b>Nombre de points</b>	0	0,5	1

❖ Le score "météo", au maximum de 2 points, se présente sous la forme ci-dessous :

$$\boxed{\text{MET} = P_{10} + \text{Sec}}$$

avec  $P_{10}$  : nombre moyen annuel de pluies journalières > 10 mm,  
 Sec : nombre de séquences de plus de 10 jours sans pluie.

## 3.6 Milieu récepteur littoral

### 3.6.1 Les facteurs intervenant

Au niveau de la zone conchylicole, les conditions hydrodynamiques rencontrées, en particulier l'aptitude du milieu marin à disperser les flux de pollution, conditionnent le niveau de dilution des microorganismes (cf. 2.4.1).

La texture du sédiment marin (sable, vase ou argile) reflète la quantité et la qualité de sa contamination microbiologique. Les zones envasées présentent par exemple des propriétés de concentration des polluants. Toutefois, la capacité de dilution physique joue un rôle primordial dans la dispersion des contaminants (Crenn *et al.*, 1999). De plus, la nature du faciès sédimentaire est une donnée qui n'est pas systématiquement disponible et pour laquelle la précision est très inégale sur le littoral français. Cette information ne peut donc être qu'un indicateur de niveau 2. **Seule la capacité de dilution sera retenue dans notre étude pour caractériser la sensibilité du milieu littoral aux contaminations microbiologiques** (Agence de l'eau, 2003).

### 3.6.2 Les indicateurs retenus

La sensibilité physique du milieu littoral récepteur (capacité de dilution) reflète son aptitude naturelle à accumuler les apports du bassin versant, ou au contraire à les disperser au-delà de ses limites. Des travaux menés à partir de données cohérentes sur l'ensemble du littoral français ont permis d'établir une classification hydrodynamique des eaux côtières (Agence de l'Eau, 2003 ; RBDE, 2000). Pour décrire la sensibilité physique du milieu littoral, les quatre indicateurs cités ci-dessous et les seuils correspondants sont les paramètres utilisés dans ces études.

♦ La morphologie de la côte ou "type de milieu" (Ty) est un paramètre important. En effet, l'exposition des eaux littorales à la houle est plus ou moins forte selon la géomorphologie. Ainsi, un aber se trouve généralement moins exposé qu'une baie. Les classes de l'indicateur "type de milieu" (Ty) et les nombres de points correspondants sont les suivants :



<b>Modalités de l'indicateur Ty</b>	exposé	semi-exposé	abrité
<b>Nombre de points</b>	0	0,6	1,2

♦ Le courant résiduel "CRé" est représentatif de la dynamique à long terme (échelle de temps supérieure à la marée) et de la capacité dispersive des masses d'eau. Le courant résiduel de marée détermine directement le temps de renouvellement des eaux marines. Dans certains secteurs, malgré un ample déplacement, les particules reviennent à leur point de départ au bout d'une période de marée. Ces zones présentent une circulation résiduelle de marée quasi-nulle et le temps de résidence des particules d'eau peut y être très long (Menesguen, 1991).

Dans les mers sans marée et dans les lagunes, par exemple en Méditerranée, le courant résiduel exprime le courant moyen à des échelles de temps supérieures à la journée. Le vent et les courants océaniques sont alors les moteurs du renouvellement des eaux. En effet, plusieurs études ont montré une forte corrélation positive entre la force et la direction du vent dominant et la contamination fécale de l'eau et des coquillages (Le Bec, 1999).

Selon les travaux de l'Agence de l'Eau, trois classes sont définies, correspondant à un courant résiduel fort (> 4 cm/s), moyen (2 à 4 cm/s) et faible (< 2 cm/s) (Agence de l'Eau, 2003) :

<b>Modalités de l'indicateur CRé</b>	fort	moyen	faible
<b>Nombre de points</b>	0	0,6	1,2

♦ L'indice de stratification "IS" est également retenu en tant qu'indicateur. Au niveau littoral, les eaux douces rejetées sont mêlées aux eaux marines grâce à l'action des courants. En cas de mélange vertical faible, les eaux douces ou peu salées restent confinées dans la couche supérieure de la mer et sont susceptibles de se propager plus loin vers le large. Plus le mélange est important, plus les microorganismes sont soumis à des valeurs de salinité défavorables à leur survie et surtout plus leur dilution est forte et donc leur concentration faible. La capacité des courants à assurer un mélange vertical entre eau douce et eau marine est bien représentée par l'indice de stratification "IS" (Allen, 1972). L'indicateur IS comporte trois classes, établies à l'aide du paramètre de Simpson et Hunter<sup>8</sup> :

<b>Modalités de l'indicateur IS</b>	faible	moyen	fort
<b>Nombre de points</b>	0	0,6	1,2

♦ Les panaches fluviaux des grands fleuves (PF) sont susceptibles d'influencer l'écosystème sur des distances importantes. Les eaux conchylicoles étudiées peuvent être fortement impactées par les estuaires de fleuves non inclus dans la zone d'étude. Des modèles hydrodynamiques 3D permettent de déterminer le devenir des eaux fluviales (Cugier *et al.*, 2002). Les travaux de l'Agence de l'eau ont conduit à fixer un seuil de dessalure de 2 psu<sup>9</sup> durant la moitié de l'année pour considérer l'influence d'un panache fluvial :

<b>Modalités de l'indicateur PF</b>	absence	présence
<b>Nombre de points</b>	0	0,4

❖ Le score "milieu littoral", noté sur 4, est alors obtenu par le calcul détaillé ci-dessous :

$$\boxed{ML = Ty + CRé + IS + PF}$$

avec Ty : type de milieu littoral (exposition),  
 CRé : courant résiduel moyen,  
 IS : indice de stratification,  
 PF : panache fluvial.

<sup>8</sup>  $\log_{10}(H/U^3)$  : paramètre caractérisant la capacité des courants de marée à mélanger verticalement la colonne d'eau. H : hauteur d'eau et U : vitesse, calculés à partir d'un modèle hydrodynamique IFREMER DEL/AO (Simpson & Hunter, 1974. Fronts in the Irish sea. Nature, 250 : 404-406).

<sup>9</sup> Une baisse de salinité de 1 psu correspond à un pourcentage d'eau douce de 1/35,5, soit environ 2 %.

Par ailleurs, plus les zones d'élevage conchylicole sont éloignées de la côte, plus l'exposition à la houle et la capacité de dilution du milieu littoral sont importantes (Bodoy, 1993). Dans le cas des zones d'élevage situées au large (distance > 1 mille), le score ML est donc affecté d'un coefficient de pondération de 0,5, sous réserve qu'il n'y ait pas d'impact de panache fluvial à cette distance de la côte.

### 3.7 Calcul du score de fragilité microbiologique

Pour chacune des trois zones ( $Z_1$  [0-1 km],  $Z_2$  [1-5 km] et  $Z_3$  >5 km]), le score de fragilité, noté sur 7 points, est calculé selon les formules ci-dessous. Seuls les scores BV, PH et PA sont à considérer car, étant donnée leur définition, les scores MET et ML sont invariables sur une même zone d'étude.

$$\boxed{Z_1 = BV_1 + PH_1 + PA_1} \text{ pour la zone immédiate,}$$

$$\boxed{Z_2 = BV_2 + PH_2 + PA_2} \text{ pour la zone rapprochée,}$$

$$\boxed{Z_3 = BV_3 + PH_3 + PA_3} \text{ pour la zone éloignée.}$$

Afin de rendre compte du moindre impact des secteurs les plus à l'amont du bassin versant (zone rapprochée et zone éloignée), les scores de fragilité sont affectés d'un coefficient multiplicateur de pondération de 0,7 pour  $Z_2$  et 0,3 pour  $Z_3$  (cf. 3.1.2). Le score de fragilité final ( $SF_{total}$ ) est composé de l'addition des trois scores pondérés ( $Z_1$ ,  $Z_2$  et  $Z_3$ ) et des scores MET et ML. Le nombre de points maximal est alors de 20 :

$$\boxed{SF_{total} = Z_1 + 0.7 \times Z_2 + 0.3 \times Z_3 + MET + ML}$$

Sur le total des 20 points du score de fragilité, les cinq composantes pèsent différemment selon leur effet sur le transfert de microorganismes :

- pour refléter l'importance des rejets anthropiques, le poids le plus fort est affecté aux scores PH et PA. Le nombre de points fixé est le même (5,8 points) pour les indicateurs de pression humaine et animale afin de comparer la portée relative des deux sources de microorganismes,
- la forte influence de la capacité dispersive du milieu littoral (ML) est représentée par un score de 4 points,
- le rôle du ruissellement (BV), phénomène majeur de transfert des microorganismes le long d'un bassin versant, compte pour 2,8 points sur le score de fragilité,
- un poids de 2 points est affecté au score MET pour considérer l'effet de la pluviométrie.

### 3.8 Interprétation du score de fragilité microbiologique

#### 3.8.1 Score de fragilité total

Sur un nombre de points maximum de 20, le score total de fragilité d'une zone d'étude détermine, selon sa valeur, le niveau de **fragilité intrinsèque** lié aux caractéristiques physiques du milieu terrestre et littoral et aux pressions humaines et animales, vis-à-vis des risques avérés ou potentiels de contamination microbiologique. Le degré de fragilité

microbiologique des zones conchylicoles à l'aval des bassins étudiés se qualifie comme suit (Tableau 8) :

**Tableau 8.** Interprétation du score de fragilité par secteur du bassin versant.

Valeur du score de fragilité		Classe	Degré de fragilité microbiologique
Z <sub>1</sub> , Z <sub>2</sub> ou Z <sub>3</sub> max. 7	SF <sub>total</sub> max. 20		
< 3,5	< 9		Faible fragilité
3,5 à 4,5	9 à 12		Fragilité moyenne
4,5 à 6	12 à 16		Forte fragilité
> 6	> 16		Très forte fragilité

### 3.8.2 Facteurs critiques

Les scores de fragilité des trois zones (Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> et Z<sub>3</sub>) donnent une image de l'occupation et des pressions s'exerçant de l'amont à l'aval du bassin versant. L'interprétation du score de fragilité se poursuit par l'analyse de chacune de ses cinq composantes, dans le but d'identifier le ou les facteurs critiques. En particulier, les valeurs des scores "pression humaine" et "pression animale" peuvent être comparées afin de déterminer si la source potentielle de pollution microbiologique sur le bassin versant est majoritairement animale ou humaine. L'analyse peut ensuite être orientée vers des considérations plus techniques afin de mettre en évidence des facteurs explicatifs de la fragilité (âge du réseau d'assainissement, date de mise en service de la STEP, part d'élevages agricoles hors normes, etc.).

### 3.8.3 Appréciation du score de fragilité par rapport aux données microbiologiques

Nous avons ensuite apprécié le score de fragilité par rapport aux résultats obtenus pour l'indicateur *E. coli* (réseau REMI de 1998 à 2002) et également pour les virus, bien qu'ils ne fassent l'objet de prélèvements systématiques. En plus du classement sanitaire, ces données renseignent sur le niveau et la récurrence des contaminations des zones conchylicoles. Comparés au score de fragilité, les résultats microbiologiques obtenus ouvrent une discussion sur :

- la fiabilité de l'indicateur *E. coli*,
- la validité du score de fragilité,
- la pertinence des indicateurs sélectionnés pour la construction du score.

## 4 Application à quelques bassins tests

Afin d'en apprécier la sensibilité, le système de score décrit dans le chapitre précédent est appliqué dans un premier temps à un bassin versant théorique.

Le score de fragilité est ensuite testé sur plusieurs secteurs conchylicoles du littoral français. Le principal critère de choix des bassins tests a été la quantité de données disponibles. Les secteurs conchylicoles sélectionnés ont fait l'objet d'études approfondies, parfois suite à des épisodes récurrents de contamination microbiologiques. Les quatre bassins tests couvrent des secteurs géographiques bien différents, constituant un échantillon que l'on peut considérer comme relativement représentatif du littoral français :

- Normandie, Est Cotentin : anse du Cul de Loup à St-Vaast-la-Hougue,
- Bretagne, rade de Brest : baie de Lanveur,
- Bretagne, golfe du Morbihan : secteur de Vannes-Arradon,
- Méditerranée, Languedoc Roussillon : nord de l'étang de Thau.

### 4.1 Analyse de la sensibilité du score de fragilité

#### 4.1.1 Description du bassin versant théorique

Prenons l'exemple d'un bassin conchylicole très sensible à la contamination microbiologique. Nous ciblerons l'analyse de la sensibilité sur la zone immédiate (surface de 40 km<sup>2</sup>) du bassin versant attenant, caractérisée par une pression humaine et animale très élevée. Dans cette étude de cas théorique, nous ne nous intéresserons qu'aux paramètres pouvant varier par la mise en œuvre d'aménagements. Les scores MET et ML sont considérés comme invariables.

❖ **Score "bassin versant"** : la zone immédiate est occupée par des terres agricoles cultivées de manière intensive (avec 30 % de maïs ; moins de 50 % de prairies) sur sol argileux, ce qui correspond à un coefficient de ruissellement de 0,55. On suppose que plus de 10 % de la surface est inondable :

$$\boxed{BV = CRu_{(1,2)} + SI_{(0,2)} = 1,4}$$

❖ **Score "pression humaine"** : le réseau et la STEP de l'agglomération datent de plus de 10 ans. 30 % des habitations ne sont pas raccordées au système d'assainissement collectif. La densité de population est de 145 hab/km<sup>2</sup> et la zone compte 44 rejets directs au littoral (1,1/km<sup>2</sup>). Un port de plaisance et un camping non raccordés se situent sur le littoral :

$$\boxed{PH = DH_{(1,3)} \times (1 + Ind_{(0,1)} + AR_{(0,4)} + AS_{(0,4)} + NR_{(0,1)} + AA_{(0,1)}) = 2,7}$$

❖ **Score "pression animale"** : la SAU occupe 3000 ha, soit 75 % de la surface de la zone immédiate. Le cheptel, d'une densité de 1000 EHo/ha de SAU est composé de 5/6<sup>ème</sup> de bovins et de 1/6<sup>ème</sup> d'ovins (resp. 346 000 et 83 000 animaux). Moins de 20 % des élevages sont mis aux normes :

$$\boxed{PA = DA_{(1,3)} \times (1 + No_{(0,5)} + SA_{(0,5)}) + IAA_{(0)} = 2,6}$$

❖ On a alors :  $\boxed{Z_1 = BV_{(1,4)} + PH_{(2,7)} + PA_{(2,6)} = 6,7}$

Le score de fragilité  $Z_1$  obtenu, supérieur à 6 points, correspond à une **très forte fragilité microbiologique**.

#### 4.1.2 Sensibilité des indicateurs

Le Tableau 9 rend compte de l'effet sur le score de fragilité  $Z_1$  de la mise en œuvre d'un scénario de mesures correctives successives au niveau de la zone immédiate théorique.

**Tableau 9.** Effet des mesures correctives sur le score de fragilité du bassin versant théorique.

Facteur modifié	Mesure corrective	$Z_1$ initial	Effet sur le score de fragilité total	$Z_1$ après la mesure	Degré de fragilité microbiologique obtenu
Pression Humaine	Mise en service d'une nouvelle STEP	<b>6,7</b>	$\Delta Z_1 = - 0,52$	6,18	<b>très forte</b>
Pression Humaine	Réfection des réseaux d'assainissement	<b>6,18</b>	$\Delta Z_1 = - 0,52$	5,66	<b>forte</b>
Pression Animale	Mise aux normes de plus de 40 % des élevages agricoles	<b>5,66</b>	$\Delta Z_1 = - 0,65$	5,01	<b>forte</b>
Pression Animale	Diminution de 20 % des surfaces épandables	<b>5,01</b>	$\Delta Z_1 = - 0,65$	4,36	<b>moyenne</b>
Pression Humaine	Raccordement de plus de 90 % des habitations	<b>4,36</b>	$\Delta Z_1 = - 0,13$	4,23	<b>moyenne</b>
Pression Humaine	Raccordement du camping et du port de plaisance	<b>4,23</b>	$\Delta Z_1 = - 0,1$	4,13	<b>moyenne</b>
Pression Humaine	Diminution du nombre de rejets directs (moins de 20)	<b>4,13</b>	$\Delta Z_1 = - 0,13$	4	<b>moyenne</b>
Bassin Versant	Augmentation des surfaces de prairies (>50% de la zone)	<b>4</b>	$\Delta Z_1 = - 0,65$	<b>3,2</b>	<b>faible</b>

♦ On considère dans notre exemple que les aménagements concernent dans un premier temps le système d'assainissement. La mise en service d'une nouvelle STEP ne suffit pas à diminuer suffisamment le score ( $\Delta Z_1 = - 0,52$ ) pour atteindre le niveau de fragilité inférieur. Par contre, si cette mesure est complétée par la réfection du réseau d'assainissement, la baisse du score est significative et la zone passe alors de la classe "très forte fragilité" à la classe "forte fragilité".

♦ En plus d'une forte pression humaine, le bassin versant théorique choisi est occupé par une activité d'élevage intensif. Une série de mesures de gestion agricoles est donc testée afin d'observer une baisse supplémentaire du score de fragilité. La mise aux normes des élevages (passage de 20 à 40 %) permet une diminution du score de fragilité de 0,65 points, cependant insuffisante pour atteindre le niveau de fragilité inférieur. La réduction des surfaces épandables (de 75 à 50 % de SAU sur la zone immédiate), qui supposerait le traitement des effluents, conduit à une baisse identique et permet de passer à une fragilité moyenne.

♦ Après l'observation de l'effet de mesures d'aménagement globales, la sensibilité du score de fragilité aux aménagements plus ponctuels est testée. Le raccordement d'un grand nombre d'habitations et du camping au système d'assainissement collectif, complété par une réduction du nombre de rejets directs au littoral baisse encore le score de fragilité. Mais seule une mesure de gestion importante peut permettre d'atteindre un niveau de faible fragilité microbiologique. En effet, si l'on suppose que les surfaces de maïs sont remplacées par des prairies, le coefficient de ruissellement diminue de manière significative et permet d'atteindre un niveau de faible fragilité microbiologique. Cependant, cette dernière mesure est difficilement transposable à la réalité car elle impliquerait un changement des axes de développement agricole.

❖ Cet exemple théorique d'un bassin versant soumis à des pressions anthropiques très importantes permet d'illustrer la sensibilité du score de fragilité microbiologique aux

variations des indicateurs qui le composent. L'application d'actions correctives, visant à réduire l'impact des rejets humains et animaux, conduit logiquement à une diminution du nombre de points.

Dans le cas d'aménagements importants, par exemple la rénovation du système d'assainissement, la baisse est significative et peut se traduire par le passage à un niveau de fragilité inférieur. Cette sensibilité du score de fragilité correspond relativement bien à la réalité et plusieurs cas concrets illustrent le rôle joué par le système d'assainissement sur la qualité microbiologique du littoral. Le secteur conchylicole de la baie de Morlaix (Finistère) a vu son classement sanitaire passer de B en 1997 à A en 2000, après réduction des rejets diffus et restructuration de la station d'épuration de la ville de Morlaix (Guillaud *et al.*, 1999). A Vannes, depuis la fermeture de la STEP de Kermain et la mise en service de la nouvelle station de Tohannic en mars 1997, la qualité des eaux conchylicoles s'est sensiblement améliorée. L'amélioration du rendement de la station d'épuration a également bénéficié aux eaux de baignade puisque la charge en coliformes a été diminuée d'environ 50 fois (Camus *et al.*, 2003). Il serait intéressant de tester le score de fragilité sur ces deux zones qui ont vu la teneur en *E. coli* de leurs eaux diminuer suite à des améliorations du système d'assainissement

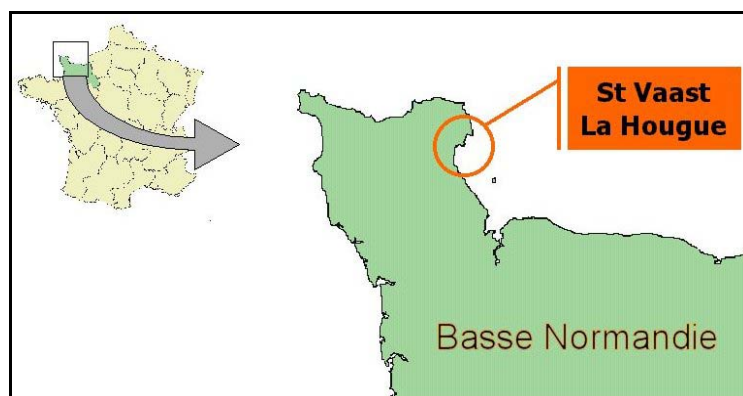
L'application à plusieurs bassins test est ensuite nécessaire pour ajuster le modèle du score de fragilité à partir de cas concrets.

## 4.2 L'anse du Cul de Loup (Est Cotentin)

### 4.2.1 Présentation et délimitation de la zone d'étude

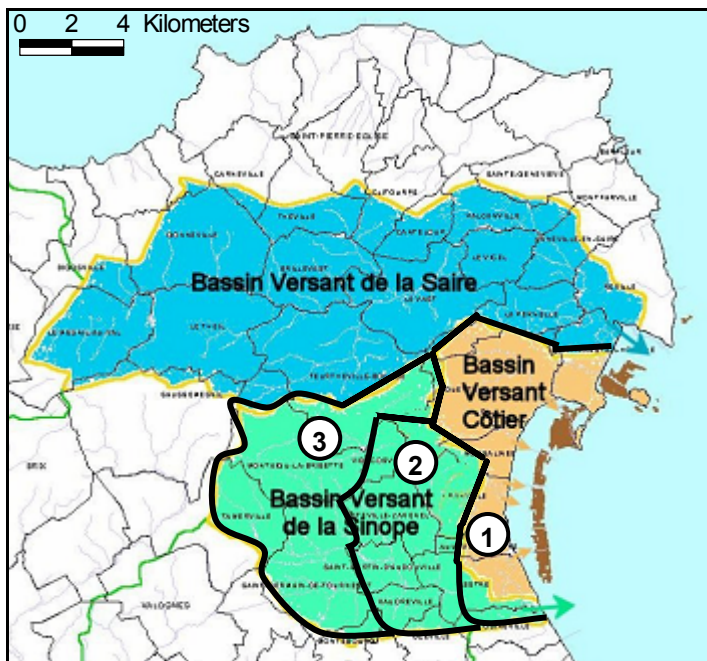
La zone d'étude choisie est située dans le département de la Manche, dans l'Est Cotentin entre les communes de Saint-Vaast-la-Hougue et Lestre (Figure 4). Le choix de la zone s'est porté sur cette région littorale où la présence, à certaines saisons, de virus entériques dans les coquillages a été observée depuis mars 2001 (Picot, 2002). Le bassin versant côtier qui alimente le secteur est de taille limitée (superficie de 28 km<sup>2</sup>). Il est situé entre les bassins versants de la Saire et de la Sinope.

Dans l'anse du Cul de Loup, les conchyliculteurs pratiquent l'élevage des huîtres en surélevé. Pour ce secteur, les stocks ont été estimés à 14 464 tonnes dont 2/3 commercialisables, soit 9 à 10 000 t (données IFREMER/SRC Normandie Mer du Nord).



**Figure 4.** Localisation de St-Vaast-la-Hougue et des bassins versants du Cul de Loup. Délimitation des trois zones d'étude (1 = immédiate, 2 = rapprochée, 3 = éloignée).





Le premier modèle hydrodynamique développé par l'IFREMER de Brest pour le littoral normand permet de reproduire les phénomènes de courantologie et de dispersion (maillage 400 m). Les simulations hydrodynamiques réalisées en 2002 pour l'anse du Cul de Loup montrent que les apports locaux (bassin versant côtier) sont majoritairement responsables de la contamination microbiologique du secteur. La contamination par le panache issu du bassin versant de la Sinope semble relativement faible par rapport à celui du bassin versant côtier, mais non négligeable. En revanche, la contribution des apports du bassin versant de la Saire est négligeable, certainement du au fait que cette rivière se rejette dans une zone marine de très forts courants résiduels (Picot, 2002). Ce premier modèle est actuellement transformé en un modèle à petite maille qui sera appliqué au secteur à la fin 2003.

Pour appliquer le score de fragilité, trois secteurs ont été délimités en fonction de leur éloignement à la côte et des résultats obtenus par le modèle hydrodynamique (Figure 4). La zone immédiate est choisie en fonction de sa proximité du littoral et de sa contribution majoritaire aux flux de contamination. Elle regroupe le bassin versant côtier, ainsi que la frange littorale du bassin versant de la Sinope. La zone rapprochée est composée du territoire du bassin versant de la Sinope éloigné de 2 à 6 kilomètres de la côte. Enfin, la zone éloignée correspond au territoire le plus à l'amont du bassin versant de la Sinope, d'une distance maximale de 9,5 kilomètres de la côte.

#### 4.2.2 Application du score de fragilité

a) Calcul du score de fragilité (cf. Annexe 5)

❖ **Score "bassin versant"** : la détermination du coefficient de ruissellement à partir de la pente, du type de la couverture du sol, a permis d'obtenir une valeur moyenne relativement faible de 0,5, correspondant aux informations fournies par une étude de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN) (Martel, 1996). Les temps de concentration calculés sont de 4h20 pour le bassin versant côtier et de 12h30 pour le bassin versant de la Sinope.

❖ **Score "pression humaine"** : la densité de population des secteurs d'étude va de 30 à 98 habitants au km<sup>2</sup>, ce qui est conforme à la moyenne régionale de 81 hab/km<sup>2</sup> (données INSEE, 1999).

En attendant la mise en service de la nouvelle station d'épuration de Saint-Vaast-La-Hougue/Quettehou en septembre 2003, la STEP actuelle fonctionne par boues activées, avec une capacité de l'ordre de 8600 Equivalent-habitants. Une STEP à lagunage dont la capacité ne dépasse pas 350 EH est localisée à Quinéville. La STEP de Saint-Vaast/Quettehou, construite en 1978, est aujourd'hui obsolète et sous-dimensionnée. Cela entraîne des situations de surcharge fréquentes, notamment en été et par conséquent la détérioration de la qualité des rejets. Par ailleurs, l'absence de bassin d'orage entraîne des débordements fréquents de la station par le by-pass, par exemple lors de fortes pluies.

En raison de l'habitat dispersé et rural, les raccordements à des réseaux d'assainissement collectifs ne sont pas réalisés pour une grande partie des habitations du secteur d'étude. D'après les études diagnostic réalisées par la SOGETI et la SETEGUE en 1999 et 2000, l'assainissement individuel concerne plus du quart des habitations et comporte par ailleurs des dysfonctionnements dans 60 à 70 % des cas (cf. Picot, 2002).

❖ **Score "pression animale"** : dans la zone d'étude, l'élevage, essentiellement de bovins, s'est développé dans le secteur côtier proche du littoral. Cependant, au vu du recensement agricole de 2000, le chargement animal reste modéré et le secteur n'est pas classé en ZES. Une étude de l'AESN montre que la part des élevages aux normes est d'environ 15 % seulement (Martel, 1996). La SAU est essentiellement composée de prairies et la part de maïs est faible, ce qui est le signe d'un élevage relativement peu intensif.

❖ **Score "météo"** : l'analyse des données de la station météorologique de St-Vaast-la-Hougue fournit un nombre moyen de pluies journalières de plus de 10 mm de 67 jours par an, ce qui en fait une zone d'étude où les fortes pluies sont récurrentes. On dénombre annuellement moins de 3 séquences de 10 jours sans pluie (moyennes 1997-2002).

❖ **Score "milieu littoral"** : entre St-Vaast et Barfleur, les indentations de la côte expliquent que les courants soient partout plus ou moins giratoires. L'anse du Cul de Loup est bien abritée par le banc de St-Marcouf qui protège la côte des houles du large. Le renouvellement des eaux marines s'y fait assez rapidement. Les forts courants de marée de la Manche ont pour effet de mélanger les eaux à toutes les profondeurs ; l'indice de stratification des eaux est donc très peu élevé. Entre la baie des Veys et St-Vaast, la salinité peut descendre à moins de 33 ‰. Cependant, les apports d'eau douce sont faibles par rapport à la masse d'eau marine. Les fonds à faible pente sont constitués de sable fin plus ou moins vaseux et coquillier (IFREMER/Port en Bessin).

Les formules du score de fragilité sont donc :

$$\diamond BV_1 = CRu_{(0)} + SI_{(0)} = 0$$

$$PH_1 = DH_{(1,2)} \times (1 + Ind_{(0,1)} + AR_{(0,4)} + AS_{(0,4)} + NR_{(0,05)}) + AA_{(0,15)} = 2.49$$

$$PA_1 = DA_{(1)} \times (1 + No_{(0,5)} + SA_{(0,5)}) + IAA_{(0)} = 2$$

$$\boxed{Z_1 = BV_{(0,8)} + PH_{(2,49)} + PA_{(2)} = 5.29}$$

$$\diamond BV_2 = CRu_{(0)} + SI_{(0)} = 0$$

$$PH_2 = DH_{(1)} \times (1 + Ind_{(0,1)} + AR_{(0,4)} + AS_{(0,4)} + NR_{(0,05)}) + AA_{(0)} = 1.95$$

$$PA_2 = DA_{(1)} \times (1 + No_{(0,5)} + SA_{(0,5)}) + IAA_{(0)} = 2$$

$$\boxed{Z_2 = BV_{(0)} + PH_{(1,95)} + PA_{(2)} = 3.95}$$

$$\diamond BV_3 = CRu_{(0)} + SI_{(0)} = 0$$

$$PH_3 = DH_{(1)} \times (1 + Ind_{(0,1)} + AR_{(0,4)} + AS_{(0)} + NR_{(0)}) + AA_{(0)} = 1.5$$

$$PA_3 = DA_{(1)} \times (1 + No_{(0,5)} + SA_{(0,5)}) + IAA_{(0)} = 2$$

$$\boxed{Z_3 = BV_{(0)} + PH_{(1,5)} + PA_{(2)} = 3.5}$$



$$\diamond \text{ MET} = P_{10(1)} + \text{Sec}_{(0)} = 1 \text{ et } \text{ML} = \text{Ty}_{(1,2)} + \text{CRé}_{(0,6)} + \text{IS}_{(0)} + \text{PF}_{(0,4)} = 2.2$$

$$\text{D'où : SF} = Z_{1(5,29)} + 0.7 Z_{2(3,95)} + 0.3 Z_{3(3,5)} + \text{MET}_{(1)} + \text{ML}_{(2,2)} = 12.30$$

### b) Interprétation du score de fragilité

Pour la zone d'étude de l'anse du Cul de Loup, la valeur du score de fragilité obtenu est de 12,3, ce qui correspond à une **zone conchylicole de forte fragilité** du point de vue des pollutions microbiologiques.

**Tableau 10.** Composition du score de fragilité pour les secteurs de l'anse du Cul de Loup.

Score	BV	PH	PA	Z <sub>i</sub>	MET	ML	SF <sub>total</sub> Zone d'étude
Note maximale	1.4	2.8	2.8	7	2	4	20
<b>Zone immédiate</b>	0.8	2.49	2	<b>5.29</b>			<b>12.30</b>
<b>Zone rapprochée</b>	0	1.95	2	<b>3.95</b>	1	2.2	
<b>Zone éloignée</b>	0	1.5	2	<b>3.5</b>			

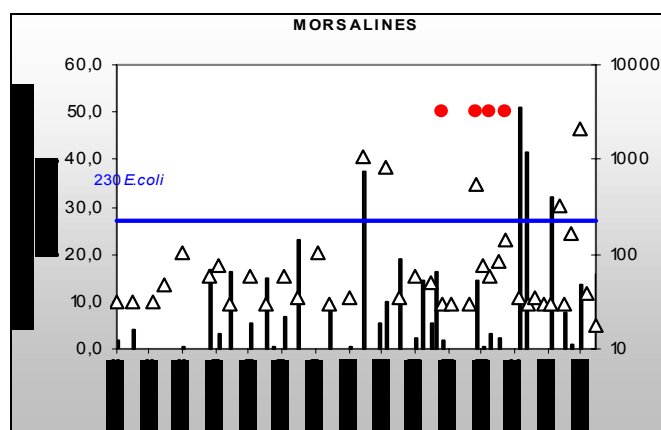
L'analyse des composantes du score (Tableau 10) pour les trois zones particulières montre que la fragilité microbiologique s'explique en majeure partie par une forte pression humaine au niveau de la zone immédiate. La valeur élevée du score "pression humaine" dans ce secteur littoral est principalement due à l'âge du système d'assainissement.

La densité animale sur les bassins versants est relativement peu importante, mais la faible part d'élevage aux normes pèse sur le score de fragilité.

### 4.2.3 Résultats microbiologiques de la zone conchylicole

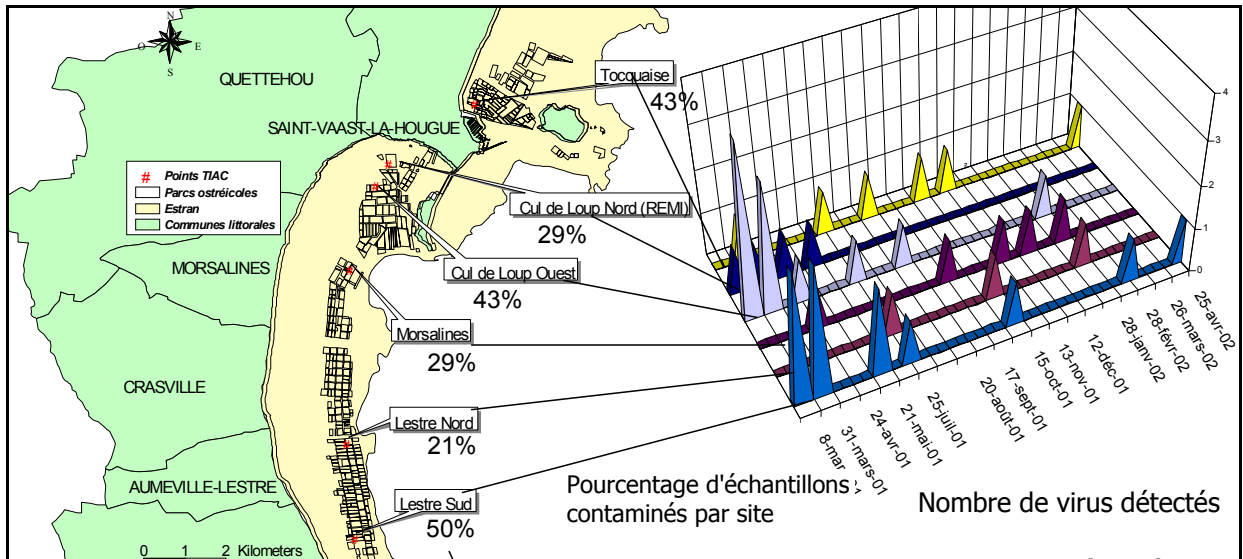
Les résultats microbiologiques fournis par le réseau REMI de janvier 1998 à novembre 2002 des zones conchylicoles de l'anse du Cul de Loup sont repris sur la Figure 5. Pour cette période, deux secteurs sont de niveau B et un secteur est de niveau A concernant l'exploitation des bivalves non fousseurs. L'ensemble des mesures reflète des contaminations par *E. coli* relativement faibles. Aucune corrélation entre la pluie et les données de mesures colimétriques n'apparaît, certainement en raison du faible nombre de données bactériologiques exceptionnelles, du pas d'échantillonnage et du faible nombre de données bactériologiques correspondant à une pluie élevée. En outre, les contaminations les plus importantes ne coïncident pas avec les épisodes épidémiques enregistrés au sein de la population du secteur d'étude.

Point REMI huîtres	<i>E.coli</i> /100g CLI	% analyses	Niveau de classement sanitaire
<b>Cul de Loup</b> 41 analyses (période 98-02)	<230	88	<b>B</b> 1 résultat déclassant de A en B
	230-1000	10	
	1000-4600	2	
	4600-46000	0	
<b>Morsalines</b> 39 analyses (période 98-02)	<230	87	<b>B</b> 2 résultats déclassant de A en B
	230-1000	8	
	1000-4600	5	
	4600-46000	0	
<b>Lestre sud</b> 40 analyses (période 98-02)	<230	90	<b>A</b>
	230-1000	10	
	1000-4600	0	
	4600-46000	0	



**Figure 5.** Données REMI concernant la zone conchylicole de l'anse du Cul de Loup. Détail des analyses pour Morsalines (triangles : *E. coli*/100g CLI; points rouges : déclaration de TIAC dans la population) (IFREMER/Quadrigé).

Suite à un épisode de TIAC d'origine virale durant l'hiver 2000-2001, pour lequel des coquillages de l'anse du Cul de Loup furent suspectés, une étude a débuté en mars 2001 (programmes IFOP et AQS). Depuis, des prélèvements mensuels de coquillages sont réalisés sur 6 sites. Cinq types de virus sont systématiquement recherchés par RT-PCR<sup>10</sup> : VHA, entérovirus, NV, astrovirus et rotavirus. Les résultats de l'année 2001-2002 mettent en évidence une contamination virale de fond qui subsiste toute l'année, caractérisée par des multi-contaminations importantes (Figure 6). De mars 2001 à mars 2003, parmi les 75 échantillons analysés, plus de 50 % ont été positifs pour au moins un virus. Le calicivirus (NV) était le plus fréquent avec 24 % des échantillons positifs. Le VHA a été détecté dans 7 % des cas (Parmondeau, *com. pers.*).



**Figure 6.** Pourcentage d'échantillons contaminés par au moins un virus, pour chaque site de prélèvement. Nombre de virus détectés, sur les 5 virus recherchés, par site, et par campagne de prélèvement (programme AQS in Picot, 2002).

Malgré des résultats bactériologiques satisfaisants pour *E. coli*, les coquillages du secteur de St-Vaast-La-Hougue peuvent donc être contaminés de façon récurrente par des virus pathogènes. **Contrairement au classement sanitaire, le score calculé correspondant à une forte fragilité traduit bien la sensibilité du secteur aux contaminations virales.**

Les travaux de construction d'une nouvelle station à St-Vaast/Quettehou, dimensionnée pour palier à tout problème de surcharge, ont débuté en septembre 2002 (station opérationnelle en septembre 2003). On peut supposer que les problèmes de rejets de pollution liés à la station elle-même seront ainsi en grande partie résolus. Cependant, si les travaux ne portent pas sur la réfection du réseau d'assainissement, des déversements d'eaux usées non traitées pourront subsister. Dans le cas du renouvellement de la STEP, le score de la zone immédiate passerait de 5,29 à 4,81 correspondant toujours à une forte fragilité. Une réfection des réseaux d'assainissement permettrait d'observer une baisse plus significative du score qui passerait alors à 4,33 correspondant à une fragilité microbiologique moyenne (cf. 3.8).

Les mesures de gestion pourraient être également être ciblées sur la mise aux normes des élevages agricoles du bassin versant qui n'est achevée que dans 15 % des cas.

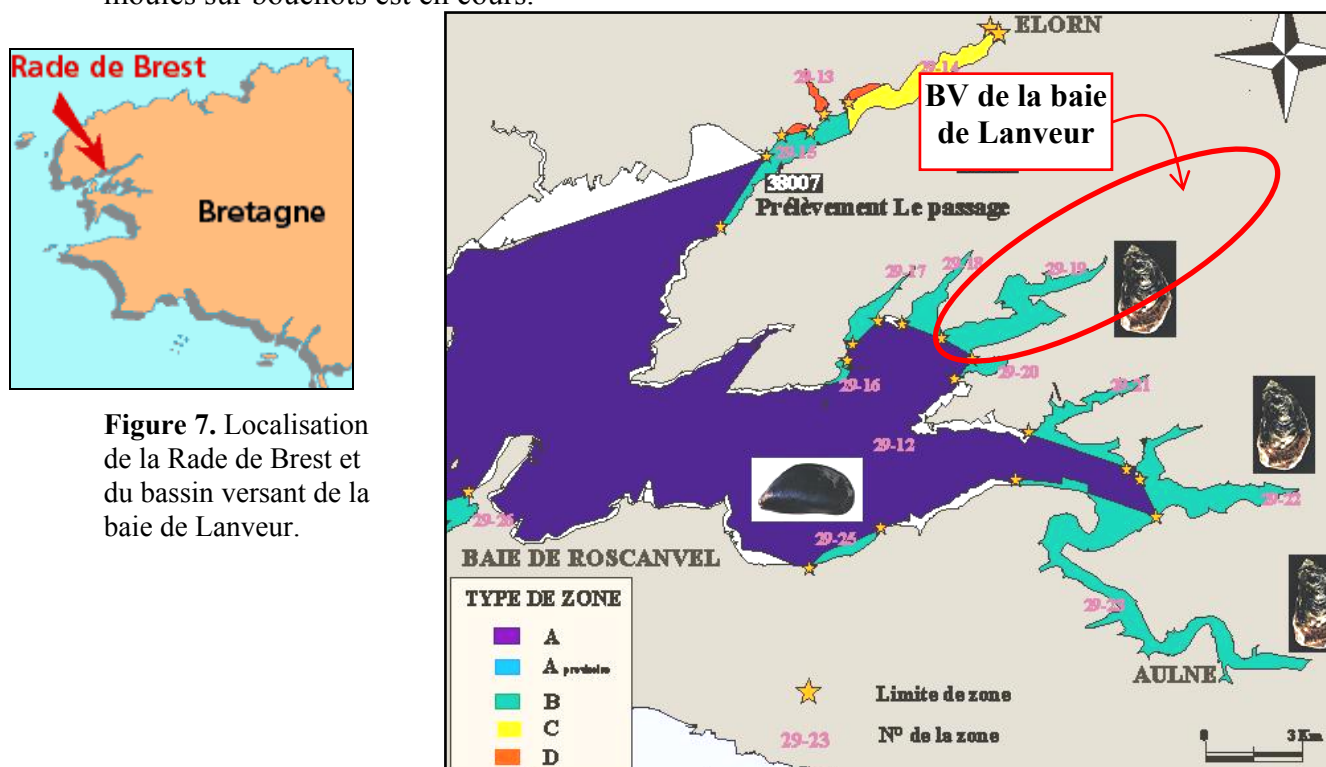
<sup>10</sup> RT-PCR : technique de détection des virus consistant à amplifier des amorces de leur matériel génétique.

## 4.3 La baie de Lanveur (Finistère)

### 4.3.1 Présentation et délimitation de la zone d'étude

La baie de Lanveur, ou estuaire de Daoulas, est localisée au sud de la Rade de Brest, dans le département du Finistère (Figure 7). Le bassin versant de la Mignonne, d'une superficie de 113 km<sup>2</sup>, se situe à l'amont de cette zone conchylicole. Les trois zones d'étude ont été délimitées à partir des frontières communales, en s'approchant au mieux des distances définies en 3.1.2.

L'activité conchylicole est très développée dans la baie, avec 50 concessions réparties sur 55 ha. En plus de l'élevage d'huîtres et de la pêche de palourdes, un projet d'élevage de moules sur bouchots est en cours.



### 4.3.2 Application du score de fragilité

#### c) Calcul du score de fragilité (cf. Annexe 6)

Cette application s'appuie sur le travail de collecte d'informations et de synthèse effectué par Arnaud Amos dans le cadre d'un stage effectué à la Section Régionale de la Conchyliculture Bretagne Nord d'avril à août 2003 (Amos, 2003).

❖ **Score "bassin versant"** : le coefficient de ruissellement, déterminé à partir de la couverture du sol et des pentes moyennes des versants, est de 0,5 pour l'ensemble du bassin. Cette valeur relativement élevée peut s'expliquer par la faible part de prairies (9 à 23 % de la SAU), au bénéfice des cultures notamment de maïs. Le temps de concentration du le bassin versant est évaluée à 8h30.

❖ **Score "pression humaine"** : la population totale du bassin versant est d'environ 6500 habitants, avec une densité moyenne de 58 hab/km<sup>2</sup>. L'occupation humaine est plus importante sur la zone immédiate avec 188 hab/km<sup>2</sup> (données INSEE, 1999).

La part de population non raccordée au système d'assainissement collectif représente près de 50 % sur l'ensemble du bassin versant. Six communes sont équipées de station d'épuration à lagunage. La commune de St-Urbain dispose d'une STEP de type boues activées à aération prolongée. Toutes ont été mises en services il y a plus de dix ans et certaines sont sous-dimensionnées, notamment la STEP de la commune Daoulas avec rejet au littoral.

❖ **Score "pression animale"** : l'activité agricole est très présente avec une SAU de 7000 ha, soit 62 % de la surface du bassin versant. Parmi les 175 exploitations du bassin versant, on dénombre 71 élevages classés pour la protection de l'environnement. 25 % des exploitations sont aux normes dans la zone immédiate et 50 % dans la zone rapprochée. L'élevage est tourné principalement vers la production de porcins et les volailles. Le chargement animal, en EHo/ha de SAU, est de 559 sur l'ensemble du bassin versant et atteint 740 sur la zone éloignée (données DDAF, 2003). Le canton de Ploudiry, en limite de la zone éloignée, est classé en ZES.

❖ **Score "météo"** : de 1984 à 2002, la station météorologique de Sizun, la plus proche du secteur, a permis d'enregistrer des moyennes annuelles de 247 jours de précipitation dont 45 supérieures à 10 mm. La pluviométrie annuelle dépasse 1300 mm et on dénombre moins de 4 dizaines de jours sans pluie (Météo France).

❖ **Score "milieu littoral"** : la baie de Lanveur est une zone abritée de la houle. La configuration de l'estuaire explique un courant résiduel peu important. Les eaux douces et marines sont stratifiées (Agence de l'Eau, 2003).

Les formules du score de fragilité sont les suivantes :

$$\diamond BV_1 = CRu_{(0.8)} + SI_{(0)} = 0.8$$

$$PH_1 = DH_{(1.3)} \times (1 + Ind_{(0.1)} + AR_{(0.4)} + AS_{(0.4)} + NR_{(0.1)}) + AA_{(0.05)} = 2.65$$

$$PA_1 = DA_{(1)} \times (1 + No_{(0.2)} + SA_{(0.2)}) + IAA_{(0)} = 1.4$$

$$\boxed{Z_1 = BV_{(0.8)} + PH_{(2.65)} + PA_{(1.4)} = 4.85}$$

$$\diamond BV_2 = CRu_{(0.8)} + SI_{(0)} = 0.8$$

$$PH_2 = DH_{(1)} \times (1 + Ind_{(0.1)} + AR_{(0.4)} + AS_{(0.4)} + NR_{(0.1)}) + AA_{(0)} = 2$$

$$PA_2 = DA_{(1)} \times (1 + No_{(0)} + SA_{(0.5)}) + IAA_{(0)} = 1.5$$

$$\boxed{Z_2 = BV_{(0.8)} + PH_{(2)} + PA_{(1.5)} = 4.3}$$

$$\diamond BV_3 = CRu_{(0.8)} + SI_{(0)} = 0.8$$

$$PH_3 = DH_{(1)} \times (1 + Ind_{(0.1)} + AR_{(0.2)} + AS_{(0.2)} + NR_{(0.1)}) + AA_{(0)} = 1.6$$

$$PA_3 = DA_{(1.2)} \times (1 + No_{(0)} + SA_{(0.2)}) + IAA_{(0)} = 1.44$$

$$\boxed{Z_3 = BV_{(0.8)} + PH_{(1.6)} + PA_{(1.44)} = 3.84}$$

$$\diamond \boxed{MET = P_{10(1)} + Sec_{(0)} = 1} \text{ et } \boxed{ML = Ty_{(1.2)} + CRé_{(0.6)} + IS_{(1.2)} + PF_{(0)} = 3}$$

$$\text{D'où } \boxed{SF = Z_{1(4.85)} + 0.7 Z_{2(4.3)} + 0.3 Z_{3(3.84)} + MET_{(1)} + ML_{(3)} = 13.02}$$

#### d) Interprétation du score de fragilité

Pour la baie de Lanveur, le score de fragilité obtenu est supérieur à 12 points, ce qui correspond à une **zone de forte fragilité microbiologique** (Tableau 11).

Le score de la zone immédiate est le plus élevé du bassin versant, en majeure partie du fait de la pression humaine. Ce score est expliqué par la forte densité de population et l'âge avancé du système d'assainissement. En particulier, l'étude de zonage de 1997 et l'étude

diagnostic du réseau d'assainissement de 1999 montrent que la STEP à lagunage de la commune de Daoulas est désormais sous-dimensionnée. Un système de télégestion a été mis en place pour assurer le contrôle du poste de relèvement (Amos, 2003). La pression humaine diminue de la zone littorale vers l'amont du bassin versant du fait de la densité de population décroissante.

**Tableau 11.** Composition du score de fragilité pour les secteurs de l'anse du Cul de Loup.

Score	BV	PH	PA	Z <sub>i</sub>	MET	ML	SF <sub>total</sub> Zone d'étude
<i>Note maximale</i>	1.4	2.8	2.8	7	2	4	20
<b>Zone immédiate</b>	0.8	2.65	1.4	<b>4.85</b>	1	3	<b>13.02</b>
<b>Zone rapprochée</b>	0.8	2	1.5	<b>4.3</b>			
<b>Zone éloignée</b>	0.8	1.6	1.44	<b>3.84</b>			

La pression animale est assez faible, homogène sur le bassin versant. Le chargement animal croît de la zone immédiate à la zone éloignée, ce qui correspond au classement en ZES des communes en limite amont du secteur d'étude. Cependant, plus de la moitié des élevages sont aux normes dans la zone éloignée, contre un quart dans la zone immédiate.

#### **4.3.3 Résultats microbiologiques de la zone conchylicole**

Dans la baie de Lanveur, deux points REMI sont suivis mensuellement par l'IFREMER. La zone de production de palourdes était de niveau B depuis 2000. Mais au cours de l'année 2002, cinq pics de contamination en *E. coli* ont été observés, dont un, dépassant 46000 EC / 100 g CLI, doit conduire au déclassement en zone C. La zone d'élevage d'huîtres est classée B et a connu trois dépassements du seuil d'alerte (1000 *E. coli*/100 g CLI) sur la période 1998-2002 (cf. 1.1.1).

Le niveau de classement sanitaire en C pour les bivalves fouisseurs traduit une qualité microbiologique médiocre. Cependant, le classement de ce secteur en B pour les huîtres ne correspond pas au niveau de forte fragilité microbiologique obtenu par le calcul du score.

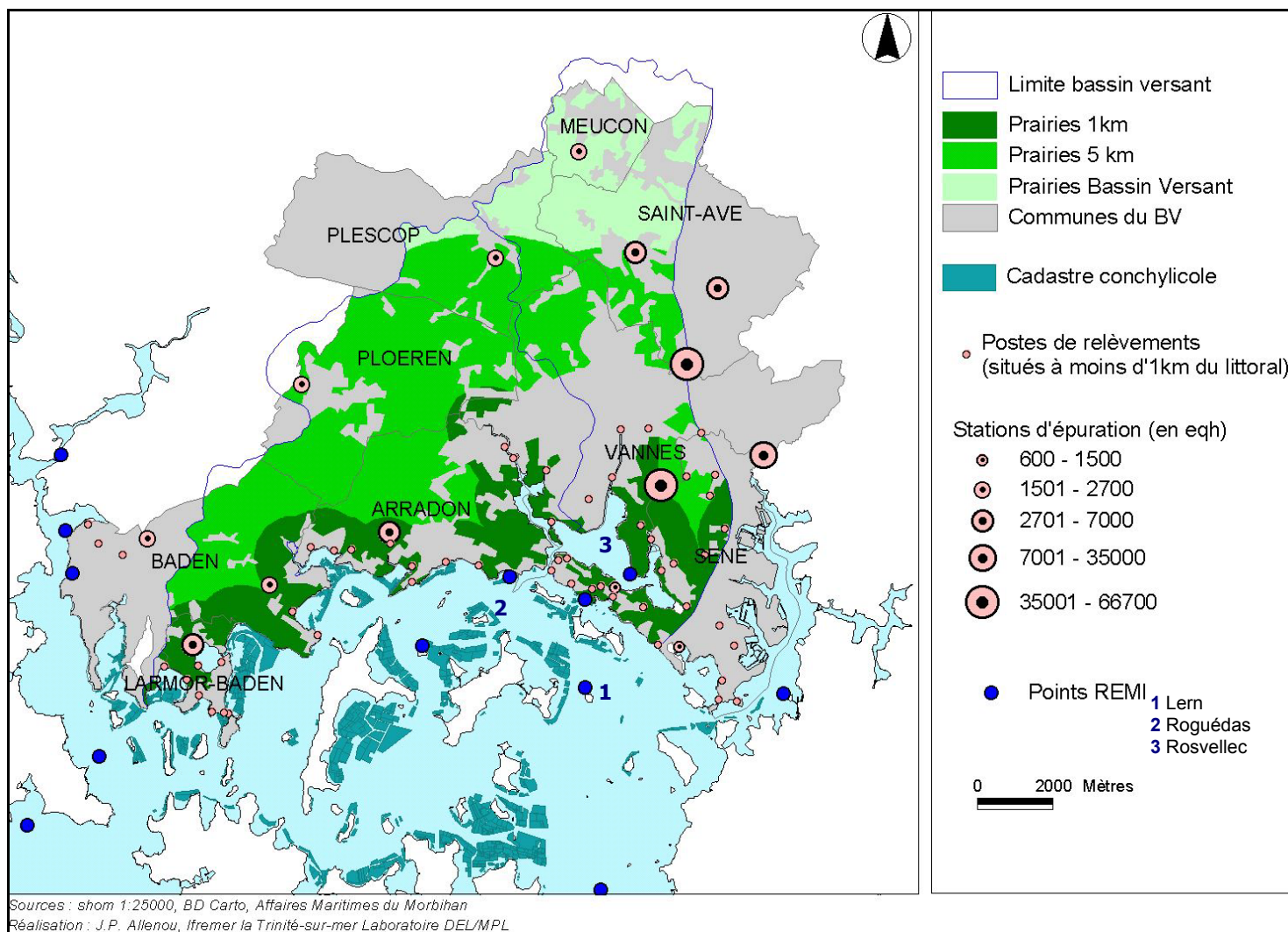
## **4.4 Le nord-est du Golfe du Morbihan**

### **4.4.1 Présentation et délimitation de la zone d'étude**

Le secteur d'étude est localisé au nord-est du Golfe du Morbihan, en Bretagne. Les bassins versants concernés sont ceux des rivières Vincin, Marle et de Vannes. Le recours au Système d'Information Géographique (SIG) de l'IFREMER a permis de délimiter les trois zones du bassin versant (Figure 8).

L'activité conchylicole est bien développée dans le Golfe du Morbihan avec 1600 hectares de parcs divisés en 2400 concessions exploitées. 430 concessionnaires conchylicoles produisent 5000 tonnes d'huîtres annuellement. L'exploitation des gisements naturels de palourdes, avec une production annuelle de 1500 tonnes par an, place le Golfe du Morbihan en seconde zone de production au niveau national.





**Figure 8.** Délimitation des trois zones d'étude du Golfe du Morbihan. Occupation du sol (prairies et cultures) et équipements d'assainissement.

#### 4.4.2 Application du score de fragilité

e) Calcul du score de fragilité (cf. Annexe 7)

❖ **Score "bassin versant"** : sur les versants du bassin, le ruissellement peut être fort, notamment pour la zone immédiate du fait de l'importance des surfaces urbanisées de la ville de Vannes. Le temps de concentration du bassin versant est évalué à 12h40.

❖ **Score "pression humaine"** : la densité de population du bassin versant est de 518 hab/km<sup>2</sup>, ce qui dépasse la moyenne départementale de 94 hab/km<sup>2</sup>. L'analyse des données communales a permis d'estimer les densités moyennes pour chacune des trois zones. L'activité touristique est très importante. En effet, plus de 18 % des logements sont des résidences secondaires et plus de 6000 bateaux de plaisance utilisent le plan d'eau en période estivale (données INSEE, 1999).

La principale station d'épuration du secteur (Vannes-Tohannic), d'une capacité de 59 000 EH, a été mise en service en 1997. Son rejet s'effectue dans la rivière de Vannes. Les deux autres STEP de la zone immédiate sont d'une capacité de 2500 et 1500 EH et rejettent leurs effluents directement dans le Golfe. Les collectivités du secteur développent

l'assainissement collectif en zone littorale. Dans l'agglomération de Vannes, le taux de raccordement des foyers au réseau d'assainissement est passé de 58 à 90 % en dix ans.

❖ **Score "pression animale"** : l'agriculture, plutôt de type extensif, est en recul face au développement du tourisme et à l'urbanisation dans les communes littorales. Cependant, quelques élevages industriels de porcs et de volailles de type hors-sol se situent à proximité de la côte, notamment dans la commune de Séné.

❖ **Score "météo"** : la pluviométrie annuelle est de 850 mm et se répartit en moyenne sur 211 jours, dont 45 de précipitations supérieures à 10 mm. On compte annuellement moins de 4 séquences de 10 jours sans pluie (station météo de Vannes).

❖ **Score "milieu littoral"** : les caractéristiques du milieu littoral ne sont renseignées que pour le secteur des concessions conchylicoles, excluant l'exutoire de la rivière de Vannes, zone interdite à la pêche (site de Rosvellec cf. Figure 8). Le secteur d'étude constitue une vaste baie bien protégée de la houle. Le temps de renouvellement des eaux marines est de l'ordre de la semaine, ce qui correspond à un courant résiduel relativement fort (modèle TELEMAC 2D). La baie de Quiberon provoque une puissante aspiration des masses d'eaux, conduisant à un bon mélange des eaux douces et marines dans la zone d'étude (IFREMER/La Trinité).

Les formules du score de fragilité sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \diamond BV_1 &= CRu_{(0.8)} + SI_{(0)} = 0.8 \\ PH_1 &= DH_{(1.3)} \times (1 + Ind_{(0)} + AR_{(0.4)} + AS_{(0.3)} + NR_{(0.1)}) + AA_{(0.05)} = 2.39 \\ PA_1 &= DA_{(1)} \times (1 + No_{(0.2)} + SA_{(0.2)}) + IAA_{(0)} = 1.4 \end{aligned}$$

$$\boxed{Z_1 = BV_{(1.2)} + PH_{(2.39)} + PA_{(1.4)} = 4.59}$$

$$\begin{aligned} \diamond BV_2 &= CRu_{(0)} + SI_{(0)} = 0 \\ PH_2 &= DH_{(1.3)} \times (1 + Ind_{(0.1)} + AR_{(0.4)} + AS_{(0.2)} + NR_{(0)}) + AA_{(0)} = 2.21 \\ PA_2 &= DA_{(1)} \times (1 + No_{(0.2)} + SA_{(0.5)}) + IAA_{(0)} = 1.7 \end{aligned}$$

$$\boxed{Z_2 = BV_{(0)} + PH_{(2.21)} + PA_{(1.7)} = 3.91} \quad BV_3 = CRu_{(0.4)} + SI_{(0)} = 3.91$$

$$\begin{aligned} \diamond BV_3 &= CRu_{(0.4)} + SI_{(0)} = 0.4 \\ PH_3 &= DH_{(1.3)} \times (1 + Ind_{(0.1)} + AR_{(0.4)} + AS_{(0)} + NR_{(0)}) + AA_{(0)} = 1.95 \\ PA_3 &= DA_{(1)} \times (1 + No_{(0.2)} + SA_{(0)}) + IAA_{(0)} = 1.2 \end{aligned}$$

$$\boxed{Z_3 = BV_{(0.4)} + PH_{(1.95)} + PA_{(1.2)} = 3.55}$$

$$\diamond \boxed{MET = P_{10(1)} + Sec_{(0)} = 1} \quad \text{et} \quad \boxed{ML = Ty_{(1.2)} + CRé_{(0)} + IS_{(0)} + PF_{(0.4)} = 1.6}$$

$$\text{D'où} \quad \boxed{SF = Z_{1(4.59)} + 0.7 Z_{2(3.91)} + 0.3 Z_{3(3.55)} + MET_{(1)} + ML_{(1.6)} = 10.99}$$

#### f) Interprétation du score de fragilité

Pour l'est du Golfe du Morbihan, le score de fragilité obtenu, d'environ 11 points, correspond à un **niveau moyen de fragilité microbologique**.

Score	BV	PH	PA	Z <sub>i</sub>	MET	ML	SF <sub>total</sub> Zone d'étude
<i>Note maximale</i>	1.4	2.8	2.8	7	2	4	20
<b>Zone immédiate</b>	0.8	2.39	1.4	<b>4.59</b>			<b>10.99</b>
<b>Zone rapprochée</b>	0	2.21	1.7	<b>3.91</b>	1	1.6	
<b>Zone éloignée</b>	0.4	1.95	1.2	<b>3.55</b>			

Les scores de "pression humaine" sont élevés pour les trois zones du bassin versant, ce qui traduit la dominante urbaine de l'occupation du territoire autour de la ville de Vannes. La densité de population est forte et décroît quand on s'éloigne de la côte. Le système d'assainissement des communes littorales est assez récent, notamment la principale STEP de la zone immédiate qui a été mise en service il y a moins de 10 ans.

Malgré une importante pression humaine, le score de fragilité n'est pas très élevé, du fait du faible chargement animal sur le bassin versant.

#### 4.4.3 Résultats microbiologiques de la zone conchylicole

Sur le secteur d'étude, trois sites sont suivis dans le cadre du réseau REMI. Le Tableau 12 présente une analyse des résultats sur la période 1998-2002. Le point d'échantillonnage de Lern est de niveau A pour les palourdes. A l'est d'Arradon, la zone de Roguédas, de niveau B pour les bivalves non fouisseurs, a fait l'objet de quelques pics de contamination importants.

**Tableau 12.** Données REMI du secteur est Golfe du Morbihan (Source IFREMER).

Point REMI	<i>E.coli</i> /100g CLI	% analyses	Niveau de classement sanitaire
<b>Lern</b> 54 analyses palourdes (période 98-02)	<230	93	<b>A</b>
	230-1000	7	
	1000-4600	0	
	4600-46000	0	
<b>Roguédas</b> 59 analyses huîtres (période 98-02)	<230	92	<b>B</b> 3 résultats déclassant de A en B
	230-1000	3	
	1000-4600	2	
	4600-46000	3	

Les zones conchylicoles sont de bonne qualité bactériologique pour ce qui concerne les huîtres. En revanche, les contaminations peuvent être importantes pour les palourdes, bivalves fouisseurs.

Dans le cadre du programme IFREMER/LITEAU mené d'octobre 1999 à mai 2001, des virus entériques ont été recherchés dans les coquillages du secteur. Sur le site de Lern, les échantillons de palourdes étaient fréquemment contaminés, notamment par les entérovirus et les astrovirus dans 72 et 27 % des cas. Dans le site de prélèvement d'huîtres de Roguédas, la présence d'entérovirus a été observée dans 35 % des cas. Cependant, les calicivirus, principaux responsables des TIAC liées aux coquillages, n'ont été retrouvés que dans 10 % des échantillons et uniquement pour les sites de Roguédas (Pommeppy *et al.*, 2002).

Le score de fragilité qui prend une valeur moyenne pour ce secteur test correspond au niveau de contamination virale relativement peu important.

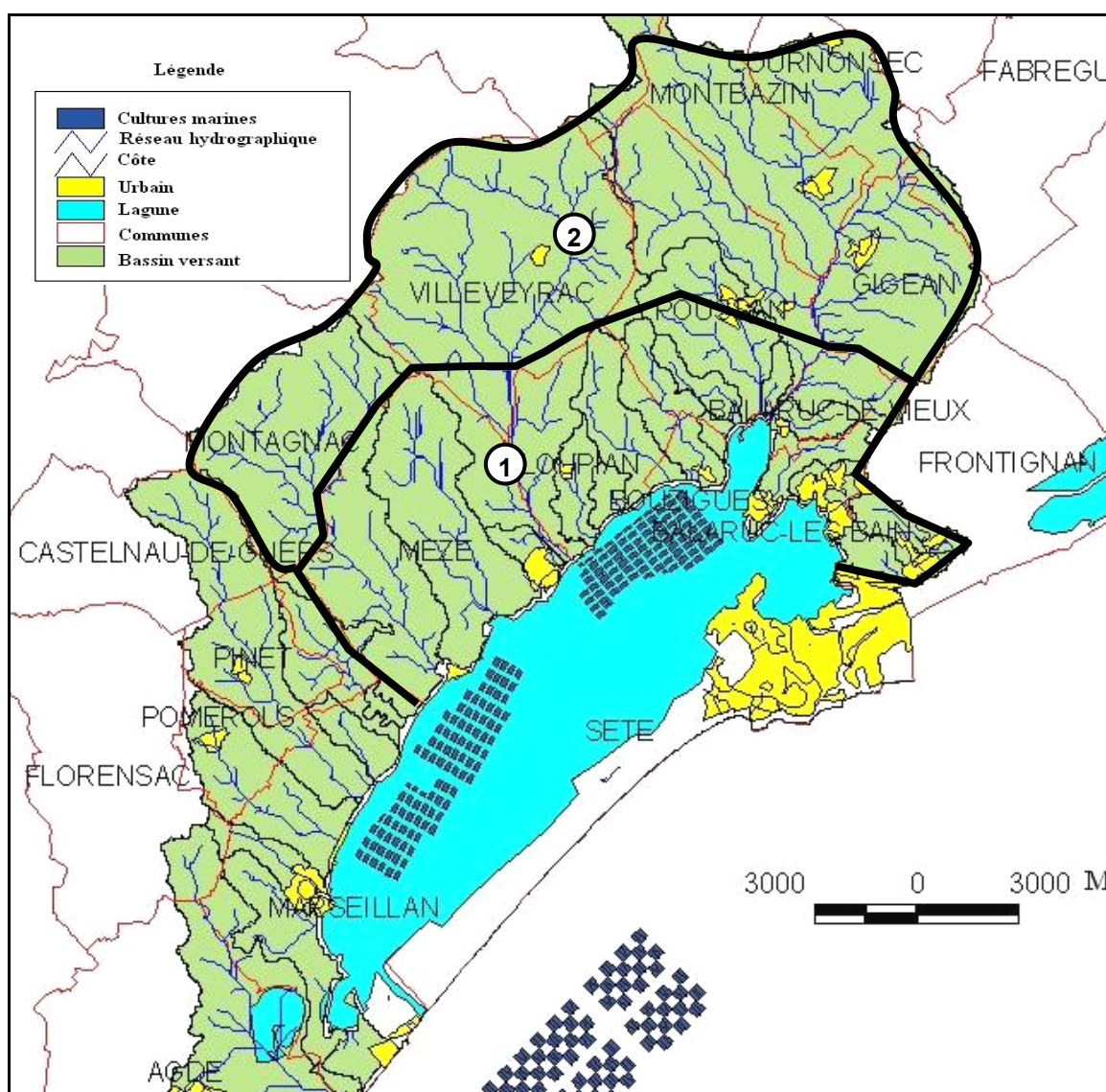
## 4.5 Nord de l'étang de Thau (Languedoc Roussillon)

### 4.5.1 Présentation et délimitation de la zone d'étude



L'étang de Thau est l'une des plus grandes lagunes méditerranéennes. D'une longueur de 19,5 km et d'une largeur maximale de 4,5 km, il couvre une surface de 7500 hectares. Son bassin versant, composé de 14 communes, est d'une superficie de 300 km<sup>2</sup> (Figure 9). La production conchylicole de l'étang de Thau représente 10 % de la production nationale avec 25000 tonnes d'huîtres et 3000 t de moules en élevage par an (Miossec *et al.*, 2000).

Les zones conchylicoles l'étang de Thau étant concernées par une procédure de déclassement sanitaire, l'accès aux données a été particulièrement difficile du fait de la mobilisation des acteurs du terrain. Aussi, la démarche de calcul du score de fragilité n'a pas pu être menée jusqu'au bout. Nous présentons ci-dessous les informations recueillies qui constituent une première approche des pressions s'exerçant sur le bassin versant. Les apports d'eau douce à l'étang se font majoritairement par les rivières de la Vène et du Pallas situées dans la partie nord du bassin versant. Les apports provenant du sud du bassin versant sont négligeables sauf en cas de pluie torrentielle estivale (Vercelli, *com. pers.*). Dans cette application, nous nous limiterons donc au nord du bassin, découpé en une zone immédiate (1) et une zone rapprochée (2).



**Figure 9.** Bassin versant de l'étang de Thau et limites des deux zones d'étude (source IFREMER Sète).

#### 4.5.2 Application du score de fragilité

##### g) Données pour le calcul du score de fragilité

❖ **Score "bassin versant"** : la part des prairies est faible sur le bassin versant. Nous n'avons pu disposer d'aucune donnée concernant la topographie et la pédologie.

❖ **Score "pression humaine"** : la population sédentaire est d'environ 89000 habitants, pour une densité en hab/km<sup>2</sup> de 120 sur le bassin versant, de 285 sur la zone immédiate et de 132 sur la zone rapprochée (Tableau 13). Les communes de la zone immédiate disposent toutes d'un système d'assainissement collectif et de réseaux majoritairement de type séparatif. Au niveau de la zone immédiate, seuls les effluents des stations d'épuration de Mèze-Loupian et de Bouzigues-Poussan sont rejetés directement dans l'étang. Même s'ils ont été rénovés pour moitié, les réseaux d'assainissement sont sujets à de fréquents débordements et le fonctionnement de la STEP de Mèze-Loupian est perturbé lors des épisodes pluvieux importants (Miossec *et al.*, 2000). Le réseau d'assainissement de la commune de Montbazin, dans la zone rapprochée, a été entièrement rénové (Le Bec, 1999).

Le tourisme conduit au doublement de la population du bassin versant pendant la période estivale. Plusieurs campings de la zone immédiate ne sont pas raccordés au système d'assainissement (Vercelli, *com. pers.*).

**Tableau 13.** Densité de population et caractéristiques des STEP du bassin de l'étang de Thau (date de mise en service ; procédé ; capacité nominale ; \* rejet dans l'étang) (Vercelli, *com. pers.*).

Zone du bassin versant	Commune	Densité de population (hab/km <sup>2</sup> )	Caractéristiques de la STEP
<b>Zone immédiate</b>	Mèze	260	<b>1980-1998</b> ; lagunage ; 14000 à 21000 EH *
	Loupian	62	
	Bouzigues	184	<b>1983</b> ; lagunage ; 6700 EH *
	Balaruc le Vieux	260	
	Balaruc les Bains	662	
<b>Zone rapprochée</b>	Montagnac	74	-
	Villevyrc	-	<b>1980</b>
	Poussan	135	cf. Bouzigues
	Montbazin	104	<b>1986</b>
	Cournonsec	160	<b>1975</b>
	Gigean	218	<b>1986</b>

❖ **Score "pression animale"** : l'activité d'élevage est peu développée sur le bassin versant. On dénombre cinq installations d'élevage dans la zone immédiate et sept dans la zone rapprochée (Vercelli, *com. pers.*). L'agriculture a une orientation principalement viticole.

❖ **Score "météo"** : les apports superficiels d'eau douce à l'étang sont aléatoires et régis par le régime chaotique des précipitations méditerranéennes : 300 à 1100 mm annuels pour 50 à 100 jours de précipitations. En moyenne, seuls 17 jours de pluies par an dépassent 10 mm de précipitations (Vercelli, *com. pers.*).

❖ **Score "milieu littoral"** : la lagune de Thau est abritée de la houle. Les échanges avec la mer se font pour 80 à 90 % par les canaux de la ville de Sète. Le taux de renouvellement des eaux est faible (Agence de l'Eau, 2003). L'indice de stratification des eaux est nul en hiver et faible en été (Vercelli, *com. pers.*).

## h) Interprétation du score de fragilité

Les indicateurs de niveau 1 nécessaires au calcul du score de fragilité n'ont pas pu être tous renseignés. Les formules de calcul ont été complétées par les informations manquantes (en gras ci-dessous) sur la base d'hypothèses qui demandent à être confirmées par des études complémentaires.

- ◆ Pour la zone immédiate :  $BV_1 = \mathbf{CRu}_{(0.8)} + SI_{(0)} = 0.8$

$$PH_1 = DH_{(1.3)} \times (1 + \mathbf{Ind}_{(0.1)} + AR_{(0.4)} + AS_{(0.4)} + NR_{(0)}) + AA_{(0.1)} = 2.57$$

$$PA_1 = DA_{(1)} \times (1 + \mathbf{No}_{(0)} + \mathbf{SA}_{(0.2)}) + IAA_{(0)} = 1.2$$

$$\boxed{Z_1 = BV_{(0.8)} + PH_{(2.57)} + PA_{(1.2)} = 4.57}$$

- ◆ Pour la zone rapprochée :  $BV_2 = \mathbf{CRu}_{(0.8)} + SI_{(0)} = 0.8$

$$PH_2 = DH_{(1.2)} \times (1 + \mathbf{Ind}_{(0.1)} + AR_{(0.4)} + AS_{(0.2)} + NR_{(0.1)}) + AA_{(0)} = 2.16$$

$$PA_2 = DA_{(1)} \times (1 + \mathbf{No}_{(0)} + \mathbf{SA}_{(0.2)}) + IAA_{(0)} = 1.2$$

$$\boxed{Z_2 = BV_{(0.8)} + PH_{(2.16)} + PA_{(1.2)} = 4.16}$$

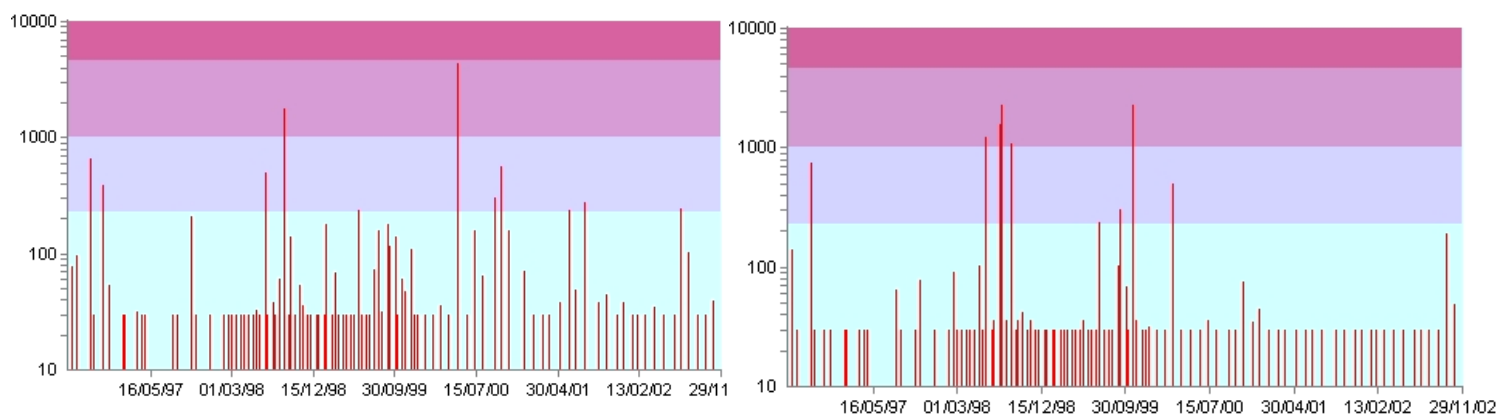
- ◆  $\boxed{MET = P_{10(1)} + \mathbf{Sec}_{(1)} = 2}$  et  $\boxed{ML = Ty_{(1.2)} + CRé_{(0)} + IS_{(0.6)} + PF_{(0.4)} = 2.2}$

$$\boxed{SF = Z_1_{(4.57)} + Z_2_{(4.16)} + MET_{(2)} + ML_{(2.2)} = 12.93}$$

Le score de fragilité obtenu selon les hypothèses formulées ci-dessus est supérieur à 12, ce qui correspond à une **forte fragilité microbiologique**. Ce score est le résultat d'une forte pression humaine en particulier sur la zone immédiate du bassin versant, et d'une faible pression animale. Cependant, les informations sont incomplètes et demandent à être complétées. En particulier, il serait intéressant de vérifier l'importance des périodes de sécheresse et l'influence du caractère torrentiel des pluies estivales et de l'effet du vent.

### 4.5.3 Résultats microbiologiques de la zone conchylicole

La qualité bactériologique de l'étang de Thau, suivie au travers du réseau de surveillance REMI, est relativement instable. Des contaminations sporadiques sont observées en relation avec les périodes de fortes pluies. Le secteur conchylicole a été classé en A sur la base des teneurs en *E. coli* observées en 1995, soulignant la bonne qualité des eaux de l'étang cette année là. Depuis, les analyses colimétriques ont révélé de nombreux problèmes de contamination fécale (Miossec *et al.*, 2000). L'étang de Thau est actuellement en procédure de déclassement de A en B (Figure 10).



**Figure 10.** Données REMI pour les huîtres (*E. coli*/100 g CLI) des points de Mèze nord et de Bouzigues d'août 1996 à novembre 2002 (IFREMER Sète).

Une étude IFREMER (contrat INSERM) menée sur l'étang de Thau d'octobre 1996 à septembre 1998 a montré la faible relation entre la conformité aux normes bactériologiques et la teneur en pathogènes humains dans les coquillages. Sur le site de Mèze par exemple, le virus Norwalk-like a été retrouvé dans 15 % des prélèvements d'huîtres et les astrovirus dans 33 % des cas.

Les virus entériques humains ont été majoritairement retrouvés pendant l'automne et l'hiver avec un pic hivernal, soulignant l'influence des phénomènes saisonniers météorologiques et épidémiques. Ainsi, l'étude a permis de mettre en évidence la relation entre l'impact de fortes pluies sur le dysfonctionnement de la station d'épuration de Mèze (temps de séjours faibles) et la contamination virale des coquillages (Miossec *et al.*, 2000). Le fonctionnement cette STEP peut être perturbé lors d'épisodes pluvieux importants supérieurs à 10 mm par jour, ce qui correspond au seuil choisi pour l'indicateur P<sub>10</sub> du score de fragilité (cf. 3.5.2).

Le score calculé sur ce bassin versant correspondant à un niveau de forte fragilité microbiologique reflète les problèmes récurrents de contaminations des coquillages de l'étang.

## 5 Discussion et adaptations envisageables

### 5.1 Discussion sur les résultats obtenus

Le calcul du score de fragilité des quatre bassins test, soumis à des conditions physiques (géographie, météorologie) et des pressions anthropiques variées, permet une première évaluation de l'applicabilité de cette méthode. Les indicateurs de niveau 1, nécessaires au calcul du score sont pour la plupart directement accessibles au travers de registres de données (RGA, INSEE) dont les sections de la profession conchylicole devraient disposer sur chaque bassin de production.

Les résultats obtenus pour les quatre zones test amènent plusieurs remarques sur le score de fragilité (Tableau 14) :

- les valeurs obtenues ne correspondent pas ou rarement au classement sanitaire actuel établi sur la base des teneurs en *E. coli*, notamment pour l'étang de Thau,
- le score de fragilité reflète relativement bien la fréquence des contaminations virales observée dans certains secteurs (St-Vaast-La-Hougue et étang de Thau),
- dans tous les cas, le score des zones immédiates est supérieur à celui des deux secteurs plus à l'amont du bassin versant, ce qui traduit l'impact de l'emprise humaine plus importante au niveau de la bordure littorale et justifie la délimitation en fonction de l'éloignement à la côte,
- la comparaison des scores de pression humaine et animale reflète bien l'occupation dominante du territoire sur les quatre bassins versants.

**Tableau 14.** Scores de fragilité calculés et classement sanitaire actuel pour les quatre bassins test.

Bassin versant test	Score	BV	PH	PA	Z <sub>i</sub>	MET	ML	SF <sub>total</sub> Zone d'étude	Classement REMI actuel	
									Groupe II	Groupe III
	<i>Note maximale</i>	1.4	2.8	2.8	7	2	4	20		
Cul de Loup St Vaast	Zone immédiate	0.4	2.49	2	5.29	1	2.2	12.30	-	A
	Zone rapprochée	0	1.95	2	3.95					
	Zone éloignée	0	1.5	2	3.5					
Baie de Lanveur Daoulas	Zone immédiate	0.8	2.65	1.4	4.85	1	3	13.02	B	B
	Zone rapprochée	0.8	2	1.5	4.3					
	Zone éloignée	0.8	1.6	1.44	3.84					
Est du Golfe du Morbihan	Zone immédiate	0.8	2.39	1.4	4.59	1	1.6	10.99	A	B
	Zone rapprochée	0	2.21	1.7	3.91					
	Zone éloignée	0.4	1.95	1.2	3.55					
Etang de Thau nord	Zone immédiate	0.8	2.57	1.2	4.57	2	2.2	12.93	-	A
	Zone rapprochée	0.8	2.16	1.2	4.16					

Le score de fragilité semble donc être un bon outil de diagnostic des facteurs de risques microbiologiques en présence sur un bassin versant. L'analyse plus fine du score de fragilité permet en outre de mettre en évidence les points critiques propres à chaque bassin versant. Les données complémentaires fournies par les indicateurs de niveaux 2 et 3 précisent les informations et peuvent orienter les études plus approfondies préalables à des mesures de gestion (amélioration du système d'assainissement, communications auprès des agriculteurs, etc.).

## 5.2 Adaptations envisageables

L'application du score de fragilité n'ayant été effectuée que sur un nombre limité de bassins versants, nous ne disposons pas du recul nécessaire à l'évaluation complète de la fiabilité de cette démarche. Le score de fragilité a permis d'obtenir des résultats cohérents sur les quatre bassins test. Mais la pertinence du choix des indicateurs à partir desquels il est établi reste à confirmer. On pourrait intégrer des informations supplémentaires dans les formules de calcul et tester leur effet sur le score de fragilité. Par exemple, l'influence des vents dominants ou des pluies torrentielles pourrait être ajoutée aux indicateurs de niveau 1.

On peut également citer les travaux d'une équipe de chercheurs anglais validant un modèle prédictif des concentrations en germes fécaux dans l'eau à partir du type dominant d'utilisation des sols du bassin versant (prairie, zone construite, etc.). Ce modèle, qui exclut des informations difficiles à évaluer telles que les chargements animaux, pourrait être adapté aux bassins français (Crowther *et al.*, 2001 à 2003). Toutefois, il ne concerne que les sources animales de contamination microbiologique et devrait être complété par des données concernant les pressions humaines.

D'autre part, on peut discuter le poids de chaque indicateur, attribué en fonction des données bibliographiques et parfois de manière arbitraire. Les seuils et les nombres de points fixés pourront être ajustés et pondérés à l'aide d'applications à d'autres bassins, notamment de la façade atlantique (ex. Marennes-Oléron) et des résultats de nouvelles études ou travaux de recherche.

Les limites des quatre classes de fragilité (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) pourraient enfin être adaptées à la distribution statistique d'un plus grand nombre de résultats, en fonction de la dispersion de l'effectif de chaque classe (RBDE, 2000). L'application à un bassin témoin soumis à de très faibles pressions anthropiques permettrait de plus un meilleur ajustement du modèle (par exemple au large de Quiberon).

Les temps de concentration  $T_c$  évalués pour trois des bassins versants test indiquent le délai nécessaire au transfert d'une molécule d'eau jusqu'à l'exutoire littoral. Les valeurs de  $T_c$  obtenues par la formule de Passini sont homogènes et peuvent justifier le découpage en bandes de distance à la côte. Par exemple, sur le bassin versant de St-Vaast-La-Hougue,  $T_c$  est de 4h30 pour la zone immédiate et de 12h30 pour la zone éloignée (Tableau 15).

Dans tous les cas,  $T_c$  est inférieur au  $T_{90}$  en eau douce d'*E. coli* et très inférieur à celui des virus (cf. 2.3.2). Ces résultats laissent supposer qu'une grande partie des microorganismes rejetés sur les bassins versants étudiés peut parvenir jusqu'à la zone conchylicole. Cependant, le paramètre  $T_c$  ne concerne que les molécules d'eau, alors que les microorganismes sont pour en majorité associés aux particules fines et sédimentent sur le lit des cours d'eau. La part des sédiments remis en suspension renseignerait donc plus justement sur le taux de transfert des microorganismes vers le littoral (Crenn *et al.*, 1999).

**Tableau 15.** Temps de concentration  $T_c$  calculés par la formule de Passini et longueur du plus long talweg pour les bassins versants test.

Bassin versant		$T_c$ (heures)	Longueur du plus long talweg (km)
St-Vaast	Côtier	4h30	4,5
	Sinope	12h30	9,5
Daoulas		8h30	15
Vanne-Auray		12h40	11,5
Thau		-	15,5



## Conclusion

Cette étude entre dans le cadre d'une démarche exploratoire d'appréciation de la fragilité microbiologique du littoral. Le système d'évaluation conçu se veut être un outil générique applicable à tous les bassins versants littoraux. Le score de fragilité microbiologique, construit sur la base d'indicateurs synthétiques, constitue un outil de diagnostic des facteurs favorisant la contamination des eaux littorales. Il permet d'obtenir une image représentative des pressions anthropiques et de leur répartition sur le bassin versant.

L'application à quatre secteurs conchylicoles a permis de vérifier le caractère opérationnel de la démarche. Le recueil des données est réalisable à l'échelle d'un bassin versant et permet de disposer d'informations nécessaires à la maîtrise des pollutions microbiologiques. L'application de cette méthode constitue l'occasion pour les organismes de la profession conchylicole de mobiliser un réseau d'interlocuteurs privilégiés sur les secteurs d'étude ; d'autant que l'on peut rencontrer des difficultés lors de la collecte des données, comme cela a été le cas lors de l'application à l'étang de Thau. Les acteurs du bassin versant pourront dès lors être plus amplement impliqués dans une démarche préventive de maintien durable de la qualité des eaux littorales.

Le score de fragilité des zones d'élevage conchylicole peut permettre de cibler en priorité les actions correctives sur les secteurs les plus sensibles aux contaminations microbiologiques. Au niveau de ces secteurs, le score de fragilité peut constituer un outil d'aide à la décision. Les mesures de gestion doivent concerner les points critiques identifiés afin de prévenir la contamination des eaux conchylicoles. On peut ainsi envisager la mise en place de systèmes de surveillance des points critiques sur le modèle de la démarche HACCP. La télésurveillance des stations d'épurations et la veille épidémiologique devraient par exemple faire partie du système de surveillance et d'alerte. En période critique (dysfonctionnement de STEP, épidémie de gastroentérite), des recommandations de gestion permettraient de se prémunir d'éventuels problèmes sanitaires : délai avant mise à la consommation des coquillages, recherche de virus dans les lots isolés, etc.

Le système de score de fragilité microbiologique s'appuie sur des valeurs seuils non définitives et demande à être testé sur un plus grand nombre de bassins aux caractéristiques géographiques et d'occupation humaine et animale variées (ex. Marennes-Oléron) afin d'en améliorer la fiabilité et la sensibilité.

Toutefois, cette approche de diagnostic, fondée sur l'appréciation d'indicateurs, présente l'avantage de rassembler des paramètres habituellement étudiés de façon indépendante par d'autres organismes (Agence de l'Eau, SATESE, etc.). Le score de fragilité associe en effet les caractéristiques du milieu littoral aux pressions anthropiques et aux caractéristiques physiques du bassin versant. Enfin, cette démarche privilégie l'approche préventive qu'il est nécessaire de suivre pour une maîtrise de la qualité des eaux littorales et un développement durable de l'activité conchylicole.

## Bibliographie

- AGENCE DE L'EAU (2003).** Mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau. Typologie des eaux côtières de transition. Convention MEDD/IFREMER n° CV 02000026.
- AGRESTE (2003).** Premier recensement de la conchyliculture. *Agreste Primeur*, n°126.
- AGUINET N. (2003).** Dimensionnement des réseaux d'assainissement. Cours ENSP. Saunier Techna.
- ALLEN G. (1972).** Etude des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde. Université de Bordeaux (Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles). 314 p.
- AMOS A. (2003).** Etude de la sensibilité microbiologique des zones conchylicoles. Rivière de Daoulas. Section Régionale de la Conchyliculture Bretagne Nord. 34 p. (Rapport de stage).
- ARPE (2001).** Lutte contre le ruissellement dans le Bassin-Versant de l'Aïse. Agence Régionale pour l'Environnement Midi Pyrénées, ENSEEI.  
<<http://www.enseeih.fr/hmf/travaux/CD0001/travaux/optsee/bei/1/g11/pa01.htm>>
- AUROSSEAU P., SQUIVIDANT H., BAQUE M.-C. et al. (1997).** Analyse des facteurs de risque de transferts de pesticides dans les paysages. Etablissement d'une hiérarchie de ces risques : application au calcul d'un indice de risque par bassin versant et par parcelle. ENSAR, INRA. *Prod. Anim.*, 10 : 275-285.
- BAYLET R. (1993).** Aspects cliniques des infections et intoxications humaines liées à la consommation de coquillages in ELZIERE-PAPAYANNI et al. Coquillages. Informations Techniques des Services Vétérinaires Français, Paris. pp. 281-311.
- BEAUDEAU P., TOUSSET N., LEFEVRE A. (1998).** Disparition des *Escherichia coli* dans les rivières normandes. Rapport de synthèse. Agence de l'Eau Seine-Normandie. 31 p.
- BEAUDEAU P. (1999).** Etude in situ sur la pertinence de nouveaux indicateurs pour le classement de la qualité des eaux de baignade (entérovirus, coliphages somatiques, phages ARNF spécifiques). Agence de l'Eau. 58 p.
- BELIAEFF B., du BOULAY H., RIOU P. (2002).** Etude sanitaire du havre de la Vanlée. IFREMER. 16 p.
- BODOY A. (1993).** Les techniques de la conchyliculture en France in ELZIERE-PAPAYANNI et al. Coquillages. Informations Techniques des Services Vétérinaires Français, Paris. pp. 102-127.
- BONN F. (2000).** Géomorphologie dynamique. Cours d'Université.  
<<http://www.callisto.si.usherb.ca/~fbonn/PageFB/GEO437/GEO437Chap3/GEO437Chap3.html>>
- BORDENAVE P., MERCERON M. (1999).** Présentation des bassins versants ateliers (Coët-Dan et Kerharo) et de la baie de Douarnenez in MERCERON M. et coll., Pollutions diffuses : du bassin versant au littoral. IFREMER, actes de colloques 24, Ploufragan, septembre 1999. pp. 107-124.
- BURKHARDT W., CALCI K. R. (2000).** Selective accumulation may account for shellfish-associated viral illness. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 66, 4: 1375-1378.
- CAMUS P., ALLENOU J.-P., GAGNARD F., KERLIDOU J. (2003).** Diagnostic de la criticité des ouvrages de collecte en assainissement collectif. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, n°255, pp. 135-141.



- CEMAGREF (1986).** Maîtrise et valorisation des épandages de lisiers. Evaluation des risques de pollution bactérienne à la suite des épandages. I. Revue bibliographique. CEMAGREF Rennes, DDAF St Brieuc. 31 p.
- CHICK S. E., KOOPMAN J. S., SOORAPANTH S., et al. (2001).** Infection transmission system models for microbial risk assessment. *The Science of the Total Environment*, 274: 197-207.
- CORRE S., JACQ E., MOULLEC B. (1999).** Quantification et survie des bactéries dans les eaux du Coët-Dan. in MERCERON M. *et coll.*, Pollutions diffuses : du bassin versant au littoral. IFREMER, actes de colloques 24, Ploufragan, septembre 1999. pp. 157-168.
- COURTOIS G. (1993).** Sources de contamination microbienne des coquillages. L'assainissement du milieu in ELZIERE-PAPAYANNI *et al.* Coquillages. Informations Techniques des Services Vétérinaires Français, Paris. pp. 337-349.
- CRAIG D.L., FALLOWFIELD H.J., CROMAR N.J. (2003).** Effectiveness of guideline faecal indicator organism values in estimation of exposure risk at recreational coastal sites. *Water Science and Technology*, vol. 47, 3: 191-198.
- CRENN I., GOURMELON M., LE CANN P., et al. (1999).** Microbiologie sanitaire des sédiments. in ALZIEU A. *et coll.*, Dragages et environnement marin. IFREMER, pp. 39-55.
- CROWTHER J., KAY D., WYER M.D. (2001).** Relationships between microbial water quality and environmental conditions in coastal recreational waters: the Fylde Coast, UK. *Water Research*, vol. 35, 17: 4029-4038.
- CROWTHER J., KAY D., WYER M.D. (2002).** Faecal-indicator concentrations in waters draining lowland pastoral catchments in the UK : relationships with land use and farming practices. *Water Research*. 36 : 1725-1734.
- CROWTHER J., WYER M.D., BRADFORD M. et al. (2003).** Modelling faecal indicator concentrations in large rural catchments using land use and topographic data. *Journal of Applied Microbiology*, 94: 962-973.
- CUGIER P., LE HIR P. (2002).** Development of a 3D hydrodynamic model for coastal ecosystem modelling. Application to the plume of the Seine river (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55: 673-695.
- DAGUZAN J. (1992).** Biologie des mollusques bivalves marins et conchyliculture in Coquillages et santé publique – du risque à la prévention. LESNE et coll., 343p. Editions ENSP, Rennes. pp 17-28.
- DESMAZIERES S. (1999).** Maîtrise des risques de contamination microbiologique des eaux de surface par les déjections animales. Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne. 17 p.
- DUPRAY E. et coll. (1999).** Rejets agricoles et bactériologie (baie de la Fresnaye). Rapport final. IFREMER, Bretagne Eau Pure. 71 p.
- EU (1996).** Report on the equivalence of EU and US legislation for the sanitary production of live bivalve molluscs for human consumption. EU Scientific Committee Working Group on Faecal Coliforms in shellfish, august 1996.
- FAO/WHO (2001).** Hazard identification, exposure assessment and hazard characterization of *Campylobacter* spp. in broiler chickens and *Vibrio* spp. in seafood. WHO Headquarters, Geneva, Switzerland. 23-27 July 2001. pp. 27-40.
- FORSYTHE S.J. (2002).** The microbiological risk assessment of food. Blackwell Science, Oxford. 199 p.

- GENDREAU N. (2003).** Evaluer les risques d'inondation. CEMAGREF. <[www.cemagref.fr/Informations/Ex-rechr/eau-dechets/risk-inond](http://www.cemagref.fr/Informations/Ex-rechr/eau-dechets/risk-inond)>
- GERBA C.P., GRAMOS D.M., NWACHUKU N. (2002).** Comparative inactivation of Enteroviruses and Adenovirus 2 by UV light. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 68, n° 10, pp. 5167-5169.
- GUERIN-SCHNEIDER L. (2001).** Introduire la mesure de performance dans la régulation des services d'eau et d'assainissement en France - Instrumentation et organisation. Thèse ENGREF, spécialité Gestion - Science de l'eau, Paris. 408 p.
- GUILLAUD J.-F., LE SAUX J.-C., POMMEPUY M. (2002).** Compatibilité entre élevage conchylicole et rejets urbains dans l'estuaire de Morlaix *in* Les estuaires français, évolution naturelle et artificielle. Actes de colloques, 22. IFREMER/Hydrosystèmes. p. 130.
- GUIZIOU F., BERTRAND M., ABRASSART J. et al. (1994).** ASPER : un système d'assistance pour un épandage raisonné *in* Maîtrise et prévention des pollutions dues aux élevages. CEMAGREF. Actes du colloque, 16 février 1994, Paris. pp 55-69.
- HAEGHEBAERT S., LE QUERREC F., GALLAY A. et al. (2002a).** Les Toxi-infections alimentaires collectives en France, en 1999 et 2000. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*, 23 : 105-109.
- HAEGHEBAERT S., LE QUERREC F., BOUVET P. et al. (2002b).** Les Toxi-infections alimentaires collectives en France en 2001. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*, 50 : 249-253.
- HERVIO-HEATH D., LOAEC S., LE MENNEC C., POMMEPUY M. et coll. (2002).** Recherche de *Vibrio parahaemolyticus* dans la rivière du Belon. Rapport d'étude. IFREMER. 13 p.
- HOODA P.S., EDWARDS A.C., ANDERSON H.A., MILLER A. (2000).** A review of water quality concerns in livestock farming areas. *The Science of the Total Environment*, 250: 143-167.
- JAN J. (2003).** Connaissance des petites pluies. Météo France. *in* Maîtrise des pollutions par temps de pluie. Impact sur les milieux récepteurs. AGHTM, colloque du 11 avril 2003.
- KERSAUDY L. (2001).** Etude des apports microbiologiques dans l'estuaire de l'Aber Benoît (zone des 500 mètres). Rapport de stage de DEUG Sciences et Vie à l'Université de Bretagne Occidentale. 27 p.
- KHOLI E., BON F., POTHIER P. (2001).** Les principaux virus de gastro-entérites chez l'homme. *Bulletin de la Société Française de Microbiologie*. vol. 16, 12 : 97-102.
- LAVOUX T., CHAPUY P. et coll. (1996).** L'environnement en France. Approche régionale. Edition 1996-1997. IFEN. La découverte, Paris. 351 p.
- LAZAROVA V., SAVOYE P., JANEX M.-L. et al. (1999).** Advanced wastewater disinfection technologies : state of the art and perspectives. *Water Science and Technology*, vol. 40, n°4-5, pp. 203-213.
- LE BEC (1999).** Modélisation du devenir des bactéries anthropiques dans la lagune de Thau. IFREMER. 30 p.
- LE BEC C., SALOMON J.-C., BRETON M. (2002).** Incidence de la station d'épuration de Lannion sur l'estuaire du Léguer. IFREMER, SEAMER. 71 p.

- LE GUYADER S., POMMEPUY M. (2002).** Contamination virale des aliments : création d'un réseau européen de surveillance et de recherche. *Revue Française des Laboratoires*, déc. 2002, 348 : 21-27.
- LE SAUX J.-C., POMMEPUY M. (2003 a).** Les méthodes de lutte – La purification des coquillages *in* Les risques sanitaires liés aux coquillages - Service d'Information alimentaire, H.C.S. International, Paris, janv. 2003, pp. 98-112.
- LE SAUX J.-C., POMMEPUY M., CAPRAIS M.-P. et al. (2003 b).** Evaluation et adaptation d'un système de purification des coquillages pour l'élimination des virus entériques. Rapport final. IFREMER, OFIMER, CNC, Prat Ar Coum. Fév. 2003. 48 p.
- LEES D. N., NICHOLSON M., TREE J. A. (1995).** The relationship between levels of *E.coli* in shellfish and in seawater with reference to legislative standards. *International Conference on Molluscan Shellfish Safety*, nov. 1994 Sydney, Australia.
- LEFTAH N. (1999).** Faisabilité du volet sanitaire des études d'impact. Cas des dossiers de stations d'épuration. Intérêts et limites de la démarche d'évaluation des risques. ENSP, Rennes, 85 p., ann. 67 p. (Mémoire d'Ingénieur du Génie Sanitaire).
- LEGEAS M. (1992).** Maîtrise des apports polluants littoraux *in* Coquillages et santé publique – du risque à la prévention. LESNE et coll., 343p. Editions ENSP, Rennes. pp.151-164.
- MARTEL A. (1996).** Etude de la pollution microbiologique d'origine animale sur le littoral normand. Mémoire de fin d'études, Institut Supérieur d'Agriculture, Angers. 58 p.
- MARTEIL L. (1979).** La conchyliculture française. Institut Scientifique et technique des pêches maritimes, Nantes. 452 p.
- MASSON D., AUGER C., BOUQUET J.-P. et al. (1999).** Recherche de pollution bactériologique dans le bassin de Marennes-Oléron. IFREMER. 14 p.
- MENESGUEN A. (1991).** Présentation du phénomène d'eutrophisation littorale *in* La mer et les rejets urbains. Actes de colloques n°11 - Bendor 13-15 juin 1990 – IFREMER, Agences de Bassin Littorales. pp. 35-52.
- MICROMER (1996 et 1997).** Bassins versants et transmission des pollutions au littoral. Aspects bactériologiques. MICROMER, CEMAGREF. 46 p. et 34 p.
- MIOSSEC L., VAILLANT V (2001).** Epidémiologie des gastro-entérites virales associées à la consommation des coquillages. *Bulletin de la Société Française de Microbiologie*, vol. 16, 2 : 103-114.
- MIOSSEC L. et coll. (2000).** Contamination virale de l'environnement littoral. Relations entre bassin versant et milieu marin dans un ensemble lagunaire méditerranéen. IFREMER. Contrat Plan Etat - Région Languedoc Roussillon. 50 p.
- MZALI L. (2001).** Détermination d'un indicateur du risque sanitaire lié à la consommation d'eau de boisson dans les secteurs ruraux "précaires" de la région métropolitaine du Chili. ENSP, Rennes, 59 p. (Mémoire d'Ingénieur du Génie Sanitaire).
- NACMCF (1992).** Assurance of seafood quality. U.S. National Advisory Committee on Microbiological Criteria for food.  
<<http://www.fao.org/DOCREP/003/T1768E/T1768E05.HTM>>
- PICOT S. (2002).** Etude rétrospective des événements du printemps 2001 ayant abouti à la contamination virale du secteur conchylicole de St-Vaast-la-Hougue (Est-Cotentin). INSA Lyon, 62 p. (Rapport de stage de fin d'études).

- PIRIOU J.-Y., DROIT J. (2002).** Apports nutritifs et bactériens en estuaire de Penzé. Année 2000. IFREMER. 124 p.
- PLUSQUELLEC A. (1992).** La contamination bactérienne des coquillages *in* Coquillages et santé publique - du risque à la prévention. LESNE et coll., 343p. Editions ENSP, Rennes. 1992. pp.51-78.
- POMMEPUY M. et GUILLAUD J.-F. (1992).** Devenir des bactéries entériques en mer. *Techniques Sciences Méthodes - L'eau* ; janv. 1992, 49-53.
- POMMEPUY M., LE GUYADER F., MIOSSEC L., et al. (2001).** Le devenir des microorganismes en zone côtière. *Techniques Sciences Méthodes* ; nov. 2001, 11 : 31-38.
- POMMEPUY M. et coll. (2002).** Contamination virale et indicateurs du risque. Rapport final. IFREMER. 98 p.
- RBDE (2000).** Etude préalable à la mise en place d'un réseau de connaissance patrimoniale du milieu marin du littoral Loire Bretagne. Méthodologie. *Dossier 98135*. SCE, CREOCEAN.
- ROSS T., SUMNER J. (2002).** A simple, spreadsheet-based, food safety risk assesement tool. *International Journal of Food Microbiology*, 77 : 39-53.
- SCHLOSSER, ROUDOT-THOROVAL (1995).** Risques professionnels d'hépatite virale A au contact des eaux usées. *Revue des Sciences de l'Eau*, 8 : 277-287.
- SCWARTZBROD L., JEHL-PIETRI C., BOHER S. et al. (1991).** La contamination par les virus *in* La mer et les rejets urbains, Bendor, 13-15 juin 1990, IFREMER – Actes de colloques 11 : 101-114.
- SCWARTZBROD L. (1993).** Contamination virale des coquillages *in* ELZIERE-PAPAYANNI et al. Coquillages. Informations Techniques des Services Vétérinaires Français, Paris. pp. 233-247.
- SOBSEY M. D., PERDUE R., OVERTON M., FISHER J. (2003).** Factors influencing faecal contamination in coastal marinas. *Water Science and Technology*, vol. 47, 3: 199-204.
- TILLIE M. (1994).** Diagnostic d'exploitation, gestion et stockage des effluents, mise en conformité des équipements *in* Maîtrise et prévention des pollutions dues aux élevages. CEMAGREF. Actes du colloque, 16 février 1994, Paris. pp. 41-53.
- TILLAUT H. (2002).** *Escherichia coli* O157:H7 : éléments pour une évaluation du risque d'infection par voie hydrique. Propositions de gestion. ENSP, Rennes, 75 p. (Mémoire d'Ingénieur du Génie Sanitaire).
- ZIDANE M., LE GUYADER S., POMMEPUY M. (2002).** Les TIAC françaises associées à la consommation d'huîtres pendant l'hiver 2000-2001. IFREMER, 28 p.
- <http://www.ifremer.fr/envlit/> : Site Environnement Littoral Ifremer.
- <http://www.invs.sante.fr/beh/1998/9830/> : Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire.
- <http://www.u444.jussieu.fr/sentiweb/>: Réseau sentinelle.
- <http://www.rnde.tm.fr/>: Réseau National des Données sur l'Eau.
- <http://www.fao.org/DOCREP/003/T1768E/T1768E05.HTM> : FAO "Assurance of seafood quality".
- [http://www.eau-seine-normandie.fr/scripts/4\\_regle/sdage\\_texte/4c2a1.html](http://www.eau-seine-normandie.fr/scripts/4_regle/sdage_texte/4c2a1.html)

# Liste des annexes

ANNEXE 1. ORGANISMES PORTEURS ET/OU CIBLES DES PRINCIPAUX MICROORGANISMES RETROUVES DANS LES COQUILLAGES ET SYMPTOMES PROVOQUES CHEZ L'HOMME.....	II
ANNEXE 2. PERIODE D'INCUBATION, DUREE DES MALADIES ASSOCIEES AUX PRINCIPAUX PATHOGENES ET PERIODE D'EXCRETION. ....	III
ANNEXE 3. ETAPES ET PRINCIPAUX FACTEURS INFLUANT SUR LE TRANSFERT DE MICROORGANISMES AU NIVEAU DU BASSIN VERSANT.....	IV
ANNEXE 4. LISTE D'INDICATEURS POTENTIELS DE LA FRAGILITE MICROBIOLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS.....	VII
ANNEXE 5. GRILLE D'INDICATEURS POUR LE BASSIN DU CUL DE LOUP (ST-VAAST-LA-HOUGUE). .....	XIII
ANNEXE 6. GRILLE D'INDICATEURS POUR LA BAIE DE LANVEUR (RADE DE BREST).....	XVIII
ANNEXE 7. GRILLE D'INDICATEURS POUR L'EST DU GOLFE DU MORBIHAN.....	XXIII

**Annexe 1.** Organismes porteurs et/ou cibles des principaux microorganismes retrouvés dans les coquillages et symptômes provoqués chez l'homme (Forsythe, 2002 ; Dupray, 1999 ; Martel, 1996 ; Baylet R., 1993).

Famille - Genre	Espèce	Organisme porteur/cible	Maladie provoquée chez l'homme
<b>BACTERIES</b>			
	<i>Salmonella</i> spp. non typhiques	H, B, P, V, O	Gastro-entérite fébrile
	<i>Listeria monocytogenes</i>	H, B, P, OV, E, C, V	Fièvre septicémique, méningite
	<i>Campylobacter jejuni</i> ( <i>C. coli</i> , <i>C. fetus</i> )	H, B, P, OV, E, C, V, O	Gastro-entérite, diarrhée sanglante
	- <i>Vibrio parahaemolyticus</i> *	- H	- Gastro-entérite, diarrhée sanglante ou sécrétoire
	- <i>Vibrio cholerae</i> non O1*	- H, B	- Diarrhée, avortement
	- <i>Vibrio vulnificus</i> *		- Fièvre septicémique
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	- H, B, P, OV, E, C, V, O	Diarrhée sanglante
	<i>Escherichia coli</i> entéropathogènes : - EIEC entéoinvasif - ETEC entérotoxigène - EHEC entérohémorragique (dont <i>E. coli</i> O157:H7) - EPEC entéropathogène	- H - H - H, B, OV, P - H	- Colite dysentérique - Diarrhée sécrétoire - Colite hémorragique
	<i>Clostridium perfringens</i> <i>Clostridium botulinum</i> *	- H, B, P, OV, E, C, V - H, B, V	- Diarrhée sécrétoire - Botulisme
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	H	Pneumonie
	<i>Shigella</i> spp.	H	Dysenterie, gastro-entérite fébrile
<b>VIRUS</b>			
<i>Picornaviridae</i> - Entérovirus	- Entérovirus 68 à 71		- Méningite, encéphalite, atteinte des voies respiratoires, conjonctivite hémorragique
	- Virus polyomyélitique	- H	- Paralysie, méningite, fièvre
- Hépatovirus	- Virus de l'hépatite A	- H	- Hépatite infectieuse
<i>Caliciviridae</i> - Norovirus (Norwalk-Like) - Saporovirus	- Virus de Norwalk - Virus de l'hépatite E - Virus Sapporo-like	- H, B? - H, P, B? - H	- Gastro-entérite - Hépatite infectieuse - Gastro-entérite
<i>Astroviridae</i>	Astrovirus humains	H, V	Symptômes respiratoires, gastro-entérite, conjonctivite, cystite, éruptions
<i>Reoviridae</i>	Rotavirus humains A et C	H, B, P	Gastro-entérite
<i>Adenoviridae</i> - Mastadenovirus	Adénovirus humains 40-41	H	Infection respiratoire, conjonctivite et gastro-entérite
<b>PROTOZOAIRES</b>			
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	H, B, P, OV, MS	Entérite, diarrhée
	<i>Giardia</i> spp.	H, B, P, OV, E, MS	Entérite, diarrhée

H : humain, B : bovin, OV : ovin, P : porcine, V : volaille, C : caprin, E : équin, O : oiseaux, M(S) : mammifères (sauvages).

\* Naturellement présents dans le milieu marin (Hervio-Heath *et al.*, 2002).

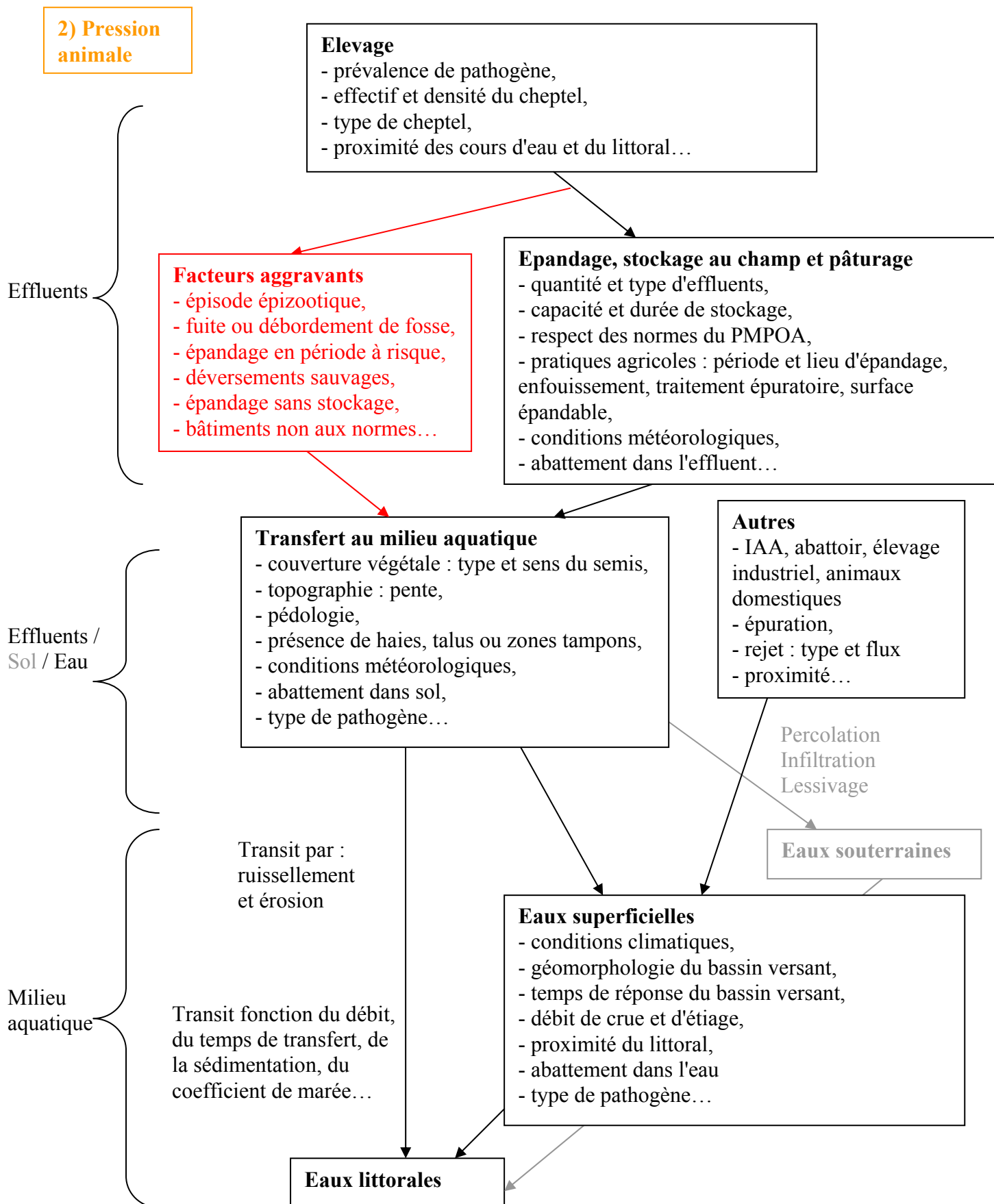
**Annexe 2.** Période d'incubation, durée des maladies associées aux principaux pathogènes et période d'excrétion (Le Guyader *et al.*, 2002 ; Forsythe, 2002 ; Baylet R., 1993 ; Nicand *et al.* 1998 in Cohen, 2001<sup>11</sup>).

<b>Microorganisme</b>	<b>Période d'incubation</b>	<b>Durée clinique</b>	<b>Période d'excrétion</b>
<i>Salmonella</i> spp.	16-72 heures	2-7 jours	3 mois
<i>Listeria monocytogenes</i>	3-70 jours	variable	
<i>Campylobacter jejuni</i>	3-5 jours	2-10 jours	plusieurs semaines
<i>Shigella</i> spp.	16-72 heures	2-7 jours	
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	8-12 heures		
<i>Yersinia enterocolitica</i>	3-7 jours	1-3 semaines	
<i>E. coli</i>			
ETEC	12-72 heures	3-5 jours	
EPEC	16-48 heures	2-7 jours	
EIEC	16-48 heures	2-7 jours	
EHEC	72-120 heures	2-12 jours	21 jours [5-124]
Hépatite A	3-60 jours ; 15-45 jours	2-4 semaines	1-6 mois
Hépatite E	20-60 jours		2 semaines
Virus Norwalk-like	12-48 heures	1-3 jours	3-18 jours
Calicivirus	24-72 heures	0-8 jours	3-18 jours
Rotavirus	24-72 heures	4-6 jours	10 jours
Astrovirus	1-2 jours	2-4 jours	12 jours
Adénovirus 40-41	8-10 jours	5-12 jours	10-14 jours
<i>Giardia</i>	9-15 jours		

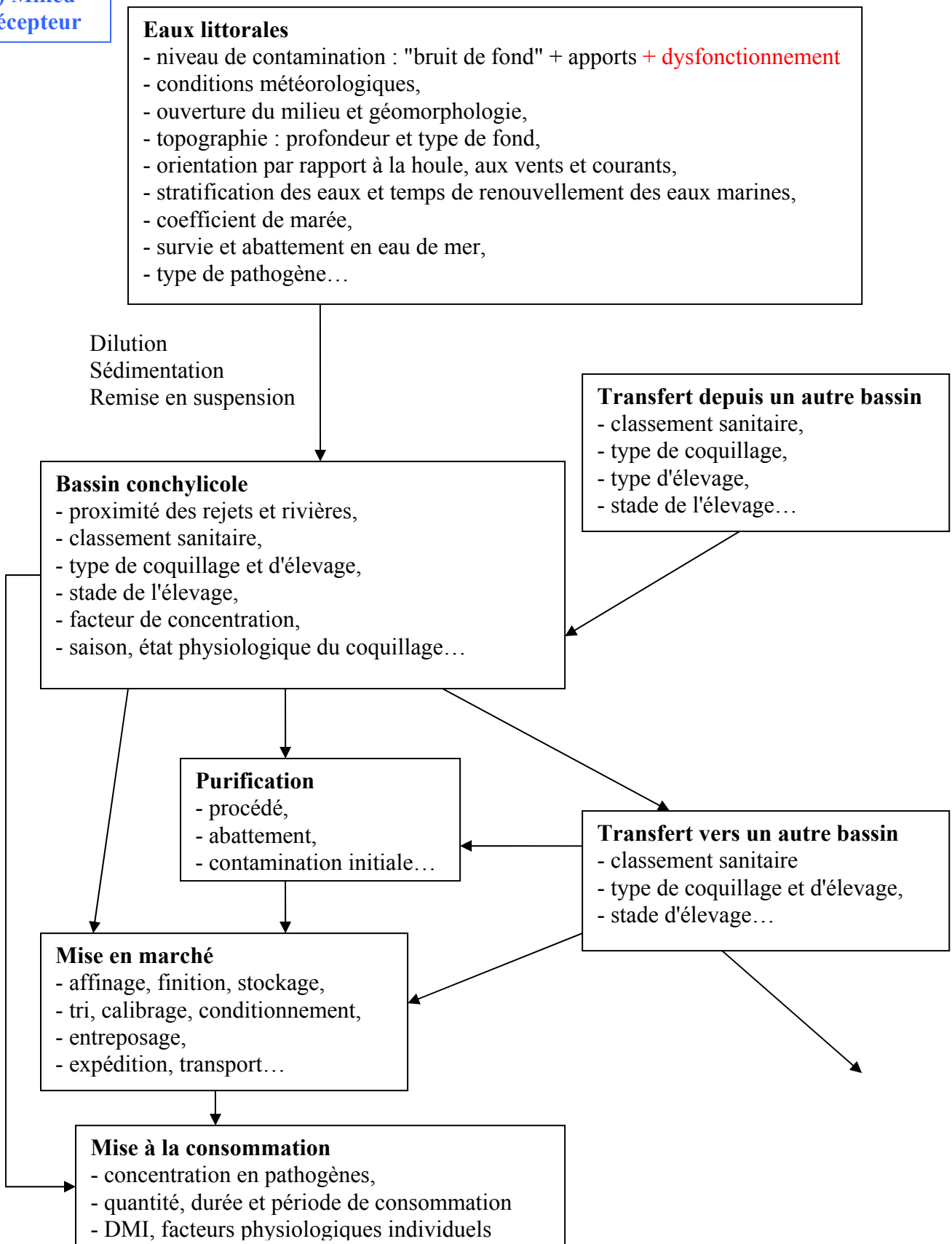
<sup>11</sup> COHEN J. (2001). Influence du portage animal sur la qualité des eaux littorales. Proposition d'études pour la convention IFREMER/INRA.







### 3) Milieu récepteur



**Annexe 4.** Liste d'indicateurs potentiels de la fragilité microbiologique des bassins versants situés à l'amont des zones conchylicoles (en grisé les données nécessaires au calcul du score de fragilité).

Thématique	Indicateur	Niveau	Nombre de points	Effet saison	Source d'information	Fiabilité	
superficie	superficie du bassin versant	i					
	superficie des communes incluses dans le BV	i					
	nombre de communes incluses dans la zone d'étude	i			Cartes IGN		
	surface de la bande des 500 m	i					
	surface de la bande de 1 km	i					
	étroit / large	3					
	cours d'eau	densité du réseau hydrographique	3			IGN, DDE, DDAF	
		nombre de rejets côtiers rivière	i			Agences de l'Eau, RNDE/DIREN, CSP, DDAF, CQEL/DDE, DDASS	
		débîts moyens (m/s)	3		*		
		présence de barrage ou retenue	3				
transfert au littoral	temps de concentration moyen	i		*	cf. partie 3.1.2		
couverture du sol	SAU communales dans la bande étudiée (ha)	i					
	% de SAU en Surface Fourragère Principale (SFP)	2			RGA 2000		
	% de SFP occupée par du maïs	2					
	% de SAU occupée par du maïs	2					
	% de la zone toujours en herbe (STH/surf. zone)	i			RGA 2000		
	% de sol nu en hiver	2		*	photographies aériennes		
	% de SAU en terres labourables (TL)	3			RGA 2000		
	% de SAU en céréales	3					
	surface de forêt / surface de la bande étudiée	3			Cartographie, RGA, DSV, DDAF, CA, SCEES, RICA, photographies aériennes, BD carto (IGN), BD Carthage 1996 Corine Land Cover		
	% sol couvert / nu	3					
topographie	linéaire de (haies, talus, zone enherbée, zone tampon, bois) / SAU	3					
	surface urbanisée	3					
	pente moyenne des versants	i			Cartes IGN, modèle numérique de terrain		

	pourcentage de surface dont la pente est >5 %	2				Cartes IGN, modèle numérique de terrain		
	altitude moyenne	3						
<b>facteurs pédologiques</b>	nature du sol	i				DDAF, cartes géologiques		
	% d'humidité du sol	3			*			
	sol hydromorphe	3				DDAF, Météo France, Chambre d'Agriculture, cartes géologiques		
	sol imperméable	3						
<b>ruissellement</b>	coefficient moyen de ruissellement	1				à partir de pente, %STH et nature du sol (cf. tableau 6)		
<b>sensibilité aux inondations</b>	% surf. inondable dans la bande 1 km	1			*	BD carto (IGN), DDE, DDAF		
	nombre d'alertes inondation / an	2						
<b>particularités</b>	zone marécageuse	3				DDE (service des crues), commune, DRIRE, cartes géologiques		
	terrain karstique	2						
	autre	3						
<b>TOTAL Bassin versant</b>								
<b>Météorologie</b>	<b>pluviométrie</b>	nb de jours de pluies > 10 mm / an	1			*	Météo France	
		nb de jours de pluies > 15 mm / an	2					
		nb de jours de pluie / an	2			*		
		pluviométrie annuelle	2			*	Météo France	
		intensité moyenne des pluies	3			*		
	durée moyenne des pluies	3			*			
		nb de séquences 10 j sans pluies > 1 mm	1			*	Météo, CSP, AAPPMA, DIREN	
	<b>température</b>	température moyenne annuelle	3			*		
		température minimale quotidienne	3			*		
		température maximale quotidienne	3			*		
<b>ensoleillement</b>	nb annuel d'heures d'ensoleillement	2			*	Météo France		
<b>conditions extrêmes</b>	nb de jours de gel / an	3			*			
	nb de jour de vent > 100 km/h	3			*			
	nb de jour de chaleur / an (T>25°C)	3			*			

TOTAL Météo							
densité humaine	nombre total d'habitants	1				INSEE (RP 1999)	
	densité de population (hab/ km <sup>2</sup> )	1				INSEE (RP 1999)	
variabilité saisonnière	apports de fécès humains en EqH	2					
	population saisonnière / pop. sédentaire	3			*	INSEE (RP 1999), Comité Départemental du Tourisme	
assainissement individuel	% assainissement individuel	1				DDE, SATESE, Bureaux d'études, études de zonage	
	part de population dispersée	2				INSEE, cartes IGN, commune, littoral	
assainissement collectif * STEP	âge moyen des maisons non raccordées	2					
	âge de la STEP	1				DDE, SATESE, Bureaux d'études, études de zonage	
	communes raccordées à la STEP	i					
	capacité nominale (EH)	i					
	procédé : BAAP / lagunage / BAFC	i					
	présence de traitement III (désinfection)	i					
	nombre annuel de dysfonctionnements	2				DDE, SATESE, Bureaux d'études, Agence de l'Eau, INSEE, police de l'eau, DDAF, DDASS, études de zonage (PLU), sociétés fermières	
	nombre annuel de by-pass de la STEP	2			*		
	taux de bilans conformes pour MIES	3					
	taux d'extraction des boues	3					
* réseau	nombre de déficiences de l'abattement	3					
	épannage des boues sur la zone	3					
	âge du réseau	1				DDE, SATESE, Bureaux d'études, études de zonage	
	% de réseau séparatif	2					
	taux de collecte des eaux usées	2					
* rejets	% erreurs de branchement	3					
	longueur du réseau de collecte	2					

	nb annuel de débordements d'effluents	2		*		
	nombre de postes de refoulement et relèvement dans la bande [0-1km]	i				
	nombre de déversoirs d'orage dans la bande [0-1km]	i			DDE, SATESE, Bureaux d'études,	
	nombre de bassins tampons dans la bande [0-1km]	i			Agence de l'Eau, INSEE, police de l'eau, DDAF, DDASS, PLU,	
	nombre d'exutoires pluviaux avec rejet au littoral dans la bande [0-1km]	i			sociétés fermières	
	type de rejet en mer de la STEP	i				
	nombre de rejets directs / surface de la bande [0-1km] en km² (postes de refoulements + déversoirs d'orage + exutoires pluviaux + rejet STEP)	1			COEL/DDE, DIREN, SATESE, Bureaux d'études, Agence de l'Eau	
autres activités dans la bande 1 km	présence d'un port de plaisance (ou commerce) non raccordé	1			AESN, DDAM, DDE, CCI	
	nombre d'établissements conchylicoles non raccordés	1			SRC	
	présence de camping non raccordé	1			Agence de l'Eau, DDAM, DDE	
	présence d'une thalassothérapie	1		*		
	présence d'hôpital, maison de retraite, école maternelle	i			DDASS	
	présence d'une zone de baignade	i			DDASS	
<b>TOTAL Pression humaine</b>						
pratiques agricoles	nombre total d'élevages	i				
	nombre d'ICPE (soumises à A et D)	2				
	nombre d'élevages hors-sol	3			DDAF, RGA 2000, DSV, Chambre d'Agriculture, DDASS	
	nombre d'élevages au RSD	3				
	nombre d'exploitations agricoles	2				
	% d'élevages aux normes = nb d'élevages aux normes / nb d'élevages soumis à autorisation	1				DDAF, DSV, Agence de l'Eau
Pression animale	effectif de bovins en UGB	2			RGA 2000	
	cheptel					

	effectif de bovins	2					
	dont effectif de vaches laitières	3					
	effectif de veaux	3					
	effectif de volailles	2					
	effectif de porcs	2					
	effectif d'ovins	2					
	effectif d'équidés	2					
	effectif d'autres animaux	2					
	effectif total d'animaux d'élevage (en EqHomme)	i					cf. tableau 7 pour les valeurs d'EHO par espèce
<b>chargement, intensification</b>	effectif animal total en EHO / ha SAU	1					
	bovin : UGB / ha de SFP ou effectif / ha SAU	i					
	porcin : effectif / ha de SAU	i					RGA 2000
	volaille : effectif / ha SAU	i					
<b>gestion des effluents</b>	SAU / surface de la bande étudiée	1					RGA 2000
	surface épanachable dans la bande 1 km	2					
	surface d'épandage dérogée sur bande 1 km	2			*		DDAF, cartes IGN, terrain
	classement en ZES	2					
	vol d'effluents / capacité de stockage	3			*		
	enfouissement ou non des effluents	3					
	existence de traitement épuratoire	3					DDAF, DIREN, Agence de l'Eau, Chambre d'Agriculture, Préfecture (arrêtés)
	pâturage en prés salés	2					
	effectif mis en pâture	3			*		
	nombre de mois de mise en pâture	3					
<b>autres activités</b>	nombre d'IAA parmi les ICPE	i					DDAF, DRIRE
	nombre d'abattoirs parmi les ICPE	i					
	âge de la STEP autonome raccordée	1					DDE, DDASS, SATESE

	volume d'effluents	3			DDE, DDASS, SATESE	
	présence de haras ou centre équestre	3			DDAF	
	littoral zone d'étape pour oiseaux migrateurs	3			DIREN	
<b>TOTAL Pression animale</b>						
<b>morphologie</b>	exposition du milieu (baie ; anse ou aber ; lagune)	1			IFREMER, Agence de l'Eau, DDAM, SHOM, cartes IGN et marine	
	courant résiduel (taux de renouvellement des eaux)	1				
<b>hydrodynamisme : capacité de dilution</b>	zone littorale sensible à l'eutrophisation	2			DIREN, IFREMER	
	indice de stratification (mélange eau douce/mer)	1		*	IFREMER, Agence de l'Eau, SHOM	
	marnage	2		*	SHOM	
	exposition à la houle	2			IFREMER, Agence de l'Eau, SHOM	
	apports éventuels d'eaux marines contaminées	1		*	IFREMER, Agence de l'Eau, SHOM	
<b>exposition aux vents et courants</b>	exposition / vents dominants	2		*	SHOM, Météo France	
	granulométrie	2			IFREMER, DDAM, SHOM, carte géologique	
	pente moyenne	2				
profondeur moyenne	3					
<b>masse d'eau</b>	possibilité de dessalures (doucein)	2		*	IFREMER, SHOM, Météo France	
	température moyenne annuelle	3		*		
	turbidité	3		*		
	ensoleillement moyen	3		*		
	exondation de la zone d'élevage	3		*		
<b>TOTAL Milieu littoral</b>						



Annexe 5. Grille d'indicateurs pour le bassin du Cul de Loup (St-Vaast-La-Hougue).

Paramètre	Indicateur	Niveau	Zone du bassin versant					Echelle de temps	Source d'information	Fiabilité
			zone immédiate	nb de points	zone rapprochée	nb de points	zone éloignée			
superficie	superficie bassin versant (ha)	i	BV côtier : 2800		BV Sinope : 72000					
	superficie de la zone (ha)	i	2997		3091		4071			
	nb de communes incluses dans la zone d'étude	i	8		10		6			
	surface de la bande des 500 m	i								
	surface de la bande de 1 km	i								
forme	étroit / large	3								
topographie	<b>coefficient moyen de ruissellement</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,23</b>	<b>0</b>	<b>0,23</b>	<b>0</b>		
	pente moyenne des versants	2	7,25%		5,65%		5,65%			
	%age de surf. dont la pente >5 %	2								
	altitude moyenne	3								
cours d'eau	densité du réseau hydrographique	3								
	longueur du linéaire	3								
	nb de rejets côtiers rivière	3								
	débîts moyens (m/s)	3								
	présence de barrage ou retenue	3								
transfert au littoral	<b>temps de concentration moyen</b>	<b>i</b>	<b>4h20</b>		<b>12h30</b>					
couverture du sol	% Surface Fourragère Principale (SFP)	2							RGa 2000	1
	% surf. de maïs (dans SFP)	2							RGa 2000	1
	surf. occupée par du maïs en % SAU	2	10%SAU						RGa 2000	1
	% surf. toujours en herbe (dans SAU des exploitations)	2	62 % SAU		73% SAU		66% SAU			
	<b>% surf. de la zone toujours en herbe (STH/surf zone)</b>	<b>1</b>	<b>42%</b>	<b>0</b>	<b>61%</b>	<b>0</b>	<b>47%</b>		<b>RGa 2000</b>	<b>1</b>
	% sol nu en hiver	2								
	SAU des exploitations (ha)	i	2069		2604		2890			
SAU communales (ha)	i	2126		2468		2871		RGa 2000	1	
	surface de terres labourables (TL)	3						RGa 2000	1	
	surface céréales (dans TL)	3								
	surface de la zone occupée par forêt	3	3 km²=10,7%		0		1,5km²=2%			
	% sol couvert / nu	2								





Pression humaine											
densité humaine	nombre total d'habitants	i	2935		1152		1617			RP 1999	1
	<b>densité de population (hab/ km<sup>2</sup>)</b>	<b>1</b>	<b>98</b>	<b>1,2</b>	<b>37</b>	<b>1</b>	<b>40</b>	<b>1</b>		<b>RP 1999</b>	<b>1</b>
	apports de fèces humains en EqH	2								RP 1999	1
variabilité saisonnière	population saisonnière / sédentaire	3								RP 1999	1
	<b>% assainissement individuel</b>	<b>1</b>	<b>25%</b>	<b>0,1</b>	<b>25%</b>	<b>0,1</b>	<b>25%</b>	<b>0,1</b>			
assainissement individuel	part de population dispersée	2									
	âge moyen des maisons non raccordées	2									
assainissement collectif * STEP	<b>âge de la STEP</b>	<b>1</b>	<b>1978</b>	<b>0,4</b>	<b>&gt; 10 ans</b>	<b>0,4</b>	<b>?</b>	<b>0</b>		<b>DDE</b>	<b>DDE</b>
	communes raccordées à la STEP	i	Morsalines, Quettehou, St Vaast		Quineville					DDE	
	capacité nominale (EH) (hiver-été)	i	5000-10000		350						
	procédé : BAAP / lagunage / BAFC	i	BA avec zone d'anoxie		lagune						
	présence de traitement III (désinfection)	i	lagune III								
	nb annuel de dysfonctionnements	2									
	nb annuel de by-pass de la STEP	2									
	taux de bilans conformes pour MES	3									
	taux d'extraction des boues	3									
	nb de déficiences de l'abattement	3									
* réseau	épannage des boues sur la zone	3									
	<b>âge du réseau</b>	<b>1</b>	<b>&gt;10 ans</b>	<b>0,4</b>	<b>?</b>	<b>0,4</b>	<b>?</b>	<b>0,4</b>		<b>DDE</b>	
	% de réseau séparatif	2								DDE	
	taux de collecte des eaux usées	2									
	% erreurs de branchement	3									
	taux d'eaux parasites (en séparatif)	3									
	<b>nb de rejets directs /km<sup>2</sup> de surf de la zone</b>	<b>1</b>	<b>8+1STEP+5 P =14/28=0,5</b>	<b>0,05</b>	<b>&gt; 0,5</b>	<b>0,05</b>	<b>?</b>	<b>0</b>		<b>DDE</b>	
	longueur du réseau de collecte	2									
	nb annuel de débordements défluent	2									
	* rejets	nb de postes de refoulement et relèvement avec rejet au littoral	i	8							DDE
nb de déversoirs d'orage		i									
nb de bassins tampons		i									
nb d'exutoires pluviaux avec rejet au littoral		3	5							DDASS	
type de rejet en mer de la STEP		i	dans le port								

autres activités dans la bande 1 km	présence d'un port (plaisance ou commerce) non raccordé	1	oui	0											
	établissements conchylicoles non raccordés	1	oui	0,05											
	présence de camping non raccordé	1	oui	0,05											
	présence d'une thalassothérapie	1	non	0,05											
TOTAL Pression humaine	présence d'hôpital, maison de retraite, école maternelle	i													
	présence d'une zone de baignade	i													
<b>Caractéristiques du milieu récepteur</b>															
TOTAL Milieu littoral	exposition du milieu (Baie ; anse ou aber ; lagune)	1	anse abritée	1,2									IFREMER	1	
	hydrodynamisme : capacité de dilution	1	moyen	0,6									IFREMER	1	
	exposition aux vents et courants	zones sensibles à l'eutrophisation	2												
		indice de stratification (mélange eau douce/mer)	1	faible	0									IFREMER	1
	type de fond	exposition à la houle	2											SHOM (St Vaast)	2
		granulométrie	2	protégé des vents ouest										IFREMER	
		pende moyenne	2	sable, vase											
		profondeur moyenne	2	0,40%											
	masse d'eau	possibilité de dessalures (doucein)	3	oui											
		température moyenne	3												
turbidité		3													
ensoleillement moyen		3													
exondation de la zone délevage															
TOTAL Milieu littoral															
2,2															
TOTAL PAR ZONE			Z <sub>1</sub> =	5,29	Z <sub>2</sub> =	3,95	Z <sub>3</sub> =	3,5							
SCORE DE FRAGILITE		SF =	12,305												

## Annexe 6. Grille d'indicateurs pour la baie de Lanveur (rade de Brest).

Paramètres	Indicateurs	Niv	valeurs et nombre de points par zone						Sources d'information	Fiabilité				
			zone immédiate		zone rapprochée		zone éloignée							
			valeurs	Nb points	valeurs	Nb points	valeurs	Nb points						
superficie	superficie du bassin versant (ha)	i	1515		4249		5546		Réseau RADE - CUB	1				
			superficie des communes incluses dans le BV (ha)											
	nb communes incluses ds zone	i	i	4		3		7		carte IGN	1			
				surface de la bande des 500 m										
				surface de la zone immédiate (ha)	1515									
				forme	étroit / large									
	topographie	<b>coefficient moyen de ruissellement</b>	1	<b>0,50</b>	<b>0,8</b>	<b>0,50</b>	<b>0,8</b>	<b>0,50</b>	<b>0,8</b>	<b>cf. tableau</b>	<b>1</b>			
				pente moyenne	i		5-10%			5-10%		carte IGN	2	
				% de la surf. dont la pente >5 %	2									
	cours d'eau	Longueur du réseau hydrographique	3	13 km		30 km		44 km		Réseau RADE - CUB	1			
nb de rejets côtiers (rivières)				3					sortie sur le terrain	1				
débîts moyens				3					Syndicat Mixte de l'Elorn	1				
présence de barrage ou retenue				3							1			
transfert au littoral	<b>temps de concentration moyen</b>	i	<b>8h30</b>						<b>cf. PASSINI</b>	<b>2</b>				
			% de SAU en Surface Fourragère Principale (SFP)	2	69%		52%				56%	DDAF - Quimper	1	
				% de SFP occupée par du maïs	2	20%		33%						38%
			% de SAU occupée par du maïs	2	14%		17%				21%	1		
				% de SAU toujours en herbe (STH/SAU)	i	23%		9%			20%		1	
			% sol nu en hiver	2										
			SAU communale (ha)	1	1	Daoulas : 344,21		Dirinon (2/3) : 397,02				La Martyre : 775,01		1
						Dirinon (1/3) : 198,51		Irvilleac : 1915,02				Le Tréhou : 1139,89		
						Loperhet : 147,40		St Urhain : 955,05				Pencran : 0		
						Logonna : 194,85						Ploudiry : 503,15		
						St Eloy : 100,15								



	nb délevages au RSD	3	23			37			44				
<b>cheptel</b>	effectif de bovins en UGB	2											2
	effectif de bovins (EHo)	2	51767			25196			34032				1
	dt effectif de vaches laitières (EHo)	3	557			7888			8199				1
	effectif de veaux	3											
	effectif de volailles (EHo)	2	45241			46119			95812				1
	effectif de porcs	2	254371			863767			2440779				1
	effectif d'ovins	2											
	effectif d'équidés	2											
	effectif autres	2											
	effectif total d'animaux (en EHo)	1	304789			935083			2570623				1
	nb d'animaux dans les fermes aux normes (EHo)	2											
	nb d'animaux dans les fermes non aux normes (EHo)	2											
<b>chargement, intensification</b>	<b>effectif animal total (en EHo) / ha SAU</b>	<b>1</b>	<b>405</b>	<b>1</b>	<b>286</b>	<b>1</b>	<b>740</b>	<b>1,2</b>	<b>DDAF - Quimper</b>	<b>1</b>			
	bovin : nb / ha SAU	2	1		1,1		1,4		DDAF - Quimper	1			
	porcin : nb / ha de SAU	2	5		4		11			1			
	volaille : nb / ha SAU	2	241		56		110			1			
<b>gestion des effluents</b>	surface épanachable dans la zone immédiate	2											
	<b>SAU/surf secteur</b>	<b>1</b>	<b>50%</b>	<b>0,2</b>	<b>77%</b>	<b>0,5</b>	<b>63%</b>	<b>0,2</b>	<b>DDAF Finistère</b>	<b>1</b>			
	surface d'épandage dérogée sur bande 1 km	2											
	communes dans canton classé en ZES	2	Dirinon		-				Treffenez, Le Trehou, Ploudiry				
	nb mois interdits pour l'épandage	3											
	capacité de stockage	3											
	vol d'effluents / capacité de stockage	3											
	ratio lisier / fumier	3											
	durée de stockage	3											
	nb débordements de fosse	3											
	ajout contenu de fumure	3											
	enfouissement ou non effluents	3											
	existence traitement épuratoire	3											
	<b>pâturage</b>	pâturage en prés salés	2										
		effectif mis en pâture	3										
		nb mois de mise en pâture	3										
	<b>autres activités</b>	nb IAA parmi les ICPE	1	0		0		0		DRIRE - Quimper	1		
nb abattoirs parmi les ICPE		1	0		0		0		DSV - Brest	1			
<b>âge de la STEP raccordée</b>		<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>cf. ci-dessus</b>	<b>2</b>			
vol. d'effluents		3							cf. ci-dessus				
	présence de haras ou centre équestre	3							sortie sur le terrain				



Pression humaine											
TOTAL	zone d'étape pour oiseaux migrateurs	3									
Pression animale	nombre total d'habitants	1	2842	1,4	zone rapprochée	1,5	zone éloignée	1,44	Réseau RADE - CUB	1	
densité humaine	densité de population (hab/km <sup>2</sup> )	1	188	1,3	57	1	23	1	Réseau RADE - CUB	1	
variabilité saisonnière	apports de fèces humains en EH	2							Réseau RADE - CUB	1	
assainissement individuel	population saisonnière / pop. sédentaire	3	Caravanning								
assainissement collectif * STEP	% assainissement individuel	1	44%	0,1	47%	0,1	68%	0,1	mairies	2	
	part de population dispersée	2									
assainissement collectif * STEP	âge moyen des maisons non raccordées	2									
	âge de la STEP	1	> 10 ans	0,4	> 10 ans	0,4	5-10 ans	0,2	mairies	2	
	communes avec STEP + rejet dans BY	1	Daoulas, Dirinon		St Urbain, Irvillac		La Martyre, Ploudiry		mairies	2	
	capacité nominale (EH)		Daoulas : 1500		St Urbain : 800		La Martyre : 350				
	procédé : BAAP / lagunage / BAFC	1	Dirinon : 1700		Irvillac : 600		Ploudiry : 700				
			Daoulas : lagunage		St Urbain : BA		La Martyre : lagunage				
	présence de traitement III (désinfection)	1	Dirinon : lagunage		Irvillac : lagunage		Ploudiry : lagunage				
		1	aucun		aucun		aucun				
	* réseau	nb annuel de dysfonctionnements	2	> 0 j/an		> 0 j/an		> 0 j/an			2
		nb annuel de by-pass de la STEP	2								
taux de bilans conformes pour MES		3									
taux d'extraction des boues		3									
nb de déficiences de l'abattement		3									
épannage des boues sur la zone		3									
âge du réseau		1	> 10 ans	0,4	> 10 ans	0,4	5-10 ans	0,2	mairies	2	
% de réseau séparatif		2									
taux de collecte des eaux usées		2									
% erreurs de branchement		3									
* rejets	taux d'eaux parasites (en séparatif)	3									
	nb de rejets directs /km <sup>2</sup> de zone	1	0,5-1	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	sortie terrain	3	
	longueur du réseau de collecte	2									
	nb annuel de débordements deffluents	2									
	nb de postes de refoulement et/ou de relèvement	1	Daoulas : 5		Saint-Urbain : 2		Ploudiry : 1		mairies	3	
	nb de déversoirs d'orage	1	0		0		0				
	nb de bassins tampons	1	0		0		0				
	nb d'exutoires pluviaux	1	Daoulas : 5							3	
	type de rejet de la STEP	1	2		2		2			1	
	autres activités dans	1	non						sortie terrain	1	

la zone immédiate	nb d'établissements conchylicoles	1	2					Affaires Maritimes - Brest	1
	présence de camping non raccordé		oui	0,05		0		sortie terrain	2
	présence d'une thalassothérapie	1	non					maîtres	1
	présence d'hôpital, maison de retraite, école maternelle	i	non					sortie terrain	2
	présence d'une zone de baignade	i	non					cf. carte IGN	
<b>TOTAL</b>	<b>Pression humaine</b>		<b>zone immédiate</b>	<b>2,65</b>	<b>zone rapprochée</b>	<b>2</b>	<b>zone éloignée</b>	<b>1,6</b>	
Milieu littoral	type de milieu	exposition du milieu (baie ; anse ou aber ; lagune)	1	abrité	1,2			Agences de l'eau, IFRIMER	1
		courant résiduel (taux de renouvellement des eaux)	1	moyen	0,6				1
	hydrodynamisme: capacité de dilution	zones sensibles à l'eutrophisation	2						
		indice de stratification (mélange eau douce/mer)	1	fort	1,2			SHOM	1
		marnage	2						
	exposition aux vents et courants	exposition à la houle	2	abrité				Agences de l'eau, IFRIMER	1
		apports éventuels d'eaux marines contaminées	1	non	0			Agences de l'eau, IFRIMER	1
	type de fond	exposition / vents dominants	2	non bénéfique				SHOM, Météo France	
		granulométrie	2	vaseux				sortie sur le terrain	
		pente moyenne	2						
profondeur moyenne		3							
possibilité de dessalures (douxin)		2							
masse d'eau	température moyenne annuelle	3							
	turbidité	3							
	ensoleillement moyen	3							
	exondation de la zone d'élevage	3							
<b>TOTAL</b>	<b>Milieu littoral</b>				<b>3</b>				
<b>TOTAL PAR ZONE</b>			<b>Z<sub>1</sub> =</b>	<b>4,85</b>	<b>Z<sub>2</sub> =</b>	<b>4,3</b>	<b>Z<sub>3</sub> =</b>	<b>3,84</b>	
<b>SCORE DE FRAGILITE TOTAL</b>		<b>SF =</b>			<b>13,012</b>				

Annexe 7. Grille d'indicateurs pour l'est du Golfe du Morbihan (rivières Marle et Vincin).

Paramètre	Indicateur	Zone du bassin versant						Echelle de temps	Source d'information	Fiabilité	
		Bassin versant	zone immédiate	nb de points	zone rapprochée	nb de points	zone éloignée				nb de points
superficie	superficie bassin versant (ha)	13127	3988		6409		2730		BD Carto	1	
	superficie de la zone (ha)		2997		3091		4071			1	
	nb de communes incluses dans la zone d'étude	9	5		5		4				
	surface de la bande de 500 m										
	surface de la bande de 1 km	3988									
forme	étroit / large										
topographie	<b>coefficient moyen de ruissellement</b>		<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,21</b>	<b>0</b>	<b>0,27</b>	<b>0,4</b>		3	
	pente moyenne des versants		5%		3%		8%		IGN		
	%age de surf. dont la pente >5 %										
	altitude moyenne										
cours d'eau	densité du réseau hydrographique										
	longueur du linéaire										
	nb de rejets côtiers rivière										
	débîts moyens (m/s)										
	présence de barrage ou retenue										
transfert au littoral	<b>temps de concentration moyen</b>	<b>Tc=12h40 (pente talweg=0,95% pour 11,5 km)</b>								<b>IGN, Passini</b>	<b>2</b>
couverture du sol	% Surface Fourragère Principale (SFP)								RG A 2000	1	
	% surf. de maïs (dans SFP)								RG A 2000	1	
	surf. occupée par du maïs en % SAU	19%	19%		73%		66%		RG A 2000	1	
	% surf. toujours en herbe (dans SAU des exploitations)										
	<b>% surf. de la zone toujours en herbe (STH/surf zone)</b>		<b>10%</b>		<b>51%</b>		<b>24%</b>		<b>RG A 2000</b>	<b>2</b>	
	% sol nu en hiver										
	SAU des exploitations (ha)	7311									
	SAU communales (ha)	6760							RG A 2000	1	
	surface de terres labourables (TL)	39%							RG A 2000	1	
	surface céréales (dans TL)										
surface de la zone occupée par forêt		0		0		50% (16 km²)		IGN	2		
% sol couvert / nu											
sens du semis											
linéaire de haies, talus, zone enherbée, zone tampon, bois) / SAU											

	surface urbanisée		46%	0	29%	0	5%	0	0,4	BD Carto	2
sensibilité aux inondations	% surf. inondable		<10 %	0	<10 %	0	<10 %	0		BD Carto	2
	nb dalertes inondation / an										
particularités	zone marécageuse										
	terrain karstique		non								
facteurs pédologiques	autre										
	% d'humidité du sol										
	profondeur du sol										
	nature du sol										
	sol hydromorphe										
	sol imperméable										
<b>TOTAL Bassin versant</b>											
pluviométrie	nb jours de pluies > 10 mm / an	64 j		zone immédiate	0,8	zone rapprochée	0	zone éloignée	0,4	Station météo Vannes	1
	nb de j de pluies > 15 mm / an	31j							0,97-	Station météo Vannes	1
	nb de j de pluie / an	211j							02	Station météo Vannes	1
	pluviométrie annuelle	850 mm									1
	intensité moyenne des pluies										
	durée moyenne des pluies										
	nb séquences 10 j sans pluie > 1mm	3,8	<4	0							
	température moyenne								moyenne		
	température minimale quotidienne	3°C							moy. 61-	Station météo Vannes	2
	température maximale quotidienne	22°C							90	Station météo Vannes	2
ensoleillement	nb d'heures annuel d'ensoleillement	2000 h							Station météo Vannes	2	
conditions extrêmes	nb jours de gel / an	34 j								Station météo Vannes	2
	nb de jour de vent > 100 km/h									Météo France Vannes	
	nb de jour de chaleur / an (T>25°C)	36 j								Station météo	2
<b>TOTAL Météo</b>											
pratiques agricoles	nb total délevages								1		
	nb d'exploitations agricoles										
	% d'élevages aux normes	25%		0,2		0,2		0,2		DDAF 56	1
	% ICPE (A ou D)	5A et 14D								DDAF 56	1
	% délevages hors-sol										
cheptel	nb délevages au RSD										
	effectif de bovins en UGB										
	effectif de bovins en têtes et (EHo)	7621(55100)								RG A 2000	1
	dont effectif de vaches laitières										1
	effectif de veaux										1





	présence de camping non raccordé		oui	0,05															
	présence d'une thalassothérapie		non	0															
	présence d'hôpital, maison de retraite, école maternelle																		
	présence d'une zone de baignade																		
<b>TOTAL Pression humaine</b>				<b>zone immédiate</b>	<b>2,39</b>	<b>zone rapprochée</b>	<b>2,21</b>	<b>zone éloignée</b>	<b>1,95</b>										
<b>type de milieu</b>	exposition du milieu (baie ; anse ou aber ; lagune)	<b>golfe abrité</b>		<b>1,2</b>															
<b>hydrodynamisme : capacité de dilution</b>	courant résiduel (taux de renouvellement des eaux)	<b>fort</b>		<b>0</b>															
	zones sensibles à l'eutrophisation																		
	indice de stratification (mélange eau douce/mer)	<b>mélange faible</b>		<b>0</b>															
	marrage																		
	exposition à la houle	<b>abrité</b>																	
<b>exposition aux vents et courants</b>	panache fluvial: apports éventuels d'eaux marines contaminés	<b>oui</b>		<b>0,4</b>															
	exposition / vents dominants																		
	granulométrie	<b>vaseux</b>																	
	pente moyenne																		
	profondeur moyenne																		
	possibilité de dessalures (doucin)																		
	température moyenne																		
	turbidité																		
	ensoleillement moyen																		
	exondation de la zone d'élevage																		
<b>TOTAL Milieu littoral</b>					<b>1,6</b>														
<b>TOTAL PAR ZONE</b>				<b>Z<sub>1</sub> =</b>	<b>4,59</b>	<b>Z<sub>2</sub> =</b>	<b>3,91</b>	<b>Z<sub>3</sub> =</b>	<b>3,55</b>										
<b>SCORE DE FRAGILITE</b>		<b>SF =</b>			<b>10,992</b>														