



Institut National de la Recherche Agronomique

Équipe Écotoxicologie et Qualité des Milieux
UMR INRA-ENSAR Écobiologie et Qualité des Hydrosystèmes Continentaux
65, rue de Saint-Brieuc
35042 RENNES CEDEX

Évaluation à long terme des effets de la démoustication dans le Morbihan

Suivi de l'impact écotoxicologique
des traitements sur les invertébrés aquatiques
entre 1998 et 2001

Rapport de synthèse

Juin 2002



Conseil Général du Morbihan
Hôtel du Département
Rue Saint Tropez
56009 VANNES CEDEX

Étude réalisée par :

Laurent LAGADIC, Thierry CAQUET,

Damien FOURCY et Micheline HEYDORFF

Équipe Écotoxicologie et Qualité des Milieux
UMR INRA-ENSAR Écobiologie et Qualité des Hydrosystèmes Continentaux
65, rue de Saint-Brieuc
35042 RENNES CEDEX

Évaluation à long terme des effets de la démoustication dans le Morbihan

Suivi de l'impact écotoxicologique
des traitements sur les invertébrés aquatiques
entre 1998 et 2001

Étude coordonnée par :

le Conseil Scientifique de l'Observatoire Départemental de l'Environnement du Morbihan

Étude réalisée pour le compte du :

Conseil Général du Morbihan

Rapport de synthèse

Juin 2002

Sommaire

Mise en place du suivi de l'impact écotoxicologique de la démoustication : origine et contexte	1
Présentation générale du suivi écotoxicologique	1
Justification	1
Mise en œuvre du suivi	3
Présentation des stations d'étude.....	5
Méthodes d'étude	8
Synthèse des principaux résultats.....	9
Le suivi a-t-il montré que les traitements contre les moustiques pouvaient avoir des effets néfastes sur d'autres espèces animales dans les zones humides littorales ?.....	9
Le suivi a-t-il contribué à faire évoluer les modalités de traitement depuis le début des opérations ?.....	15
Les effets observés sur les espèces-sentinelles peuvent-ils avoir des répercussions au niveau des populations ?.....	15
La communauté d'invertébrés dans son ensemble est-elle affectée par les traitements ?.....	16
Conclusion : évaluation du risque lié à la démoustication	19
Les risques engendrés par la démoustication, telle qu'actuellement pratiquée dans le Morbihan, sont-ils élevés ?	20
Les deux produits présentent-ils le même niveau de risque ?	20
Sur la base des résultats du suivi effectué, est-il possible de se prononcer sur les risques en cas de modifications des pratiques de démoustication ?.....	20
Existe-t-il des méthodes alternatives de démoustication permettant de réduire les risques liés à l'emploi d'insecticides ?	21
Glossaire	22

Mise en place du suivi de l'impact écotoxicologique de la démoustication : origine et contexte

Depuis près d'une dizaine d'années, les nuisances occasionnées par l'abondance des moustiques dans des zones touristiques du littoral morbihannais ont conduit le Conseil Général, sensibilisé à ce problème par les élus locaux, à envisager le recours à un programme de démoustication confié à l'Entente Interdépartementale pour la Démoustication du Littoral Atlantique (EID-Atlantique), afin d'éviter des initiatives individuelles inadéquates pouvant être néfastes pour l'environnement. L'EID-Atlantique a d'emblée préconisé une méthode de lutte intégrée, c'est-à-dire associant lutte chimique et lutte biologique.

Dans le même temps, le Conseil Général du Morbihan a sollicité l'avis du Conseil Scientifique de l'Observatoire Départemental de l'Environnement du Morbihan (ODEM). Ce dernier, conscient des risques présentés par l'introduction de biocides dans l'environnement, a jugé, dès 1993, qu'une évaluation des effets à long terme de la démoustication, sous la forme d'une étude préalable aux opérations de démoustication à grande échelle, était une mesure de précaution nécessaire.

Depuis Janvier 1998, les opérations de démoustication ont débuté dans deux secteurs-pilotes du Morbihan, le secteur "Rivière de Pénerf-Marais de Billiers" et le secteur "Rivière d'Étel". Dans ces secteurs-pilotes, l'EID-Atlantique a recours à l'emploi de l'Abate[®] 500e (formulation contenant 50% de téméphos, insecticide organophosphoré) et du Vectobac[®] 12AS (préparation commerciale à base de la bactérie *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* ou *Bti*, à raison de 1,2%). Simultanément, un programme de suivi des effets écotoxicologiques potentiels de la démoustication sur les invertébrés non-cibles a été mis en place dans trois sites d'études (Tréhervé, Ambon, Locoal-Mendon) situés dans les secteurs-pilotes.

Présentation générale du suivi écotoxicologique

Justification

Les résultats des études publiées sur les effets écotoxicologiques des larvicides à base de téméphos ou de *Bti* sur les invertébrés sont très hétérogènes, ces effets variant selon les espèces non-cibles considérées, les formulations de larvicide utilisées et les doses de matière active appliquées lors des traitements. Les insectes et les crustacés apparaissent comme étant des groupes particulièrement sensibles. Concernant le téméphos, lorsque la dose de traitement

est supérieure à 32 g de matière active par hectare, la plupart des études montrent des effets significatifs chez ces organismes. D'autre part, les larvicides à base de *Bti* semblent susceptibles d'induire des effets observables à long terme sur certaines populations de Diptères uniquement dans le cas de traitements avec des fortes doses ou avec une fréquence élevée.

Chaque situation représentant un cas particulier, le risque lié à la démoustication ne peut être évalué *a priori* et nécessite des études adaptées aux sites concernés. Il est par ailleurs indispensable d'avoir une vision globale des effets potentiels, à différents niveaux d'organisation biologique (Fig. 1), ce qui implique de s'intéresser à la fois à l'état de santé des animaux et au bon fonctionnement de leurs populations, et ce, sur une période de temps suffisante pour prendre en compte les variations saisonnières.

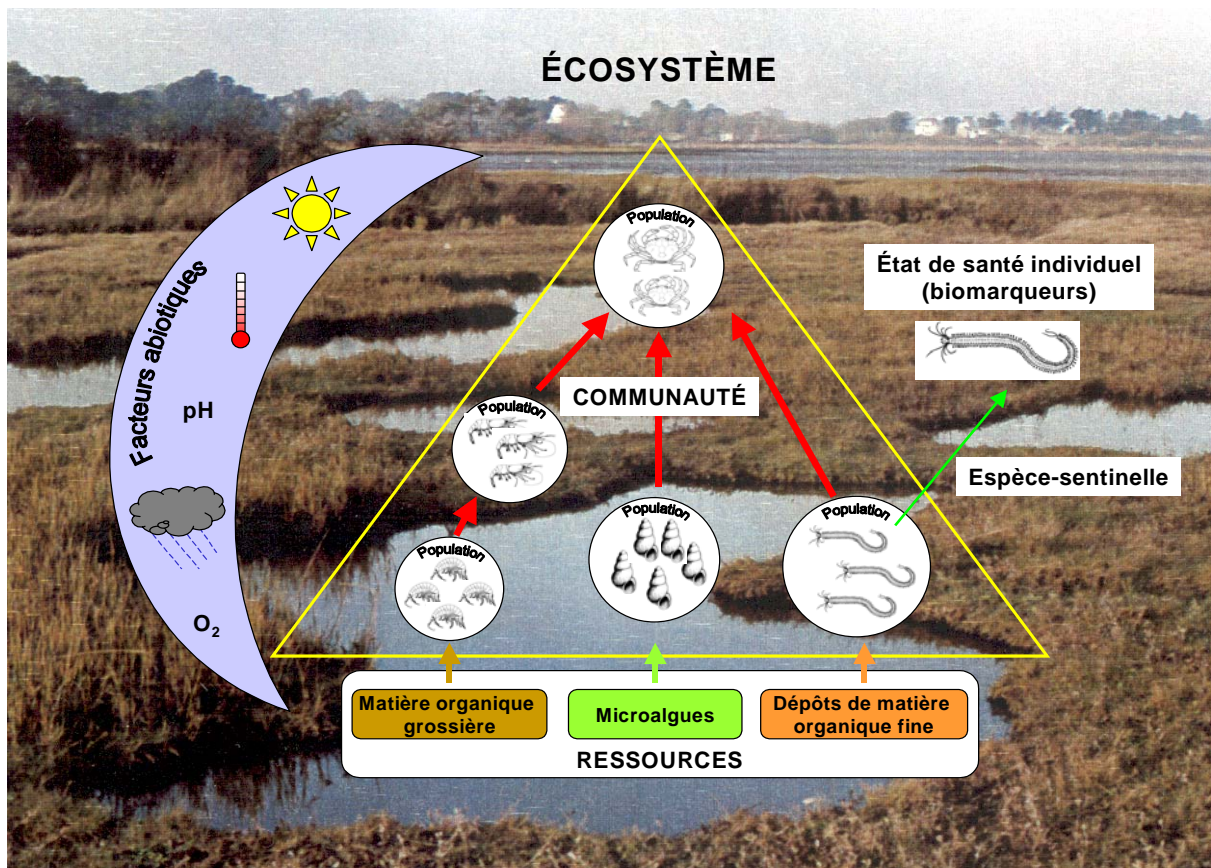


Figure 1. Représentation schématique des différents niveaux d'organisation biologique auxquels les effets de la démoustication peuvent être étudiés.

Les effets de l'introduction d'un insecticide dans l'environnement peuvent se manifester à des niveaux variés, depuis celui des individus jusqu'à celui des communautés, voire des écosystèmes. Une communauté constitue un ensemble de populations interconnectées ou susceptibles de l'être. Les interactions entre les populations constitutives d'une communauté peuvent, par exemple, être des relations de compétition, de prédation ou de mutualisme.

Mise en œuvre du suivi

La première phase de ce programme, qui s'est déroulée entre Janvier et Novembre 1998, a consisté en la définition de méthodologies adaptées au suivi des effets de la démoustication sur les invertébrés non-cibles. Les méthodes de suivi de l'impact des larvicides sur les individus de deux espèces-sentinelles, le chironome (*Chironomus salinarius* ; Diptère Chironomide) et la néréis (*Nereis diversicolor* ; Annélide Polychète), ont alors été définies, mises au point et en grande partie validées ; l'approche retenue pour la détection des effets au niveau individuel était basée sur l'utilisation de biomarqueurs. Dans un contexte d'évaluation de l'impact des polluants, les biomarqueurs constituent actuellement des outils biologiques modernes permettant de mettre en évidence l'exposition des organismes à un ou des contaminants et, dans certains cas, d'évaluer les effets de cette exposition en fournissant des informations sur l'état de santé des individus.

La deuxième phase du programme a débuté en Février 1999 et s'est achevée en Octobre 2001. Cette étude a comporté deux volets (Fig. 2) :

- le premier volet a consisté en **l'étude des biomarqueurs chez les deux espèces-sentinelles**, le chironome et la néréis, conformément aux protocoles établis au cours de l'année 1998. Les biomarqueurs mesurés chez les deux espèces étaient des activités enzymatiques (acétylcholinestérase, carboxylestérases et Na^+/K^+ -ATPase) susceptibles d'être affectées par les produits utilisés contre les larves de moustiques. Chez le chironome, le phénomène de l'émergence, qui représente une étape critique du cycle de vie de l'animal, a aussi été utilisé comme biomarqueur physiologique des effets des produits sur le développement des insectes.

- le second volet a été consacré à **l'étude des communautés de macro-invertébrés** sur lesquelles la démoustication pourrait avoir un impact à plus ou moins long terme. Dans ce cas, il a été nécessaire de définir et de mettre au point des méthodologies adaptées permettant d'établir un protocole pouvant ensuite être appliqué dans le cadre d'un programme de surveillance biologique à long terme. Les informations recueillies sur les communautés de macro-invertébrés des zones témoins et traitées des différentes stations d'étude ont été exploitées d'une part d'un point de vue taxonomique, afin de réaliser une étude comparée de la biodiversité, et d'autre part d'un point de vue fonctionnel, afin de quantifier les variations de l'abondance relative des différents groupes trophiques (herbivores, détritivores, prédateurs) contribuant au fonctionnement de l'écosystème (Fig. 3).

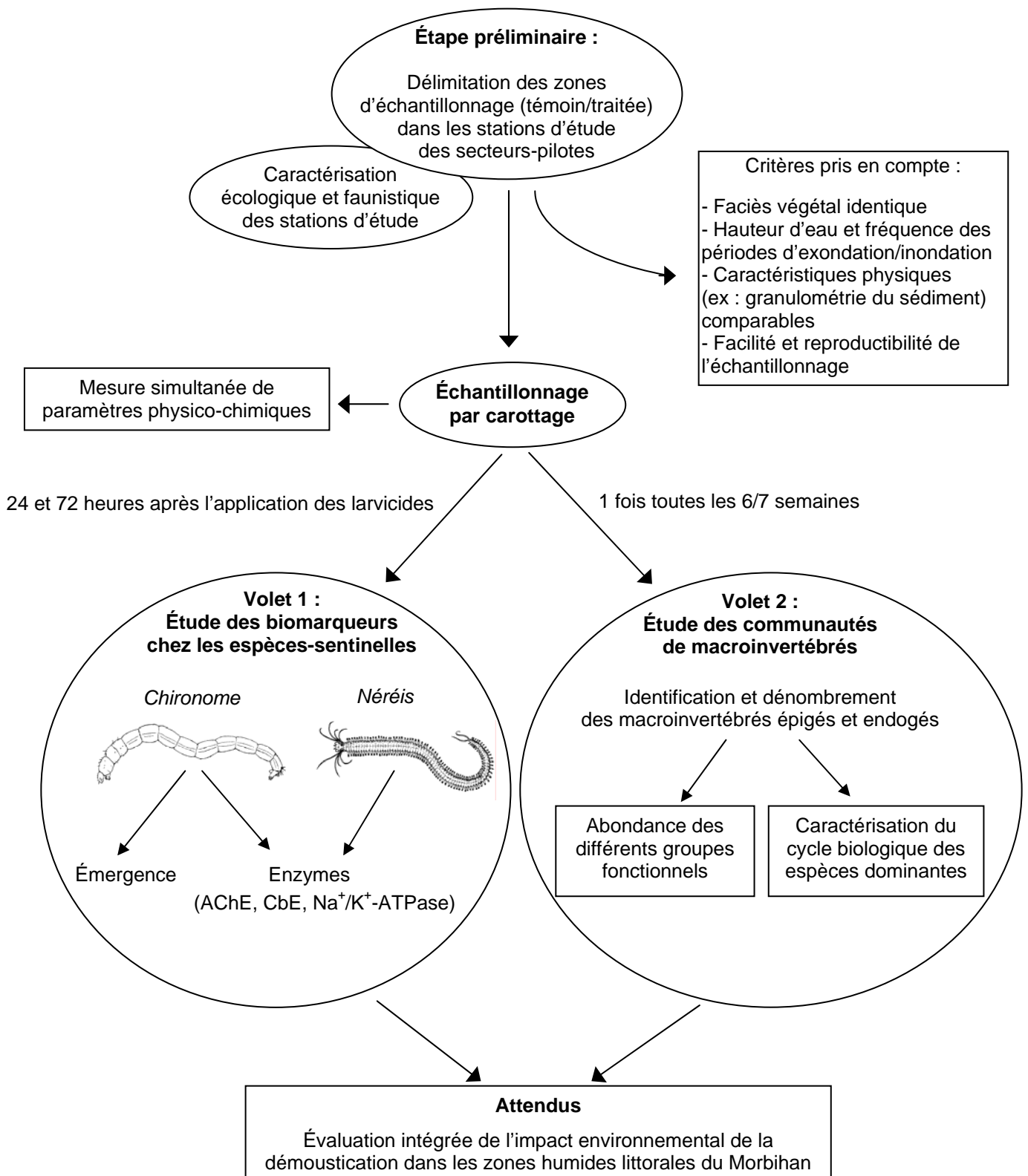


Figure 2. Représentation schématique de la démarche générale mise en œuvre de 1998 à 2001 pour le suivi des effets écotoxicologiques potentiels de la démoustication sur les invertébrés non-cibles dans le Morbihan.

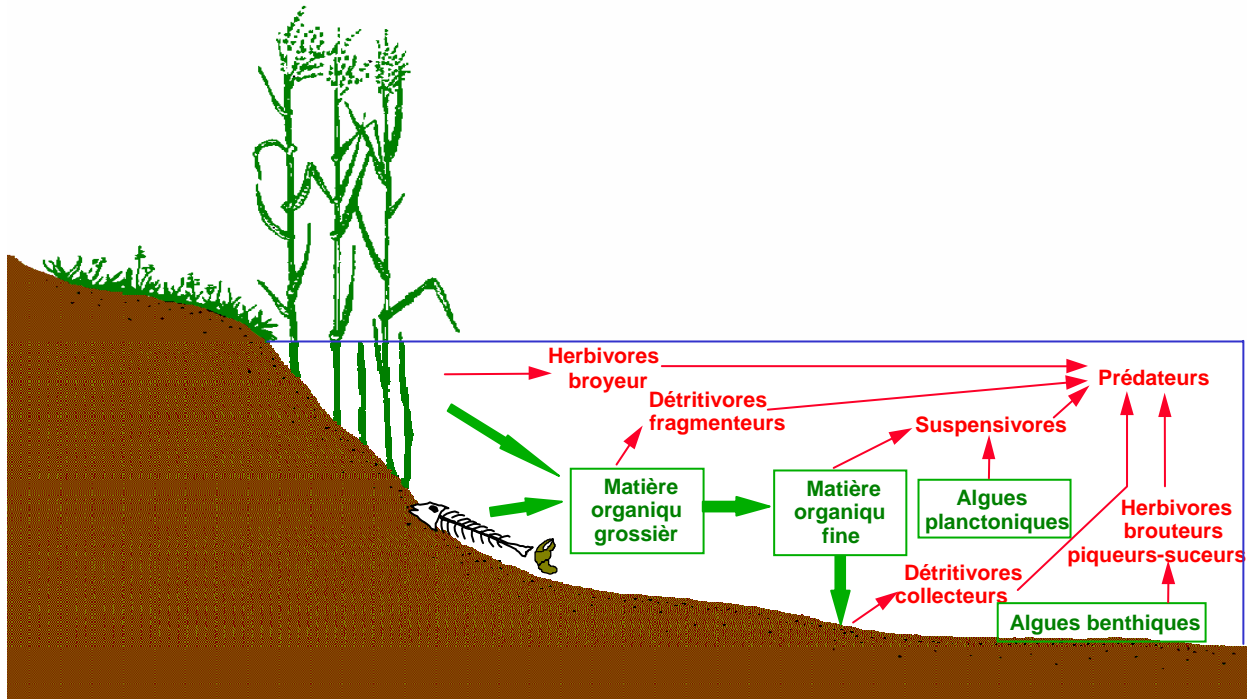


Figure 3. Représentation schématique simplifiée du fonctionnement écologique d'un marais côtier. Les ressources trophiques sont indiquées en vert et les groupes fonctionnels sont indiqués en rouge. Les flèches vertes indiquent les voies de transfert de la matière organique ; les flèches rouges indiquent les relations trophiques.

Présentation des stations d'étude

Pour la mise en place des opérations de démoustication, le Conseil Général du Morbihan a choisi, en 1998, deux secteurs-pilotes, la rivière de Pénerf et le Marais de Billiers d'une part, et la Rivière d'Étel d'autre part (Fig. 4). Ces secteurs correspondent à des zones sous influence maritime, riches en gîtes larvaires de moustiques. Par la suite, la démoustication a été étendue à d'autres secteurs (rivières de Sarzeau et de l'Épinay, étier de Kerboulico, marais de Suscinio) qui n'ont pas fait l'objet d'un suivi écotoxicologique.

Dans l'optique de réaliser le suivi de l'impact écotoxicologique des traitements dans les deux secteurs-pilotes initialement retenus, une prospection a permis, en lien avec l'ODEM et l'EID-Atlantique, d'identifier les types de milieux les plus représentatifs des zones humides littorales du Morbihan. Trois sites ont ainsi été choisis : Ambon, Locoal-Mendon et Tréhervé. Une station d'étude a été identifiée sur les sites d'Ambon et de Locoal-Mendon et deux stations d'étude ont été délimitées sur le site de Tréhervé.

Les stations d'Ambon et de Locoal-Mendon, d'une surface d'environ 1 ha chacune, correspondent à d'anciens marais salants, où les gîtes larvaires se présentent essentiellement sous la forme de microflaques. Par ailleurs, la station d'Ambon est caractérisée par un faciès

"à pas de bovins", dominant dans les zones humides littorales morbihannaises ; le piétinement des bovins est à l'origine de la formation de petites dépressions favorables à la constitution d'un autre type de gîtes larvaires de moustiques.

Le site de Tréhervé présente deux faciès distincts. À l'Est se trouve un petit étang littoral ouvert, d'une superficie d'approximativement 2 ha, qui peut être alimenté en eau de mer lors des marées de fort coefficient par l'intermédiaire d'un étier. À l'Ouest se trouve une zone humide avec des mares temporaires et un réseau d'étiers.

Au tout début de l'année 1998, avant que ne débutent les traitements, une zone témoin a été définie et délimitée, avec l'équipe technique de l'EID-Atlantique, dans les stations d'Ambon et de Locoal-Mendon et dans l'étang de Tréhervé. Les zones témoins des stations d'Ambon et de Locoal-Mendon étaient délimitées par des talus, tandis que la conformation du site de Tréhervé a imposé une délimitation de la zone témoin par piquetage.

Le choix de l'insecticide utilisé selon la station a été effectué par l'EID-Atlantique. Le principal critère sur lequel était basée la sélection du produit concernait la nature et la diversité du couvert végétal dans les stations. La station d'Ambon a été traitée à l'Abate[®], alors que la station de Locoal-Mendon a été traitée au Vectobac[®]. En revanche, au sein du site de Tréhervé, l'apparente hétérogénéité de la végétation de part et d'autre de l'étier traversant la station, a contraint l'EID-Atlantique à utiliser l'Abate[®] dans la partie Est du site (petit étang littoral) et le Vectobac[®] dans la partie Ouest (zone humide).

Les interventions ont eu lieu à la suite de phases de remise en eau des stations, le plus souvent lors des marées de fort coefficient, mais aussi parfois suite à des épisodes pluvieux. Les traitements ont été réalisés par les agents de l'EID-Atlantique selon la méthode de "prospection-traitement", au moyen de pulvérisateurs à dos.

A partir de la quatrième campagne de 1998, puis en 1999, 2000 et 2001, les doses d'application des larvicides ont été fixées à 0,1 L/ha pour l'Abate[®] et 1 L/ha pour le Vectobac[®], quelles que soient la station et la période de l'année. La fréquence annuelle des traitements dans chacune des stations d'étude est représentée sur la figure 5.

La station d'Ambon est toujours celle qui a fait l'objet des traitements les moins nombreux (environ 3 traitements par an). La pression de traitement a été comparable dans les deux parties du site de Tréhervé (de 5 à 6 traitements par an), avec une tendance à la réduction

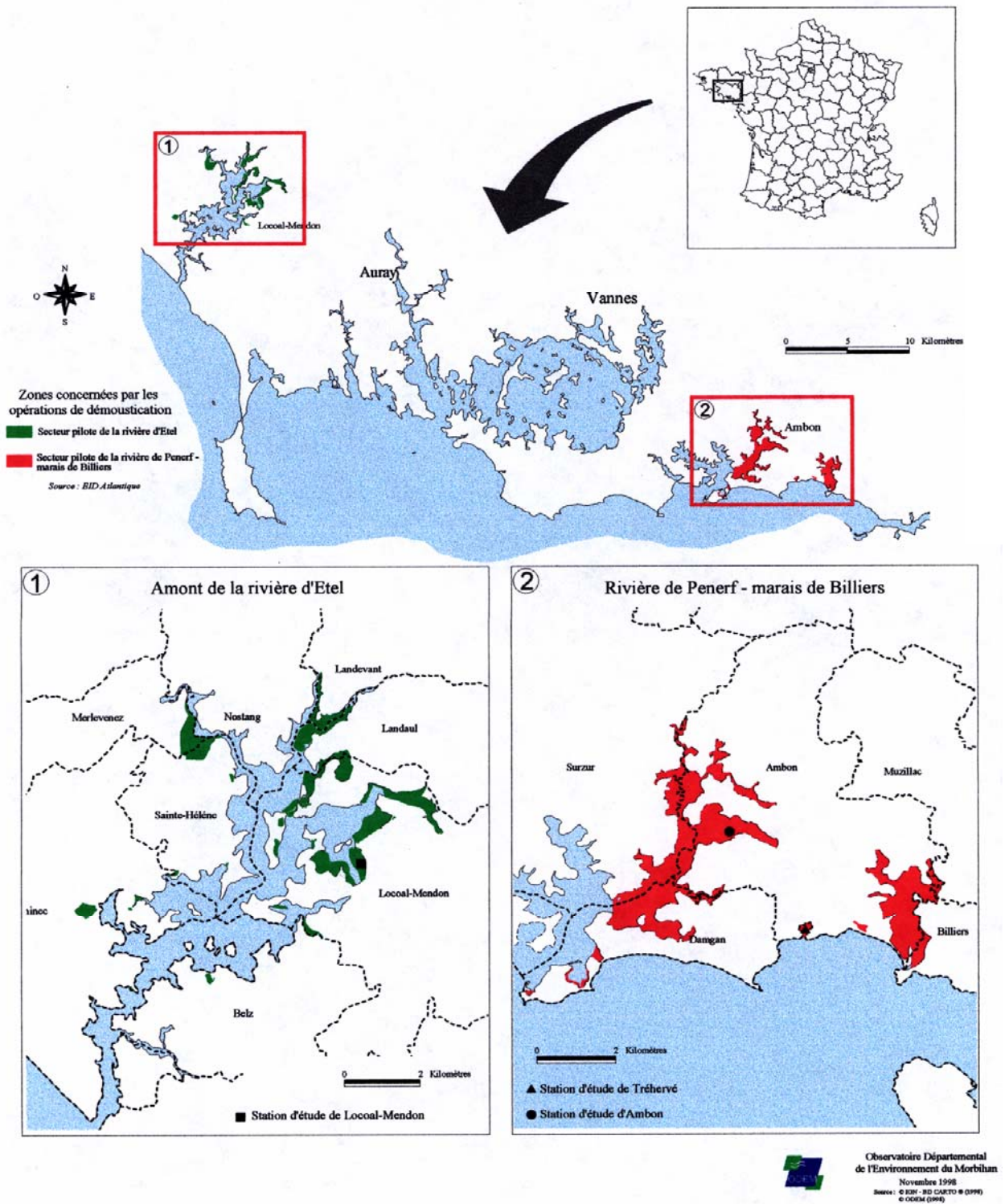


Figure 4. Localisation des secteurs pilotes définis en 1998 et des stations d'étude ayant fait l'objet du suivi des effets écotoxicologiques potentiels de la démoustication sur les invertébrés.

du nombre annuel de traitements entre 1998 et 2001 (50% de traitements en moins). En revanche, le nombre moyen de traitements est resté relativement constant et élevé dans la station de Locoal-Mendon (de 6 à 7 traitements par an). Une diminution de 40% du nombre annuel total de traitements dans les stations d'étude a été observée entre 1998 et 2001.

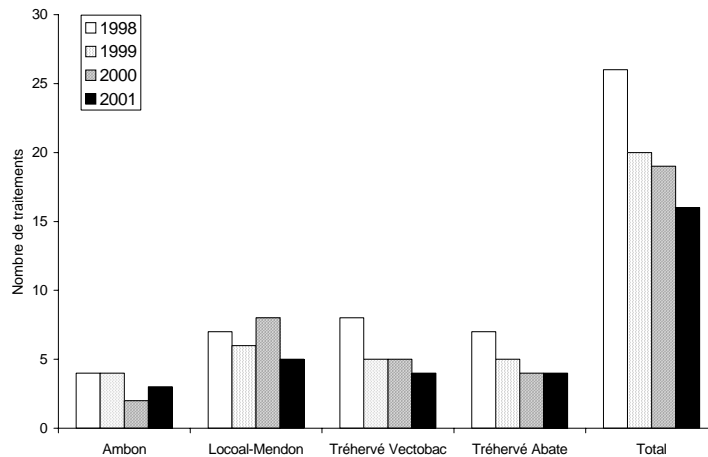


Figure 5. Nombre de traitements annuels dans chacune des stations d'étude et pour l'ensemble des stations de 1998 à 2001.

Méthodes d'étude

L'évaluation des effets des larvicides sur les invertébrés non-cibles était basée sur des prélèvements réalisés simultanément dans les zones témoins et traitées des stations d'étude.

Le rythme des prélèvements des espèces-sentinelles, sur lesquelles ont été mesurés les biomarqueurs, était calqué sur la fréquence des interventions des agents de l'EID-Atlantique dans la mesure où ces indices ont été utilisés pour détecter les effets toxicologiques immédiats des traitements sur les individus exposés.

Dans le cadre de l'étude des communautés d'invertébrés, le pas de temps des prélèvements a été choisi de façon à pouvoir reconstituer le cycle de développement des espèces caractéristiques des zones humides littorales du Morbihan, en identifiant notamment les périodes critiques du point de vue du recrutement des jeunes individus dont la perturbation par des insecticides peut, à long terme, modifier la dynamique des populations et la structure fonctionnelle des communautés.

Les informations recueillies de 1998 à 2001 ont ainsi permis d'effectuer un double diagnostic : celui de l'état de santé des individus d'espèces caractéristiques des zones humides littorales, en l'occurrence le chironome et la néréis, et celui de l'état des communautés d'invertébrés présentes dans chacune des trois stations d'étude. Ces informations ont été

confrontées :

- aux mesures des conditions physico-chimiques (température de l'eau et du sédiment, pH, concentration en oxygène dissous, salinité, conductivité) du milieu, de façon à prendre en compte leur influence sur la biologie des invertébrés étudiés ;
- aux mesures des concentrations en téméphos et en l'un de ses métabolites, le téméphos-sulfoxyde, dans l'eau et dans les sédiments des stations de Tréhervé et d'Ambon, de façon à évaluer le niveau de contamination du milieu.

Dans ce contexte d'évaluation écotoxicologique intégrée, le présent rapport dresse le bilan de l'état des individus, populations et communautés d'invertébrés non-cibles exposés pendant 4 années consécutives aux larvicides utilisés dans les secteurs-pilotes "Rivière de Pénerf-Marais de Billiers" et "Rivière d'Étel", et tente de définir les risques et recommandations associés à l'emploi de ces produits, dans la perspective de la mise en place d'une lutte anti-culicidienne compatible avec une gestion durable des zones humides littorales.

Synthèse des principaux résultats

L'ensemble des résultats obtenus entre 1998 et 2001 a fait l'objet d'un rapport scientifique détaillé*, transmis au Conseil Général du Morbihan par l'intermédiaire du Conseil Scientifique de l'ODEM. Ont été regroupés ici les résultats permettant d'apporter des éléments de réponse à certains des questionnements suscités par la mise en œuvre de la démoustication dans les secteurs-pilotes du Morbihan.

Le suivi a-t-il montré que les traitements contre les moustiques pouvaient avoir des effets néfastes sur d'autres espèces animales dans les zones humides littorales ?

D'une manière générale, aussi bien pour le chironome que pour la néréis, les biomarqueurs ont présenté des variations ponctuelles, significatives à certaines dates, lors des traitements à l'Abate® ou au Vectobac®, indiquant que l'état de santé des individus pouvait être parfois affecté. En ce qui concerne les biomarqueurs enzymatiques, ces variations traduisaient tantôt une inhibition, tantôt une stimulation (Fig. 6 à 9).

*Évaluation à long terme des effets de la démoustication dans le Morbihan. Suivi de l'impact écotoxicologique des traitements sur les invertébrés aquatiques entre 1998 et 2001. Rapport scientifique de fin de programme. Avril 2002. 215 p.

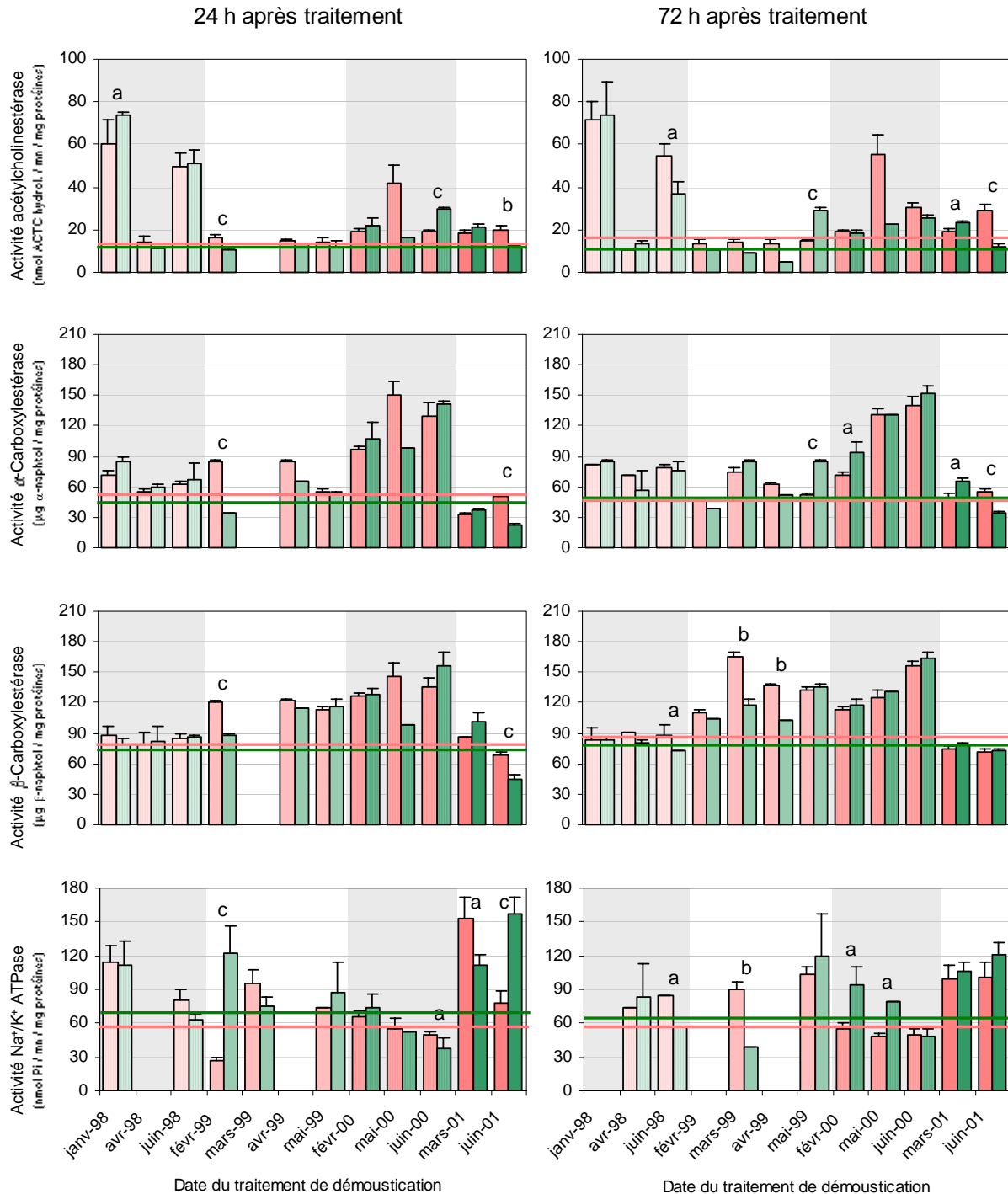


Figure 6. Réponses des biomarqueurs enzymatiques chez les larves de chironomes prélevées dans la zone traitée à l'Abate® 500e (■) de la station de Tréhervé (■ témoin).

Les mesures de biomarqueurs ont été réalisées chez les individus prélevés dans la zone témoin et dans la zone traitée 24 h (colonne de gauche) et 72 h (colonne de droite) après l'intervention des agents de l'EID-Atlantique.

Comparaison entre individus témoins et individus traités : a: différence significative ($p < 0,05$); b: différence très significative ($p < 0,01$); c: différence hautement significative ($p < 0,001$)

Les lignes horizontales représentent les valeurs moyennes calculées sur l'ensemble de la période de suivi chez les individus témoins (en rouge) et les individus exposés à l'Abate® (en vert).

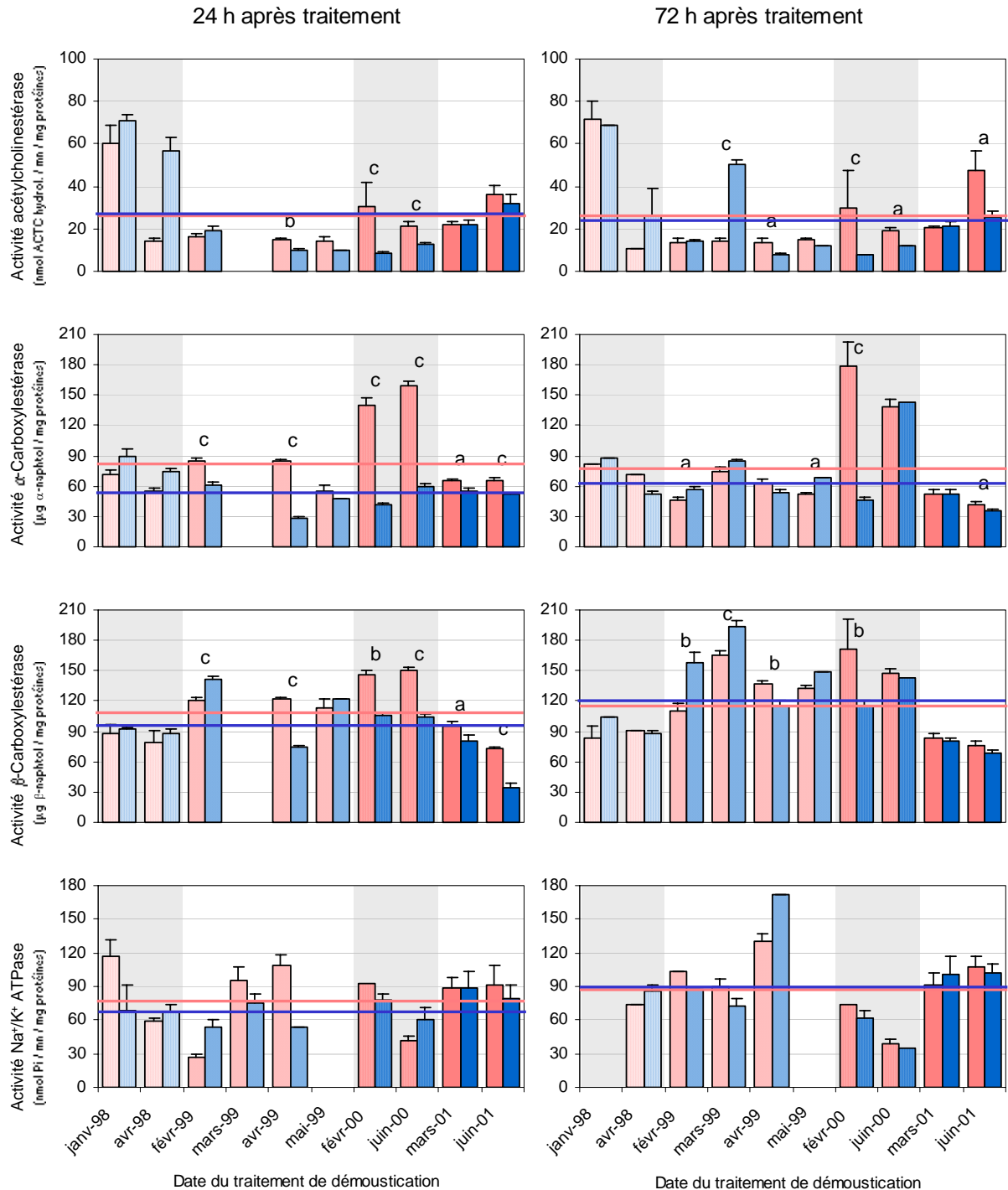


Figure 7. Réponses des biomarqueurs enzymatiques chez les larves de chironomes prélevées dans la zone traitée au Vectobac® 12AS (■) de la station de Tréhervé (■ témoin). Les mesures de biomarqueurs ont été réalisées chez les individus prélevés dans la zone témoin et dans la zone traitée 24 h (colonne de gauche) et 72 h (colonne de droite) après l'intervention des agents de l'EID-Atlantique. Comparaison entre individus témoins et individus traités : a: différence significative ($p < 0,05$); b: différence très significative ($p < 0,01$); c: différence hautement significative ($p < 0,001$). Les lignes horizontales représentent les valeurs moyennes calculées sur l'ensemble de la période de suivi chez les individus témoins (en rouge) et les individus exposés au Vectobac® (en bleu).

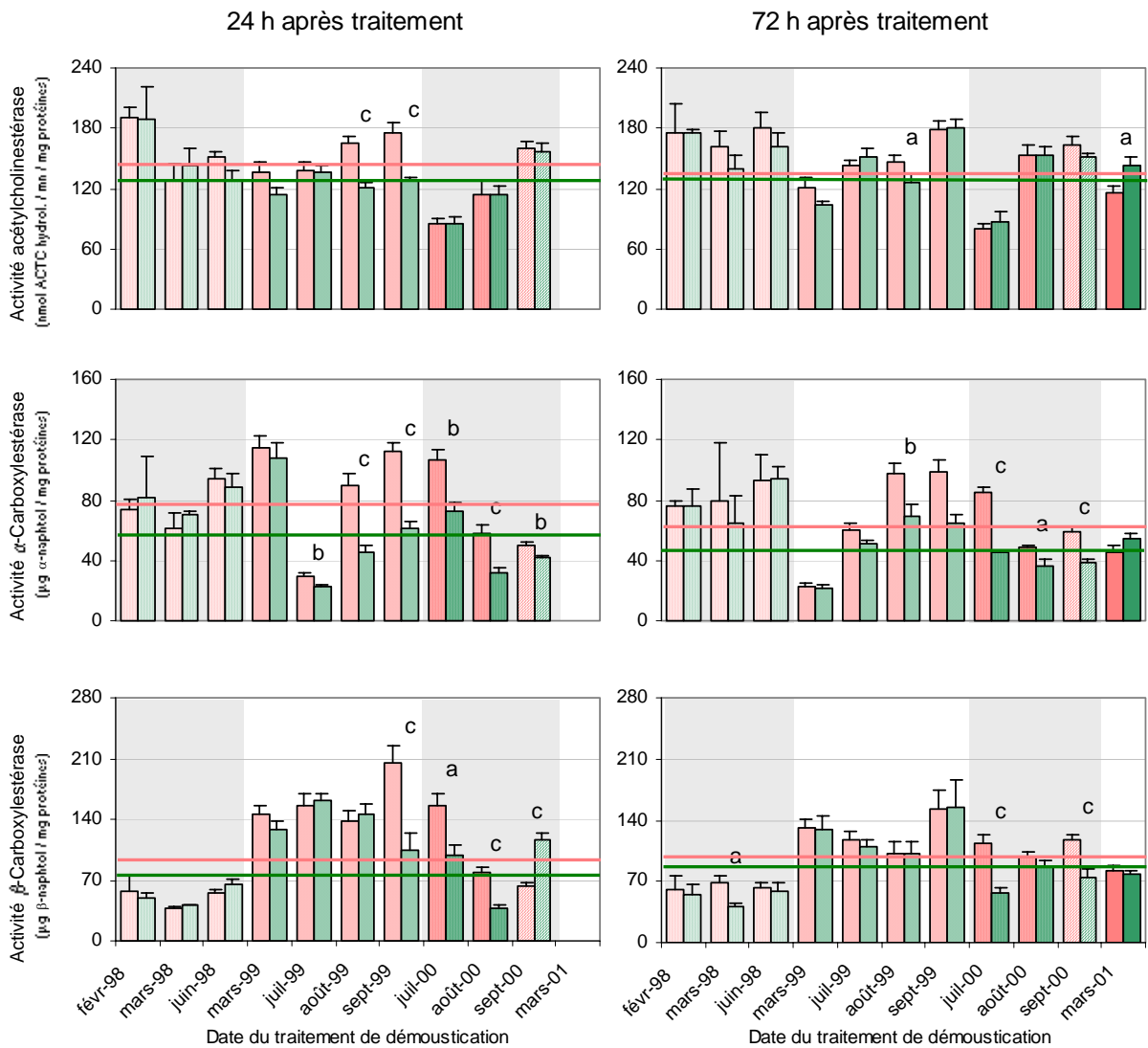


Figure 8. Réponses des biomarqueurs enzymatiques chez les néréis prélevées dans la zone traitée à l'Abate® 500e (■) de la station d'Ambon (□ témoin).

Les mesures de biomarqueurs ont été réalisées chez les individus prélevés dans la zone témoin et dans la zone traitée 24 h (à gauche) et 72 h (à droite) après l'intervention des agents de l'EID-Atlantique. En Septembre 2000 (barres hachurées), les prélèvements et mesures ont été réalisés bien que le traitement n'ait pas eu lieu.

Comparaison entre individus témoins et individus traités : a: différence significative ($p < 0,05$); b: différence très significative ($p < 0,01$); c: différence hautement significative ($p < 0,001$).

Les lignes horizontales représentent les valeurs moyennes calculées sur l'ensemble de la période de suivi chez les individus témoins (en rouge) et les individus exposés à l'Abate® (en vert).

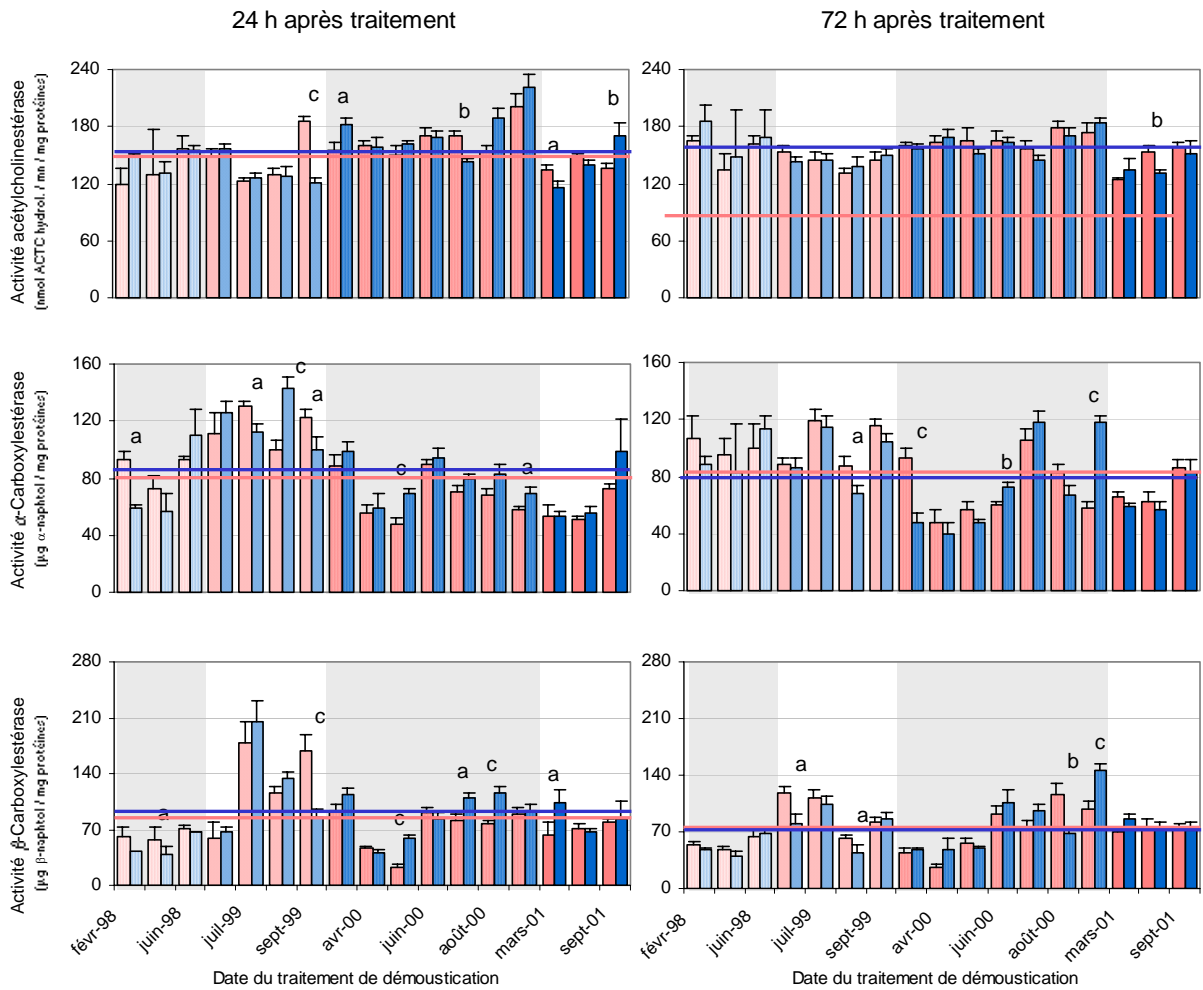


Figure 9. Réponses des biomarqueurs enzymatiques chez les néréis prélevées dans la zone traitée au Vectobac® 12AS (bleu) de la station de Local-Mendon (rouge témoin). Les mesures de biomarqueurs ont été réalisées chez les individus prélevés dans la zone témoin et dans la zone traitée 24 h (à gauche) et 72 h (à droite) après l'intervention des agents de l'EID-Atlantique. Comparaison entre individus témoins et individus traités : a: différence significative ($p < 0,05$); b: différence très significative ($p < 0,01$); c: différence hautement significative ($p < 0,001$). Les lignes horizontales représentent les valeurs moyennes calculées sur l'ensemble de la période de suivi chez les individus témoins (en rouge) et les individus exposés au Vectobac® (en bleu).

L'intérêt de disposer d'une série de données obtenues durant 4 années consécutives était de pouvoir analyser les tendances à long terme, afin de révéler d'éventuels changements durables de l'état de santé des organismes.

Chez les chironomes exposés à l'Abate[®] ou au Vectobac[®], cette analyse a montré que, sur l'ensemble de la période d'étude, les variations des biomarqueurs mesurés ne s'écartaient pas significativement des variations naturelles, indiquant que, sur le long terme, les larvicides n'avaient pas eu d'effet sur l'état de santé (ou la physiologie) de ces organismes. Il est toutefois important de souligner le fait que l'émergence des chironomes a été affectée par les larvicides (Fig. 10) : l'Abate[®] a entraîné une diminution du taux de développement sans modification du nombre final d'adultes émergents, alors que le Vectobac[®] a été à l'origine d'une baisse du taux d'émergence (réduction du nombre d'adultes émergents). Bien que ces études n'aient été réalisées que très ponctuellement, le fait que le stade adulte, qui assure la reproduction, donc la pérennité de l'espèce, puisse être affecté a justifié de s'intéresser à l'état des populations de chironomes dans les stations d'étude.

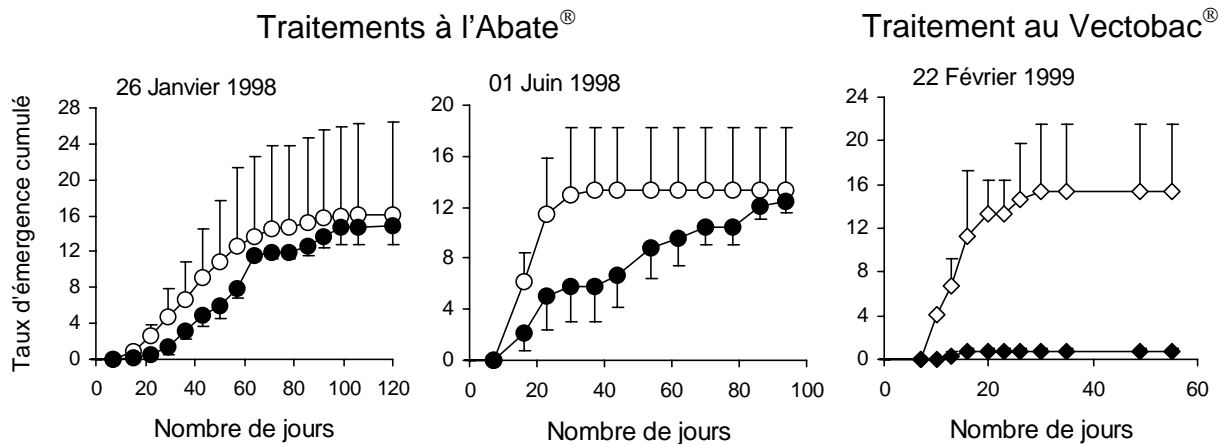


Figure 10. Taux d'émergence cumulé (en % ; moyenne \pm erreur-standard) des chironomes pour les larves témoins (O, ◇) et les larves prélevées 24 h après les traitements à l'Abate[®] (●) des 28 Janvier et 01 Juin 1998 et après le traitement au Vectobac[®] (◆) du 22 Février 1999.

Par ailleurs, en ce qui concerne les néréis, sur l'ensemble de la période d'étude, une tendance significative à l'inhibition (de l'ordre de 20%) des carboxylestérases (CbE), en particulier des α -CbE, s'est dégagée chez les individus exposés à l'Abate[®] (Fig. 11) ; même si cette inhibition n'atteint pas les niveaux de 30 à 50% généralement considérés comme dommageables aux espèces, elle pourrait être le signe d'une contamination préférentielle des

individus par voie trophique. Cette observation a justifié de s'intéresser à l'état des populations de néréis dans les stations d'étude.

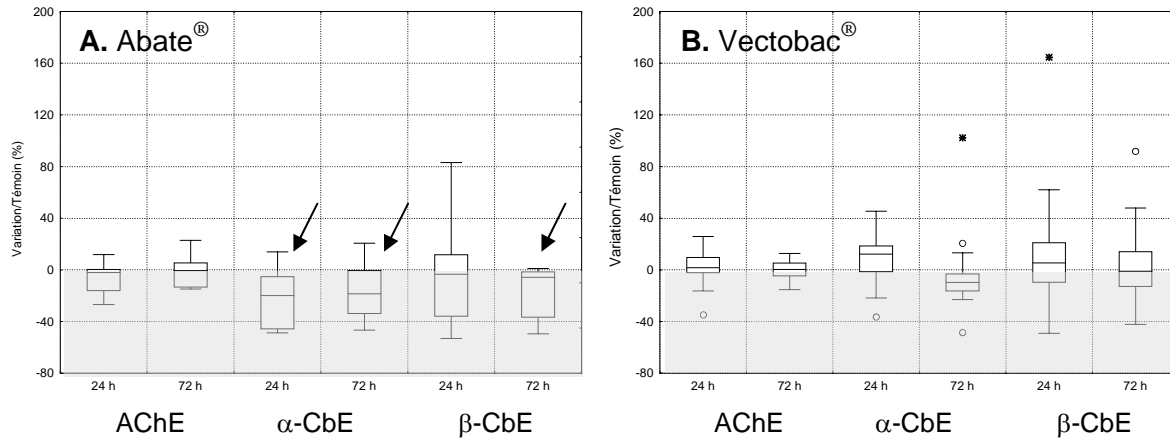


Figure 11. Distribution de la variation des valeurs des différents biomarqueurs mesurés de 1998 à 2001 chez les néréis exposées à l'Abate[®], dans la station d'Ambon, et au Vectobac[®], dans la station de Locoal-Mendon.

Pour chaque biomarqueur, la variation observée chez les néréis exposées est exprimée en % de la valeur mesurée chez le témoin ; les limites inférieures et supérieures des boîtes correspondent respectivement aux 25^e et 75^e percentiles de la distribution des valeurs ; les lignes horizontales symbolisent la médiane de cette distribution (○ : minimum/maximum aberrant ; ★ : minimum/maximum extrême). La zone en grisé représente la zone dans laquelle les variations correspondent à une inhibition des activités enzymatiques. Les flèches indiquent une inhibition significative de l'activité de l'enzyme.

Le suivi a-t-il contribué à faire évoluer les modalités de traitements depuis le début des opérations ?

Les effets observés sur les espèces-sentinelles dès les premières années ont joué le rôle d'un signal d'alarme, ce qui a conduit à faire valoir le principe de précaution en préconisant des modifications des pratiques de démoustication visant à réduire les quantités de larvicides introduites dans le milieu. En conséquence, certains traitements, notamment ceux réalisés en hiver, ont été supprimés. La diminution du nombre total de traitements est le reflet de l'évolution de la stratégie mise en œuvre par l'EID-Atlantique, suite à ces recommandations.

Les effets observés sur les espèces-sentinelles peuvent-ils avoir des répercussions au niveau des populations ?

La comparaison de l'abondance moyenne des individus de chacune des deux espèces-sentinelles dans les zones témoins et traitées des stations d'étude n'a pas révélé d'effet significatif des traitements à l'Abate[®] ou au Vectobac[®] au niveau populationnel. Les

différences significatives observées à certaines dates indiquent que l'abondance moyenne des populations des zones traitées était tantôt inférieure, tantôt supérieure à celle des populations témoins, sans qu'il soit possible de dégager, sur le long terme, une quelconque tendance liée à l'application des larvicides.

Par conséquent, en ce qui concerne les deux espèces-sentinelles, les modifications ponctuelles observées chez les individus exposés à l'Abate® ou au Vectobac® n'ont pas eu de répercussions sur les populations.

Dans ce type de milieu soumis à des contraintes importantes, les variations de densité de population d'invertébrés sont généralement liées à des taux de mortalité naturels élevés, en raison d'une importante compétition inter- et intra-spécifique pour les ressources et de l'impact des facteurs du milieu. Ainsi, sur la période 1999-2001, les plus fortes variations d'abondance des chironomes et des néréis ont été observées à la suite des périodes d'assèchement (Fig. 12), indiquant que de tels changements drastiques des conditions du milieu ont eu un impact majeur sur les espèces-sentinelles, notamment sur les populations de néréis.

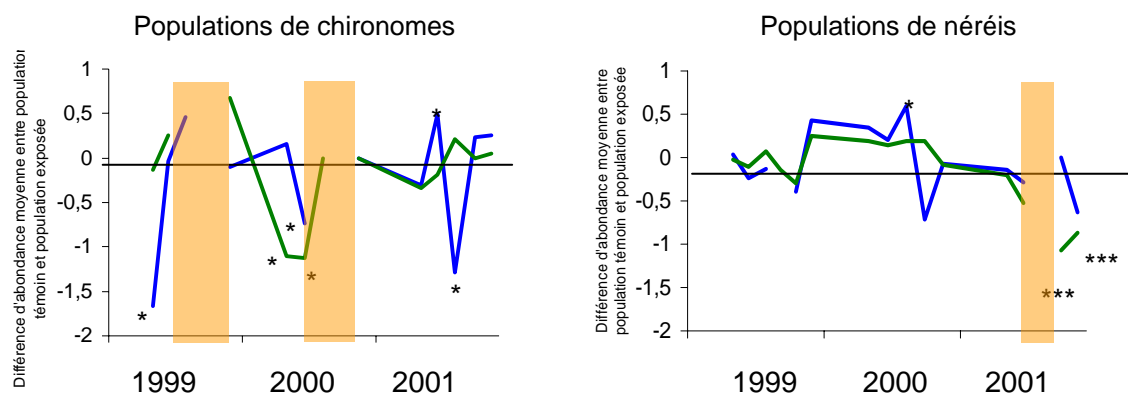


Figure 12. Variations des différences de l'abondance moyenne entre populations témoins et populations exposées à l'Abate® (en bleu) ou au Vectobac® (en vert) pour le chironome et la néréis. Les valeurs négatives indiquent que les individus sont plus nombreux dans la zone traitée que dans la zone témoin, et inversement. Les fluctuations d'abondance sont le plus souvent liées aux périodes d'assec, indiquées par les barres verticales orangées.

La communauté d'invertébrés dans son ensemble est-elle affectée par les traitements ?

La communauté d'invertébrés a été décrite à partir de la mesure de l'abondance des différents groupes taxonomiques et fonctionnels présents dans les échantillons prélevés dans les zones témoins et traitées (Fig. 13).

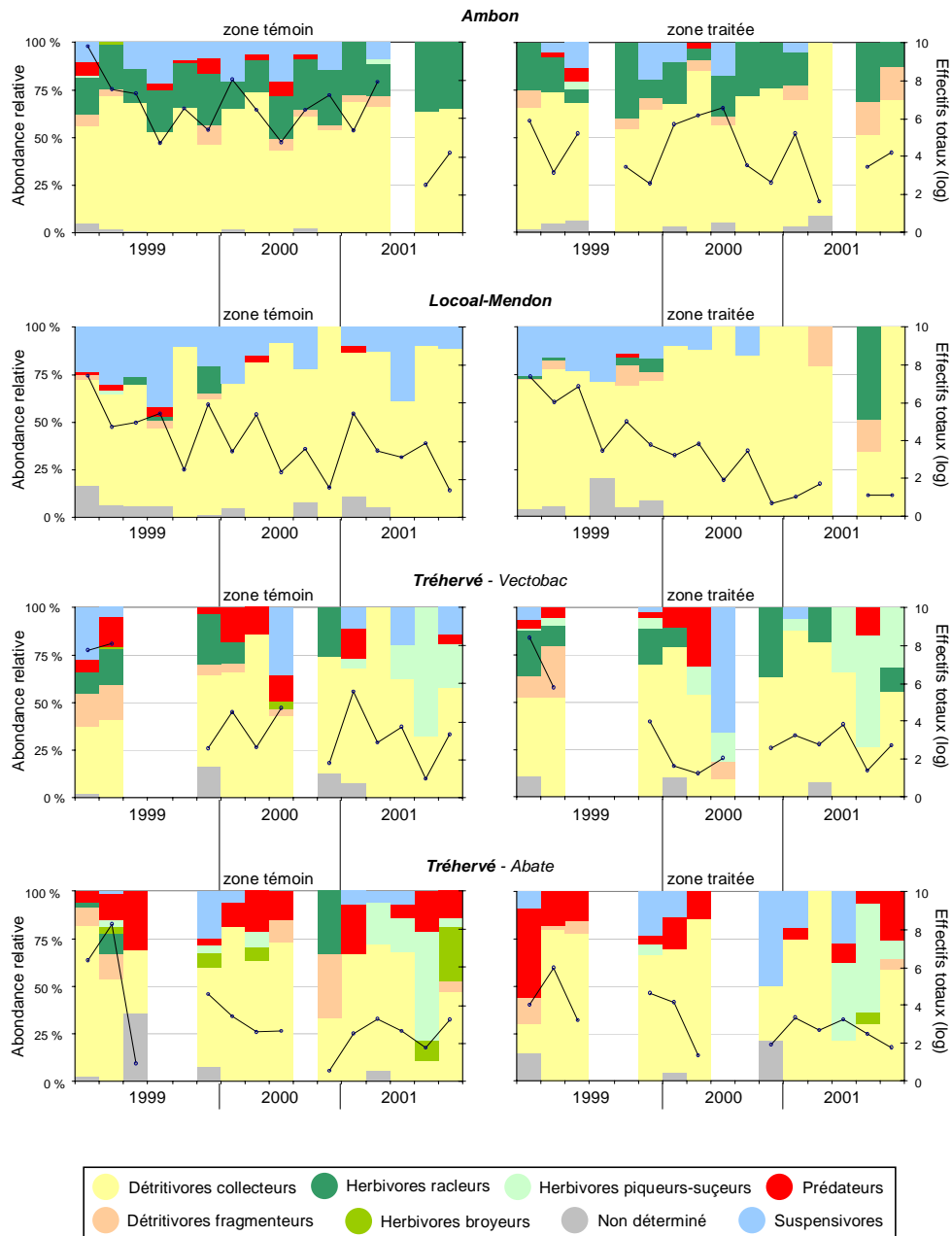


Figure 13. Évolution de la structure fonctionnelle des communautés d'invertébrés présentes dans les prélèvements réalisés dans les différentes stations d'étude entre 1999 et 2001. Les histogrammes représentent l'abondance relative de chaque groupe fonctionnel et les courbes représentent l'effectif total des individus (en échelle logarithmique).

Les traitements à l'Abate[®] n'ont pas eu d'effets sur les communautés d'invertébrés de la station d'Ambon et de la partie du site de Tréhervé traitée avec ce larvicide. Ces observations sont cohérentes avec celles réalisées dans des milieux saumâtres par d'autres auteurs, qui n'ont pas montré d'effet négatif de traitements de démoustication réalisés avec de

l'Abate[®] à des doses comparables.

L'analyse des données obtenues dans la station de Locoal-Mendon, traitée au Vectobac[®], semble indiquer qu'une évolution de la structure de la communauté d'invertébrés est en cours dans la zone traitée, avec une augmentation de la fréquence des groupes taxonomiques d'origine continentale. Rien ne permet d'affirmer pour le moment que les traitements de démoustication ont un lien avec ce phénomène. Il pourrait s'agir de la conséquence transitoire de l'assèchement que cette zone a subi au cours de l'été 2001 (colonisation rapide par les Diptères Chironomidae après la remise en eau automnale).

Les observations réalisées dans la partie traitée au Vectobac[®] 12AS du site de Tréhervé sont cohérentes avec les résultats des études sur les effets du Vectobac[®]-G (formulation en granulés dispersibles) sur les invertébrés non-cibles dans des zones humides continentales, lorsque le larvicide est appliqué à la dose prescrite pour la démoustication. Elles sont en revanche partiellement contradictoires avec d'autres données qui ont montré des réductions importantes du nombre (57 ou 83% selon l'année) et de la biomasse (50 ou 83% selon l'année) des insectes dans des marais du Minnesota soumis à des traitements répétés avec du Vectobac[®]-G. Toutefois, dans ces marais, les traitements larvicides ont été réalisés par hélicoptère, avec une couverture intégrale des zones de démoustication, ce qui a certainement limité les possibilités de recolonisation.

D'une manière générale, les communautés d'invertébrés des zones traitées et témoins sont restées similaires, aussi bien du point de vue structural que fonctionnel (Fig. 14), durant la période 1999-2001. L'absence d'effet significatif des traitements sur les communautés d'invertébrés est vraisemblablement liée en partie au fait que les fluctuations naturelles des conditions environnementales présentent un impact beaucoup plus important que ceux liés à la présence des larvicides dans l'environnement. Il est de ce fait très délicat d'extraire du "bruit de fond naturel" la variabilité liée aux traitements. Les fluctuations naturelles concernent aussi les moustiques, dont les pullulations dépendent des conditions climatiques, ce qui explique que certaines années soient perçues comme des "années à moustiques".

Les zones humides littorales sont considérées comme des écosystèmes très fluctuants où il y a peu d'espèces résidentes mais ces espèces sont adaptées à des variations naturelles (assèchement, salinité) de très forte amplitude. Dans ces conditions, la définition d'un état de référence non perturbé est délicate, ce qui rend difficile l'évaluation de l'efficacité et des effets non intentionnels des traitements de démoustication.

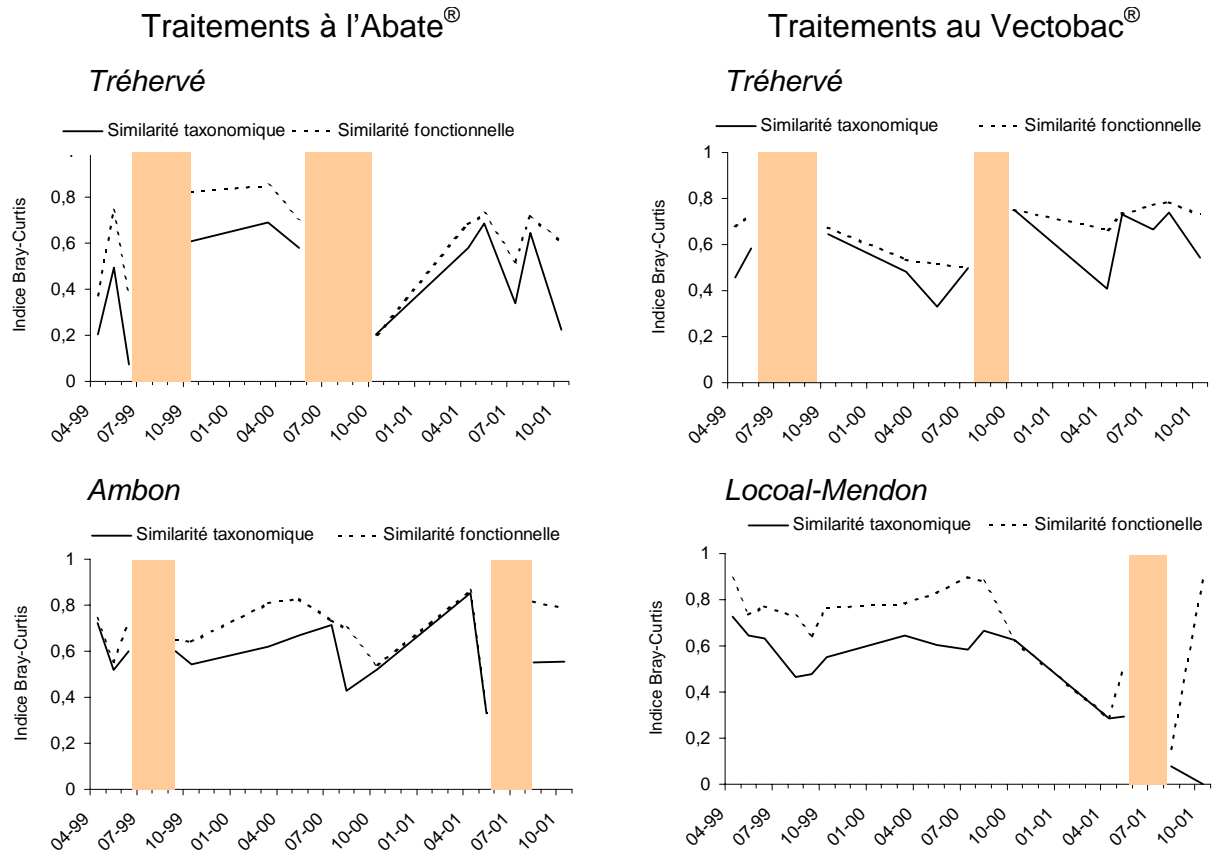


Figure 14. Évolution de la similarité taxonomique et fonctionnelle entre les zones témoins et traitées des stations d'étude. La valeur de l'indice varie de 0 (aucune ressemblance) à 1 (ressemblance totale). Les fluctuations d'abondance sont le plus souvent liées aux périodes d'assec, indiquées par les barres verticales orangées.

Conclusion : évaluation du risque lié à la démoustication

Le suivi des effets écotoxicologiques de la démoustication réalisé entre 1998 et 2001 dans les secteurs-pilotes du Morbihan a porté exclusivement sur les invertébrés aquatiques. Le risque évalué à l'issue de ce programme ne concerne donc que ces organismes, et ne saurait s'appliquer à l'écosystème dans son ensemble.

Le programme d'étude comportait deux volets. Le premier volet consistait en l'étude des biomarqueurs chez deux espèces-sentinelles, le chironome et la néréis, et son objectif était de mettre en évidence d'éventuels effets directs des larvicides sur la physiologie d'organismes non-cibles. Le second volet, qui concernait l'étude de l'ensemble des communautés d'invertébrés, avait pour objectif d'identifier les éventuels effets des larvicides à plus ou moins long terme sur la composition taxonomique et l'abondance des différents groupes fonctionnels dans ces communautés.

Les risques engendrés par la démoustication, telle qu'actuellement pratiquée dans le Morbihan, sont-ils élevés ?

L'analyse de l'ensemble des résultats obtenus au cours des 4 années du suivi des effets de la démoustication dans les stations de Tréhervé, Ambon et Locoal-Mendon indique que, dans les conditions où ils ont été utilisés dans les secteurs-pilotes du Morbihan entre 1998 et 2001, l'Abate[®] 500e et le Vectobac[®] 12AS ne présentent pas de risque élevé pour les invertébrés aquatiques non-cibles inféodés aux zones humides littorales.

Les deux produits présentent-ils le même niveau de risque ?

L'Abate[®] se distingue du Vectobac[®] par un effet plus marqué, statistiquement significatif, sur certains biomarqueurs (Fig. 11) mesurés chez la néréis. Le risque associé à l'emploi du Vectobac[®] est donc moins important que celui lié à l'utilisation de l'Abate[®].

De plus, pour une efficacité comparable vis-à-vis des moustiques, le *Bti* présente, contrairement au téméphos, l'avantage de ne pas donner lieu au développement de résistances. En effet, à ce jour, aucun cas de résistance au *Bti* n'a été rapporté chez les diptères, que ce soit en milieu naturel ou à l'issue d'essais de sélection en laboratoire.

Sur la base des résultats du suivi effectué, est-il possible de se prononcer sur les risques en cas de modifications des pratiques de démoustication ?

Les conclusions de cette étude ne s'appliquent qu'aux conditions dans lesquelles la démoustication est actuellement pratiquée par l'EID-Atlantique dans les secteurs-pilotes du Morbihan. En particulier, la validité des conclusions serait remise en cause si les pratiques de démoustication devaient être modifiées, notamment :

- si les produits utilisés n'étaient pas les mêmes (matières actives différentes ou autres formulations des larvicides actuellement utilisés) ;
- si les quantités de larvicides appliquées augmentaient, soit en raison d'un accroissement du nombre de traitements annuels, soit du fait d'une augmentation des doses employées ;
- si les surfaces traitées étaient étendues, nécessitant éventuellement le recours à des méthodes de lutte à grande échelle (utilisation d'aéronefs), dans la mesure où l'efficacité des processus de recolonisation, qui permettent la restauration des populations après une perturbation naturelle (assèchement) ou d'origine humaine, pourrait s'en trouver réduite, avec des répercussions possibles en termes de dynamique des populations et communautés d'invertébrés non-cibles, de développement de résistances (pour le téméphos), et/ou de

contamination généralisée des réseaux trophiques.

Chacune de ces situations nécessiterait la mise en œuvre d'un nouveau programme de suivi des effets non intentionnels de la démoustication dans les secteurs concernés.

Existe-t-il des méthodes alternatives de démoustication permettant de réduire le risque lié à l'emploi d'insecticides ?

A l'utilisation de larvicides, peuvent se substituer, au moins en partie, des méthodes de lutte physique qui consistent par exemple à réguler la mise en eau des zones humides endiguées. Ces opérations s'accompagnent le plus souvent de modifications des conditions de milieu avec des répercussions possibles sur les espèces vivantes, ce qui justifie la mise en place d'un programme de suivi.

Glossaire

Abate® 500e : nom commercial du concentré émulsionnable contenant 50 % de téméphos représentant la matière active.

Benthique : se dit d'un organisme qui vit à l'interface entre l'eau et les substrats immergés, voire à l'intérieur de ceux-ci.

Biomarqueur : changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant.

Bti : abréviation de *Bacillus thuringiensis israelensis*, qui entre dans la composition du Vectobac® 12AS.

Collecteurs : animaux qui se nourrissent en récupérant les particules de matière organique en décomposition grâce à des appendices spécialisés, en ingérant des sédiments ou en sécrétant des substances (mucus) qui leur permettent de capter ces particules.

Communauté : ensemble de populations, souvent apparentées d'un point de vue taxonomique, qui peuplent un écosystème donné et qui peuvent présenter des interactions (interactions interspécifiques).

Détritivores : animaux qui se nourrissent à partir des débris organiques d'origine animale et/ou végétale.

Émergence : passage d'un insecte du stade larvaire aquatique au stade adulte aérien.

Endogé : organisme qui vit dans les sédiments

Enzyme : molécule organique soluble qui catalyse une réaction chimique.

Épigé : organisme qui vit à la surface des sédiments.

Espèce non-cible : espèce non visée par les insecticides, mais pouvant être accidentellement touchée par les produits.

Espèce sentinelle : espèce représentative des conditions écologiques d'un milieu dans lequel son abondance permet d'y réaliser des échantillonnages pluriannuels afin de mesurer divers paramètres biologiques dont des biomarqueurs.

Fragmenteurs : animaux qui se nourrissent à partir des cadavres d'animaux et des plantes supérieures en décomposition.

Groupe fonctionnel : ensemble d'espèces ou de groupes taxonomiques qui utilisent les mêmes ressources alimentaires.

Groupe taxonomique : unité systématique de niveau varié (embranchement, ordre, famille, etc.),

correspondant au niveau de détermination le plus facile à atteindre.

Herbivores racleurs : animaux qui se nourrissent en raclant le biofilm constitué d'algues, de bactéries et de protistes, qui se développe à la surface des substrats immergés.

Herbivores broyeurs : animaux qui consomment les plantes supérieures. Ils possèdent des pièces buccales (mandibules) qui leur permettent de déchiqueter les tissus végétaux.

Herbivores piqueurs-suceurs : animaux munis d'un rostre piqueur qui leur permet de s'attaquer aux végétaux, dont ils aspirent la sève ou le contenu cellulaire.

Macroinvertébrés : invertébrés de taille supérieure à 0,5 mm.

Médiane : valeur centrale dans une distribution de valeurs ordonnées.

Population : ensemble d'individus d'une même espèce coexistant dans un milieu donné et susceptibles de présenter des interactions (interactions intraspécifiques)

Prédateurs : animaux qui se nourrissent de proies animales vivantes.

Résistance : développement, chez une souche d'insectes, d'une aptitude à tolérer des doses de toxiques qui seraient létales pour la majorité des individus d'une population normale de la même espèce.

Similarité : degré de ressemblance de deux échantillons ou de deux communautés, généralement mesuré à l'aide d'un indice numérique compris entre 0 (aucune ressemblance) et 1 (ressemblance totale).

Suspensivores : animaux qui se nourrissent en collectant les fines particules de matière organique en suspension auxquelles des algues planctoniques et des bactéries peuvent être mêlées.

Taxonomique : relatif à la position qu'occupe un organisme dans la classification des êtres vivants.

Téméphos : insecticide organophosphoré entrant dans la composition de l'Abate® 500e.

Vectobac® 12AS : nom commercial de la formulation liquide de l'insecticide à base des toxines de la bactérie *Bacillus thuringiensis israelensis* H14.