

double

ETUDE EXPERIMENTALE DE  
L'IMPACT DE LA CENTRALE DE  
GRAVELINES (NORD)  
SUR LES OEUFS ET LARVES  
DE LA SOLE  
( 1982 )

DW

Septembre 1982

Contrat E.D.F. -SE / I.S.T.P.M. n° E. 2858

DW -

ETUDE EXPERIMENTALE DE L'IMPACT  
DE LA CENTRALE DE GRAVELINES (NORD) SUR  
LES OEUFS ET LARVES DE LA SOLE

par

Daniel WOEHLING

La partie de l'étude relative à l'impact  
du transit seul a été réalisée et rédigée  
par Mme Claude BLANPIED-WOHRER (1) et  
Mlle Florence VICTOR-BAPTISTE (1)

Avec pour les campagnes et la méthodologie la collaboration de :

M. BARDOUIL  
J.L. BIGOT  
P. GRELLIER  
D. HALGAND  
J.J. JOFFRAUD  
D. POPULUS  
C. ROUXEL  
F. TRAVADE (2)

et de P. MAGGI, chef du thème "Protection de l'environnement" à  
l'I.S.T.P.M..

Etude entreprise par le laboratoire de planctonologie de l'I.S.T.P.M.  
à Nantes (Département Environnement).

Chef de laboratoire : N. LACROIX  
Chef de Département : A. VINCENT

Contrat EDF - SE/ISTPM n° E - 2858

---

(1) Faculté des sciences, Université de Perpignan

(2) E.D.F, Services Etudes et Recherches

## SOMMAIRE

---

	Pages
AVANT - PROPOS	5
INTRODUCTION	6
I - METHODOLOGIE	9
1.1 - RAPPEL DE QUELQUES DONNEES CONCERNANT LA CENTRALE DE GRAVELINES	9
1.2 - NATURE DES IMPACTS DIRECTS INDUITS PAR LA CENTRALE	9
1.3 - PRINCIPE GENERAL DE LA METHODOLOGIE	11
1.4 - PERIODE D'EXPERIMENTATION	11
1.5 - EMLACEMENT DES POINTS DE PRELEVEMENTS	12
1.5.1 - Point au débouché des conduits de rejets	12
1.5.2 - Point dans le canal de rejet	12
1.5.3 - Point dans le panache de rejet	13
1.5.4 - Points témoins	15
1.6 - MATERIEL ET METHODES DE PRELEVEMENTS	15
1.6.1 - Pêche	15
1.6.2 - Conservation des échantillons jusqu'au laboratoire	16
1.7 - TRAVAIL AU LABORATOIRE	17
1.7.1 - Traitement des échantillons	17
1.7.2 - Critères de survie	18
1.8 - TRAITEMENT DES RESULTATS	19
II - RESULTATS	20
2.1 -PRELEVEMENTS DANS LES DEVERSOIRS DE REJET	20

2.1.1 - Résultats portant sur les oeufs	21
2.1.1.1 - Mortalité immédiate (Mi)	21
a) tous stades confondus	21
b) stades 1 et 2 distingués	22
c) remarque	23
2.1.1.2 - Résultats après incubation	23
a) tous stades confondus	23
b) stades 1 et 2 distingués	24
c) remarque	25
2.1.2 - Résultats portant sur les larves	27
2.1.3 - Comparaison des résultats avec les données bibliographiques	28
2.1.3.1 - Effets des chocs mécaniques et chimiques	28
2.1.3.2 - Influence de la température sur le développement des oeufs	28
2.1.3.3 - Tolérance thermique des oeufs et des larves	28
2.2 - PRELEVEMENTS DANS LE CANAL ET LE PANACHE DE REJET	30
2.2.1 - Résultats portant sur les oeufs	30
2.2.1.1 - Mortalité immédiate	30
a) tous stades confondus	30
b) stades 1 et 2 distingués	32
2.2.1.2 - Résultats après incubation - (stades 1 et 2 distingués)	38
a) mortalité différée des oeufs	38
b) éclosions	40
2.2.1.3 - Remarque	44
2.2.2 - Résultats portant sur les larves	45

CONCLUSION	46
RESULTATS OBTENUS AUX DEVERSOIRS DE REJET	46
RESULTATS OBTENUS DANS LE CANAL ET LE PANACHE	47
AUTEURS CITES	49

## AVANT - PROPOS

---

*Les projets d'implantation de centrales électro-nucléaires de grande puissance sur le littoral et en estuaire ont amené Electricité de France à lancer un ensemble d'études écologiques destinées à appréhender leur incidence sur les milieux et les ressources vivantes ; elles sont conduites par divers organismes.*

*Les connaissances dans ce domaine étant peu importantes, il convenait de mener conjointement deux types d'investigations complémentaires :*

*études particulières à chaque site permettant des relevés écologiques et halieutiques locaux avant et après mise en service des centrales ; cet aspect essentiellement descriptif a apporté en même temps des connaissances essentielles sur la dynamique des milieux concernés ;*

*études générales applicables à plusieurs sites à caractère essentiellement expérimental (simulation en laboratoire ou expérimentation sur sites) destinées à élucider certains mécanismes précis d'impact.*

*L'étude présentée ici a trait à ce second volet.*

## INTRODUCTION

---

L'étude expérimentale des effets de la centrale nucléaire de Gravelines sur les oeufs et les larves de la sole commune *Solea vulgaris* Quensel (= *Solea solea* L.) a été entreprise au printemps 1982, deux ans après la mise en service industrielle de la centrale.

Cette étude est destinée à appréhender d'une part l'incidence des différents chocs induits par le transit dans le circuit de refroidissement, d'autre part l'effet additionnel d'un séjour dans le canal de rejet et dans le panache sur le littoral. Elle fait suite à quelques observations préliminaires réalisées en 1980 (1). La sole a été choisie en priorité pour plusieurs raisons :

- \* son importance halieutique ;
- \* l'abondance de ses oeufs, larves juvéniles, le site étant inclus dans une zone de frayères et de nourriceries ;
- \* l'insuffisance de connaissances disponibles sur la sensibilité des oeufs et larves planctoniques au transit et au panache.

Les paramètres retenus dans un premier temps sont d'une part la mortalité immédiate après pêche, d'autre part la mortalité différée observée au bout de 72 h d'incubation.

Ces résultats devront permettre d'avoir une première estimation de l'importance du prélèvement opéré par la centrale sur ces premiers stades du recrutement de la sole et apporter ainsi des éléments essentiels pour apprécier la répercussion sur le stock halieutique. Les résultats obtenus à Gravelines pourront également être extrapolés à d'autres secteurs.

---

(1) WOEHLING, 1980 ; TRAVADE, 1980.

Les données bibliographiques disponibles dans cette optique étaient insuffisantes puisqu'elles ne faisaient état que de températures létales obtenues *in vitro* pour un temps d'incubation nettement supérieur au temps de transit, soit à partir d'un frai naturel (par exemple IRVIN, 1974 ; RILEY, 1974), soit à partir de géniteurs acclimatés et de stades résistants (DEVAUCHELLE, 1977).

Compte tenu de la difficulté de simuler en laboratoire les effets complexes résultant de la synergie de plusieurs impacts simultanés ou successifs et de la méconnaissance de certains d'entre eux (par exemple choc mécanique dû aux remous dans les déversoirs des conduites de rejet ou effet de la dilution dans un panache littoral hétérogène), l'observation et l'expérimentation *in situ* apparaissaient comme l'approche la plus réaliste. Elle intègre en effet d'emblée tous les paramètres de l'impact. Par ailleurs, elle présente d'autres avantages qu'il convient de rappeler, notamment :

- \* elle est réalisée dans des eaux du secteur,
- \* le matériel utilisé est un frai naturel (non provoqué) génétiquement varié (ce qui élimine la composante individuelle de la sensibilité des oeufs et larves) et dont la mortalité initiale, après ponte, est en partie déduite.

Cette adéquation de l'expérimentation aux conditions naturelles locales pourrait cependant constituer un frein à l'extrapolation éventuelle des résultats à d'autres secteurs ; il conviendra alors de faire la part de ces composantes locales (conditions particulières du rejet à Gravelines, composante due à la population locale de soles et aux conditions hydrologiques, notamment température). Ces limitations sont vraisemblablement secondaires. Par ailleurs, il convient de considérer les travaux entrepris en 1982 comme une première approche de l'impact d'une centrale sur les oeufs et larves. Outre les résultats eux-mêmes, des enseignements en seront tirés pour la conduite ultérieure de travaux similaires et l'analyse d'impacts sub-létaux.

Les investigations effectuées à la prise d'eau et dans le canal de rejet et le panache sont l'objet d'une étude contractuelle d'un an exécutée par l'ISTPM ;

ces investigations sont complétées par une expérimentation effectuée dans les mêmes conditions, à partir de prélèvements réalisés dans les déversoirs de rejet, conduite par Mme BLANPIED-WOHRER et Mlle VICTOR-BAPTISTE .

## I - METHODOLOGIE

---

### 1.1 - : RAPPEL DE QUELQUES DONNEES CONCERNANT LA CENTRALE DE GRAVELINES

La centrale de Gravelines est implantée à l'ouest du nouvel avant-port pétrolier de Dunkerque dans lequel s'effectue la prise d'eau. (fig.1)(1). A l'entrée du canal d'amenée se trouve un masque écremeur plongeant à - 3m. Après un trajet de près de 1 km, l'eau de refroidissement passe sur des filtres rotatifs de maille 3 mm et , après passage dans les condenseurs, est évacuée par l'intermédiaire de conduites enjambant le canal de prise et débouchant dans les déversoirs ouverts sur le canal de rejet. La longueur de ce dernier est sensiblement égale à celle du canal d'amenée (fig . 2).

Les conditions d'exploitation de la centrale sont telles que généralement une ou deux tranches (sur quatre) sont à l'arrêt. En 1981, par exemple, une production thermique équivalente à trois fois 900 MW a été atteinte rarement au cours de l'année et jamais l'équivalent de 4 fois 900 MW. En 1982, on observe qu'entre début avril et début juin la production thermique cumulée n'a jamais dépassé 1800 MW (document EDF). Les tranches en fonctionnement le sont généralement à pleine charge et réalisent une élévation thermique (que l'on désignera par la suite par  $\Delta T$ ) d'environ  $10^\circ$  sur l'eau de prise ; chaque tranche est équipée de 2 pompes de circulation d'un débit de  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Par ailleurs, d'autres besoins en eau de refroidissement nécessitent le maintien en service d'une ou de deux pompes sur des tranches hors production thermique. Le  $\Delta T$  afférant est insignifiant mais l'impact mécanique ou mécanique et chloré sur le plancton transitant est conservé.

### 1.2 - : NATURE DES IMPACTS DIRECTS INDUITS PAR LA CENTRALE

Les impacts successifs subis par les oeufs et larves de sole avant et après le transit peuvent se résumer ainsi :

---

(1) Il a paru plus pratique de placer la totalité des figures et des tableaux après le texte où on les trouvera dans l'ordre de leur première citation, sauf exception.

- 1 - Séjour dans les eaux de l'avant-port pétrolier
- 2 - Turbulences à l'entrée du canal d'amenée et passage sous le masque écremeur
- 3 - Cheminement dans les eaux du canal d'amenée légèrement plus chaudes (environ 1°) que celles du milieu extérieur et de composition éventuellement différente
- 4 - Impact mécanique probable sur les grilles de filtration (surtout pour les larves)
- 5 - Impact mécanique seul (M), mécanique et thermique (M+ $\Delta T$ ), mécanique et chloré (M+Cl) ou enfin mécanique, thermique et chloré (M+ $\Delta T$ +Cl) dans les condenseurs
- 6 - Impact mécanique supplémentaire dans les déversoirs de rejet ainsi qu'entre les déversoirs et le canal de rejet surtout à basse mer où l'on observe de forts remous
- 7 - Impact thermique prolongé dans le canal et le panache de rejet
- 8 - Choc thermique froid éventuellement lors de la dilution hétérogène dans le panache sur le littoral.

Notons que dans le canal de rejet (et dans le panache) on trouvera un mélange d'oeufs et de larves ayant subi des impacts différents selon les tranches concernées. Cette hétérogénéité complique l'interprétation des résultats. Lors des prélèvements "canal et panache" nous avons cherché à la réduire en demandant aux services techniques de la centrale d'arrêter un maximum de pompes sur les tranches non chauffées pendant la durée des prélèvements (1). Les conditions obtenues pour chaque campagne sont résumées dans le tableau 1A. Par ailleurs, pour les prélèvements au sortir immédiat des conduites de rejet réalisés à d'autres moments que les précédents, les conditions d'exploitation ont été modifiées pour réaliser les quatre cas de figure précédemment décrits :

M  
M +  $\Delta T$   
M + Cl  
M +  $\Delta T$  + Cl

---

(1) Ces modifications ont été aimablement réalisées par les responsables de l'exploitation de la centrale de Gravelines. Nous remercions particulièrement Messieurs CAVELIER, CASTEL et ZUSZEK pour leur concours dans ce domaine et la communication de renseignements techniques indispensables à la conduite des expériences et l'interprétation des données.

### 1 - 3 : PRINCIPE GENERAL DE LA METHODOLOGIE

La méthodologie adoptée résulte d'un compromis entre la recherche des données précises et la fiabilité du travail de terrain et de laboratoire.

Le frai de la sole est récolté au cours de la période de ponte à l'aide d'un filet à plancton en différents points du rejet et du panache, ainsi qu'en des points témoins ; après isolement des oeufs et larves vivantes, ceux-ci sont placés en incubation dans de l'eau du canal d'amenée et à température constante.

On note la mortalité immédiate après pêche puis après 72 h d'incubation.

L'incubation en laboratoire d'échantillons provenant de différents points du rejet a été préférée au suivi d'enceintes dérivantes contenant les oeufs et larves ayant transité ; en effet, compte tenu notamment des courants de marée, la mise en oeuvre d'une telle méthodologie aurait été délicate. La solution adoptée, plus prudente pour cette première année d'expérimentation, introduit une difficulté d'interprétation supplémentaire.

### 1 - 4 : PERIODE D'EXPERIMENTATION

Trois campagnes ont été réalisées au printemps, au cours de la période principale de reproduction de la sole à Gravelines.

Les deux premières ont eu lieu respectivement mi-avril et mi-mai autour du maximum de ponte dont la date approximative a été estimée sur la base des cycles annuels de température et d'abondance des oeufs observés depuis 1975, joints aux données hebdomadaires de densité d'oeufs aux rejets et de température à la prise communiquées par Mme BLANPIED-WOHRER et Mlle VICTOR-BAPTISTE (fig . 3), et aux densités observées dans le milieu du début de l'année 1982 (fig . 4).

Les deux premières campagnes devaient permettre d'observer essentiellement l'impact sur les oeufs, avant et après la mise en route de la chloration.

La troisième et dernière campagne a eu lieu début juin et devait permettre d'observer en même temps l'impact sur les larves.

La réalisation de trois campagnes successives était destinée à vérifier la reproductibilité des résultats ou, le cas échéant, à observer une éventuelle variation de la sensibilité du frai à différents moments de la période de ponte.

Cependant, la dernière campagne n'a fourni que relativement peu d'oeufs et très peu de larves dans le panache, de sorte que ses résultats sont peu significatifs. L'accélération du réchauffement à la fin du printemps 1982, plus important que celui observé en 1976, a vraisemblablement précipité l'achèvement de la ponte et augmenté la mortalité naturelle des oeufs, les températures relevées (environ 15°-16°) étant proches de la température létale supérieure. Les dates des 3 campagnes figurent dans le tableau 1. Les prélèvements dans le panache ont eu lieu à la même période mais à 1 ou 2 jours d'intervalle par rapport aux prélèvements effectués dans les déversoirs (tabl. 2) compte tenu de la nécessité de disposer de différents types de rejets pour ces derniers prélèvements alors que l'on recherche au contraire un maximum d'homogénéité pour ceux effectués dans le panache.

#### 1 - 5 : EMPLACEMENT DES POINTS DE PRELEVEMENTS (fig. 5 et 6)

##### 1.5.1 - Points au débouché des conduits de rejet

Ces points sont échantillonnés dans les déversoirs des rejets au niveau des tranches en production thermique, ou à l'arrêt avec maintien en service d'une pompe de circulation ; indépendamment du numéro de la tranche considérée, ils sont appelés R<sub>1</sub> à R<sub>4</sub> selon les conditions rencontrées :

- R<sub>1</sub> = choc mécanique seul
- R<sub>2</sub> = choc mécanique + thermique
- R<sub>3</sub> = choc mécanique + chloré
- R<sub>4</sub> = choc mécanique + thermique + chloré

La figure 7 résume ces quatre situations.

Le tableau 1 précise les types de rejets considérés à chaque campagne.

##### 1.5.2 - Point dans le canal de rejet

Un point seulement (nommé A) est échantillonné dans le canal après déversement de l'ensemble des rejets (correspondant ou non à des tranches en production thermique) et avant toute dilution de l'effluent (dilution 0 %). Ce point, initialement prévu à la sortie immédiate du canal de rejet a été placé à l'intérieur même du canal pour des raisons techniques

(impossibilité d'utiliser l'embarcation légère lors des deux premières campagnes) ; néanmoins, il a été placé le plus loin possible des rejets, au niveau du coude, avant le débouché du canal sur le littoral, afin d'intégrer au maximum l'effet du séjour dans ce canal.

### 1.5.3 - Points dans le panache de rejet

Deux points (B et C) ont été retenus pour les prélèvements réalisés dans le panache. Ils devaient correspondre à deux taux différents de dilution de l'effluent, respectivement 30 et 70 % environ. Ces taux ont par la suite été ramenés à environ 20 et 40 % compte tenu de la difficulté pressentie de mettre en évidence une variation du taux de mortalité pour des échantillons dont une faible fraction seulement aurait subi un impact ; nous avons donc cherché à rendre cette fraction plus importante (80 et 60 % au lieu de 70 et 30 %) en choisissant des dilutions plus faibles, respectivement 20 et 40 %. Cette fraction a théoriquement intégré l'effet cumulé du transit dans les condenseurs et du séjour dans le canal de rejet et le panache à des températures progressivement décroissantes.

L'emplacement de ces deux points est déterminé grâce à une mesure de température à la sonde thermique qui permet de connaître le taux de dilution avec une bonne approximation par un abaque établi en appliquant la formule :

$$D = \frac{\Delta T_i - \Delta T_{P-E}}{\Delta T_i} \times 100$$

Où D est le taux de dilution de l'effluent en %

$\Delta T_i$  l'échauffement initial dans le canal (après déversement de l'ensemble des rejets)

et  $\Delta T_{P-E}$  la différence entre la température observée au point considéré et celle du point témoin E non atteint par la tache thermique

$\Delta T_i$  correspond au  $\Delta T$  au sortir des condenseurs corrigé du taux de dilution initial affectant les rejets chauds du fait du fonctionnement de pompes de circulation sur certaines tranches hors-service.

Pour chaque campagne, nous avons ainsi calculé l'échauffement résiduel de l'effluent à la sortie du canal, compte tenu des conditions d'exploitation de la centrale (tableau 1A), et le taux de dilution véritable des points B et C (tabl. 2).

Par ces calculs, nous tenons compte de la dilution dans le panache de l'ensemble des effluents, laquelle correspond à celle des oeufs et larves ayant subi un transit dans les condenseurs et non pas uniquement celle des effluents chauds. Cette dilution globale correspond par ailleurs à celle de la teneur en oxydants résiduels (TOR) résultant de la chloration puisqu'en période de chloration tout rejet, correspondant ou non à une tranche en production thermique, est chloré. Enfin cette optique apparaît assez réaliste, l'essentiel de l'impact semblant être dû au stress mécanique (voir plus loin résultats).

REMARQUES .

Les taux de dilution de l'effluent sont calculés en fonction de la température au point E considérée comme représentative de l'eau de dilution qui est en réalité côtière et plus chaude que celle du large. Le tableau ci-dessous indique les températures en divers points du site relevées lors de l'étude de surveillance.

POINT	Dates Niveau	4	18	21	12	25	9
		Février	Mars	Avril	Mai	Mai	Juin
Côte	Surface	/	/	9,5	13,3	13,1	16,4
	Fond	/	/	9,2	10,8	13,0	16,0
Médian	Surface	5,5	7,0	8,7	10,5	12,9	15,7
	Fond	5,5	7,0	8,7	10,3	12,9	15,6
Large	Surface	5,3	/	8,7	10,9	12,4	14,9
	Fond	5,3	/	8,4	10,7	12,2	14,7

Un gradient de 0°5 se traduirait ainsi par une augmentation de 5 % du taux de dilution en C lors de la première et de la deuxième campagne et de 9 % en B lors de la deuxième. Néanmoins, les gradients côte-

large rencontrés en avril et mai sont faibles ou nuls, la température en D par exemple est supérieure d'un ou deux dixièmes de degré seulement à celle de E. En revanche, en juin la température à la côte est plus élevée de 1°5 environ qu'en E ; cela entraîne une élévation d'environ 26 % du taux de dilution en C, qui serait de nature à changer les résultats.

#### 1.5.4 - POINTS TEMOINS

Deux points ont été choisis pour fournir les lots témoins .

\* point\_D - Situé à l'entrée du canal de prise d'eau (prélèvement effectué du haut du pont qui enjambe le canal, en aval du masque écremeur) ; ce point fournit la mortalité naturelle des oeufs et larves qui transitent effectivement dans la centrale et qui représentent par ailleurs une fraction éventuellement déjà sélectionnée du frai naturel par séjour dans l'avant-port.

\* point\_E - "témoin vrai" situé à l'emplacement du point du large des études de surveillance ; il indique la mortalité du frai au voisinage de l'aire de ponte.

### 1.6 : MATERIEL ET METHODES DE PRELEVEMENT

#### 1.6.1 - PECHE

Les oeufs et larves sont récoltés à l'aide d'un échantillonneur à plancton du type "Bongo" grand modèle (61 cm de diamètre d'ouverture) identique à celui utilisé pour les études de surveillance ; il est muni de deux filets cylindro-coniques de 3 m de longueur, de maille 500  $\mu\text{m}$  , se terminant par des collecteurs à oreilles. Cet échantillonneur a été retenu pour son adaptation à la pêche de l'ichthyoplancton (il permet notamment de récolter un maximum d'éléments en un temps relativement court) et sa maniabilité. Lorsque les prélèvements ont été faits à pied ou à partir d'une embarcation légère, nous avons utilisé un Bongo modifié, ne comportant qu'une seule embouchure et un seul filet (tabl. 3).

Les traicts sont en principe de 5 minutes à la vitesse de 1,5 à 2 noeuds (0,7 à 1 m.s<sup>-1</sup>). Ces dispositions n'ont pas toujours pu être respectées.

Notamment, la vitesse de traict a été réduite sur le chalutier (au point E) pour diminuer la part de mortalité initiale due à la pêche et se rapprocher de la faible vitesse de filtration réalisée au point D. Par ailleurs, au point D, le temps de traict a pu être augmenté sans dommage pour les oeufs. Dans les déversoirs de rejet, on observe d'importantes turbulences qui ne permettent pas d'apprécier la vitesse de filtration. Le tableau 2 indique encore les principales caractéristiques de traicts.

En chaque point, plusieurs traicts successifs ont été réalisés afin de récolter un nombre suffisant d'oeufs ou de larves (sauf en C et E lors de la première campagne). Lors de la deuxième campagne l'abondance des oeufs nous a permis de prélever deux replicats en C et E. Enfin, les traicts sont réalisés uniquement en sub-surface afin d'échantillonner dans la couche d'eau de mélange du panache.

Cette modalité est critiquable pour l'évaluation de la mortalité immédiate dans l'hypothèse où une partie des oeufs morts lors du transit présente une perte de flottabilité avant de parvenir au point de prélèvement.

#### 1.6.2 - CONSERVATION DES ECHANTILLONS JUSQU'AU LABORATOIRE

En chaque point, les récoltes de traicts successifs sont rassemblées pour constituer un seul ou quelquefois deux échantillons (qui seront traités séparément sous forme de replicats).

Le contenu de chaque collecteur est d'abord filtré sur deux tamis successifs de 1 cm et 2 mm de maille afin d'éliminer la plupart des cténaires (essentiellement les "groseilles de mer" *Pleurobrachia pileus*, secondairement *Beroe cucumis*) qui constituent le principal danger de prédation lors du transport jusqu'au laboratoire. Le refus de tamis est aussitôt fixé au moyen du fixateur habituellement utilisé dans d'autres études et mis au point par MASTAIL et BATTAGLIA (1978). Le reste du prélèvement est transporté jusqu'au laboratoire après dilution dans environ 10 l d'eau de mer prélevée sur place. Cette précaution s'avère suffisante pour prévenir tout risque d'anoxie jusqu'à l'arrivée au laboratoire (entre 1/2 h et 1 h après le prélèvement selon le lieu d'échantillonnage) où les récipients sont oxygénés par bullage jusqu'au moment du tri.

Pour les échantillons prélevés en A B et C on admet que le refroidissement à bord simule de manière grossière mais suffisante la décroissance de température dans le panache. Dans certains cas, cette décroissance a été accélérée par dilution. Les échantillons sont ramenés au laboratoire de l'Institut Pasteur de Lille installé à Gravelines à proximité de la centrale.

## 1 - 7 : TRAVAIL AU LABORATOIRE

### 1.7.1 - TRAITEMENT DES ECHANTILLONS

Le traitement des échantillons est entièrement réalisé en chambre thermorégulée à la température de l'eau du canal de prise avec laquelle ont été alimentés les bacs d'incubation.

Les échantillons sont filtrés sur une maille de 1 mm afin d'éliminer une grande partie des petits organismes planctoniques gênants pour le tri du matériel vivant et de retenir les oeufs et larves de sole. Ceux-ci sont ensuite triés à la loupe bino-  
culaire. Les oeufs de sole sont facilement reconnaissables (fig.8). Deux stades sont retenus : (fig. 9)

stade 1 : oeufs non embryonnés

stade 2 : oeufs embryonnés

Les oeufs et larves morts sont immédiatement fixés et indiquent la mortalité immédiate (Mi) par stade.

Les animaux vivants sont comptés et placés par lots environ équivalents dans des incubateurs en PVC transparent de 10 cm x 8 cm x 5 cm munis de fenêtres de 500 µm de maille (1) et placés jusqu'à 3/4 de hauteur dans des bacs contenant 200 l d'eau de mer décantée provenant du canal d'aménée.

Les incubateurs sont munis d'un fond quadrillé qui permet le comptage des oeufs ou larves sous la binoculaire sans manipulation préalable, disposition particulièrement intéressante dans le cas d'observations intermédiaires (après 24 h et 48 h).

L'incubation est poursuivie pendant 72 h dans la même eau filtrée en circuit fermé. À la fin des 72 h, le contenu de chaque incubateur est examiné.

---

(1) Les incubateurs ont été conçus et fabriqués au laboratoire Planctonologie de l'ISTPM par J.J JOFFRAUD et C. ROUXEL en s'inspirant des incubateurs fabriqués par A. BATTAGLIA en 1975 pour une étude similaire. Les bacs et système de filtration ont été montés par J.L. BIGOT et P. GRELLIER.

Cinq catégories ont été retenues :

oeufs vivants	larves vivantes
oeufs morts	larves mortes
	larves disparues

La dernière catégorie est obtenue par différence entre le total des oeufs placés au départ dans l'incubateur et la somme des individus des quatre premiers groupes après 72 h. Le fait que les oeufs morts sont intégralement retrouvés après 72 h alors que les larves mortes se désagrègent au bout de 24 ou 48 h (voir plus loin) nous permet d'assimiler sans conteste les oeufs disparus à des larves mortes en incubation. On considère également le total des oeufs éclos correspondant au total des larves (vivantes + mortes + disparues).

#### 1.7.2 - CRITERES DE SURVIE

Le critère de viabilité le plus rapide d'utilisation pour les oeufs comme pour les larves s'avère être, après vérification, la transparence de l'embryon (ou de la larve) ou du vitellus. En effet, les morts se distinguent très facilement par un aspect blanchâtre, à un pôle de l'oeuf au stade 1 et dans sa totalité pour le stade 2, complété par une rétraction de l'embryon et du vitellus, laquelle s'observe également chez les larves.

Ces deux critères (opacité et morphologie) ont l'avantage de permettre une séparation rapide entre morts et vivants, ce qui est indispensable dans ce type d'étude où un maximum de prélèvements doit être réalisé et mis à incuber au cours de la même journée à fin de comparaison.

Les autres critères (mobilité de l'embryon et de la larve ou battements cardiaques) n'ont servi qu'à confirmer les critères évoqués plus haut et à les extrapoler aux oeufs non embryonnés pour lesquels les critères de mobilité sont évidemment inutilisables.

L'incorporation de rouge neutre a également été testée ; il s'avère que la méthode est quasi inutilisable pour les oeufs,

l'incorporation du colorant étant très lente (après plusieurs heures, l'on perçoit difficilement une légère coloration jaunâtre du vitellus et de l'embryon) vraisemblablement en raison des propriétés sélectives de la coque vis-à-vis des substances externes et du fait que le rouge neutre est constitué de grosses molécules. Par ailleurs, la grande sensibilité des larves à la manipulation (sur 12 larves écloses, 11 sont mortes 1 h après transfert à la pipette dans un autre incubateur) rend également la méthode inutilisable. D'une manière générale, il n'est pas intéressant d'utiliser une technique introduisant une manipulation supplémentaire puisque les critères morphologiques sont suffisamment fiables.

Des observations de l'effet de fixation habituelle sur quelques oeufs vivants et morts ont été effectuées. Il apparaît que le fixateur agit très lentement sur les oeufs vivants et provoque, dans un nombre limité de cas (1 sur 5 environ), une légère opacification naissante due à l'extrusion d'une partie du vitellus. Cependant, les oeufs morts présentent une opacification beaucoup plus importante après fixation que les oeufs vivants.

Ce résultat peut être intéressant pour les études de terrain ou l'on peut être amené à tenir compte du taux de mortalité des oeufs observé à partir de matériel fixé, à condition toutefois de fixer les échantillons aussitôt la pêche terminée.

## 1.8 - TRAITEMENT DES RESULTATS

Les résultats numériques bruts sont transformés en pourcentage par rapport au nombre total d'oeufs (ou de larves) pêchés d'une part, par rapport au nombre de vivants placés en incubation d'autre part, et ceci à l'intérieur de chaque stade.

### REMARQUE

Bien que les résultats de la dernière campagne relatifs aux points autres que le témoin E soient peu significatifs compte tenu du faible nombre d'oeufs pêchés (7 à 30), nous les avons représentés sur les figures afin de rendre compte de l'intégralité des données.

## II - RESULTATS

### 2.1 -PRELEVEMENTS DANS LES DEVERSOIRS DE REJET (Mmes BLANPIED-WOHRER et VICTOR-BAPTISTE)

Ces prélèvements, réalisés au niveau des déversoirs de chaque tranche, ne subissent aucun mélange avec les autres tranches et aucune dilution. Ceci nous permet d'étudier l'influence isolée des différents stress que peuvent subir les oeufs et larves de sole au cours de leur transit à travers les circuits de refroidissement de la centrale, et celle de leur combinaison : choc mécanique dû au simple transit, choc thermique dû à l'élévation de température au niveau du condenseur, choc chimique dû à une chloration de 1 ppm (des arrêts de tranche pour révision nous ont permis de prélever l'ichthyoplancton n'ayant subi que le choc mécanique ou mécanique et chloré). Rappelons les quatre cas suivants :

- R<sub>1</sub> : tranche non chauffée et non chlorée ; les oeufs et larves subissent le seul choc mécanique
- R<sub>2</sub> : tranche chauffée mais non chlorée ; synergie entre les chocs mécanique et thermique
- R<sub>3</sub> : tranche non chauffée mais chlorée ; synergie entre les chocs mécanique et chimique
- R<sub>4</sub> : tranche chauffée et chlorée ; synergie entre les chocs mécanique, thermique et chimique.

Au cours de la première campagne, les points R<sub>3</sub> et R<sub>4</sub> n'ont pu être réalisés car la chloration sur les tranches n'est mise en route que pour une température de l'eau de mer à l'entrée des condenseurs égale ou supérieure à 10° C et celle-ci ne dépassait pas 8°4 en avril.

Au cours de la troisième campagne (juin) les prélèvements en R<sub>1</sub> et en R<sub>3</sub> n'ont pu être effectués en raison soit de travaux rendant l'accès à ces points impossible, soit d'arrêts de tranches.

Par ailleurs, le faible nombre d'oeufs pêchés en juin (inférieur à 30 dans les rejets) nous a conduit à négliger les résultats obtenus au cours de cette campagne, leur significativité étant sujette à caution.

Deux prélèvements réalisés par l'I.S.T.P.M., l'un à l'entrée du canal d'amenée (point D), l'autre au large de la centrale (point E), nous servent de témoins.

### 2.1.1 - RESULTATS PORTANT SUR LES OEUFS

#### 2.1.1.1. - MORTALITE IMMEDIATE (Mi)

a) - tous stades confondus

La mortalité immédiate tous stades confondus correspond au nombre d'oeufs morts (stade 1 + stade 2) au temps 0 ( $t = 0$ ) rapporté au total des oeufs pêchés à un point donné.

La figure 10 montre que la Mi est nettement plus élevée dans les rejets qu'aux points témoins E et D, ce qui indique déjà l'existence d'un impact de la centrale. Le fait que Mi soit plus élevée au large (E) qu'à la prise d'eau (D) peut s'expliquer principalement par deux phénomènes :

- \* une sélection naturelle des oeufs plus résistants en D qu'en E ; en effet, ce dernier point, proche de l'aire de ponte, reçoit un frai encore peu diminué par la mortalité naturelle alors, qu'en D, au fond de l'avant-port, la fraction la plus sensible des oeufs est absente, ceux-ci ayant probablement sédimenté en route comme le font habituellement les oeufs morts (ce que nous avons constaté pour les oeufs morts en incubation).
- \* un stress mécanique lors du prélèvement, plus important en E (traict à 2 noeuds) qu'en D (le courant du canal d'amenée étant très faible) ; par ailleurs, le transport des échantillons provenant des points E jusqu'au laboratoire est plus long que pour ceux issus du point D.

Quel que soit le point de prélèvement considéré, il faut tenir compte du mode de prélèvement sur cette Mi, qui peut ne pas être négligeable. Les rejets sont des zones de fortes turbulences mais les prélèvements des points E et D, ainsi que certains points du panache, se font dans des conditions similaires ce qui permet la comparaison des résultats.

Il faudrait pouvoir quantifier cette mortalité due à l'engin de pêche utilisé mais on peut d'ores et déjà penser que les taux de mortalité immédiate enregistrés sont en fait légèrement sur-estimés.

Les campagnes 1 et 2 mettent particulièrement en évidence l'importance du choc mécanique sur  $M_i$  ( $M_i$  supérieure dans tous les rejets par rapport aux témoins). Les différences existantes entre les différents points  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ , et  $R_1$  (choc mécanique seul) expriment l'importance respective de la chloration et de la température. Ainsi, on peut noter que l'échauffement et la chloration agissant seuls n'ont aucun effet additionnel sur la mortalité due au transit mais par contre agissant en synergie ils augmentent notablement la mortalité immédiate (dans la campagne 2, la différence de  $M_i$  entre  $R_1$  et  $R_4$  est de 21 %).

D'autre part, le taux de  $M_i$  plus fort dans la première campagne que dans la seconde semblerait indiquer une plus grande fragilité des oeufs en avril au début de la période de ponte (fig. 3).

b) - stades 1 et 2 distingués

oeufs du stade 1 ( $M_{i1}$ )

La figure 11 montre l'extrême sensibilité de ces oeufs au choc mécanique ( $M_{i1}$  toujours comprise entre 74 % et 100 %) et elle confirme l'importance de l'action synergique de la température et du chlore : dans la campagne 2,  $M_i$  est augmenté de 17 % en  $R_4$  par rapport à  $R_1$ . Pris isolément, ces deux facteurs n'ont aucune influence significative mais semblent cependant indiquer une tendance.

oeufs du stade 2 ( $M_{i2}$ )

A ce stade, les oeufs sont beaucoup plus résistants ainsi que le montre leur faible taux de mortalité au cours des trois campagnes (fig. 11). De plus, ces oeufs semblent plus résistants au mois de mai lorsque l'intensité de ponte est maximale, qu'aux mois d'avril et de juin (début et fin de la période de ponte).

La température a une influence sur  $M_{i2}$  : elle double (+ 13 %) la mortalité immédiate due au transit seul (point  $R_1$ ) dans la première campagne, et cette mortalité quadruple dans la campagne 2.

On constate toujours l'action synergique du chlore et de la température puisque dans la campagne 2,  $M_{i2}$  est pratiquement quintuple en  $R_4$  par rapport à  $R_1$ .

c) - remarque

Les résultats précédents montrent une différence de sensibilité des oeufs suivant leur stade de développement. Pour comparer d'une part l'influence des facteurs liés au fonctionnement de la centrale et d'autre part les différentes campagnes entre elles, il est préférable de considérer le pourcentage de mortalité immédiate moyen ( $\overline{Mi}$ ) des deux stades.  $\overline{Mi} = \frac{Mi_1 + Mi_2}{2}$  plutôt que la  $Mi$  tous stades confondus.

Ce nouveau calcul met en évidence le fait que la très grande "sensibilité" du total des oeufs observée dans la campagne 1 provient surtout du pourcentage plus élevé d'oeufs du stade 1 dans cette campagne que dans les campagnes suivantes (fig . 10 ).

L'effet combiné du chlore et de l'élévation de température demeure évident mais l'impact dû au choc mécanique reste de loin le facteur le plus important quant à l'action de la centrale sur la mortalité immédiate des oeufs de sole.

#### 2.1.1.2. - RESULTATS APRES INCUBATION

Rappel: Dans l'analyse de ces résultats, "les oeufs disparus", qui correspondent à la différence entre le nombre d'oeufs mis à incuber et le nombre total d'oeufs et larves comptabilisés après 72 h, sont considérés comme des larves mortes et désagrégées.

a) - Tous stades confondus

La mortalité différée des oeufs ( $Md$ ) correspond au nombre d'oeufs morts après 72 h d'incubation par rapport au nombre total d'oeufs mis à incuber.

La figure 12 a indique que cette  $Md$  est faible (de 7 à 20 %) pour les rejets et elle ne démontre aucune influence des différents chocs subis par les oeufs.

La figure 12 b met en évidence les faits suivants :

- \* le pourcentage de larves vivantes est plus élevé pour la deuxième campagne que pour les autres
- \* par rapport aux témoins E et D, le taux d'éclosion (total des larves écloses, vivantes, mortes et disparues) enregistré dans les différents points rejets ne semble pas affecté par les stress subis ;

- \* la mortalité des larves écloses (larves mortes larves disparues) est toujours plus élevée dans les rejets qu'au point E mais elle reste voisine de celle enregistrée au point D ;
- \* dans la campagne 2, on observe une importante mortalité des larves écloses à partir d'oeufs ayant subi à la fois chloration et élévation de température.

Il semblerait donc que les oeufs ayant subi apparemment sans dommage les chocs induits par leur transit dans la centrale ne soient pas atteints dans leur développement par l'effet mécanique, thermique ou chimique agissant seul, mais la synergie chaleur-chlore jouerait un rôle néfaste sur les larves écloses.

Nous allons détailler ces premiers résultats en considérant l'évolution des oeufs pour chacun des stades.

b) - stades 1 et 2 distingués

oeufs du stade 1

Après 72 h, tous les oeufs vivants sont embryonnés. Le début du développement des oeufs survivants ne semble donc pas affecté par les différents stress. La figure 13 ne révèle aucun impact de la centrale sur la mortalité différée ( $Md_1$ ) de ces oeufs au mois d'avril (campagne 1).

En revanche, on peut supposer un léger effet de l'échauffement au mois de mai (campagne 2) qu'il faudrait confirmer car les différences enregistrées entre les rejets chauffés et non chauffés ne sont pas vraiment significatives. La figure 14 met en évidence un taux d'éclosion nul (campagne 1) ou toujours très faible (2 à 4 % pour la campagne 2). Le taux d'éclosion de 16 % observé en R<sub>4</sub> ne peut être jugé significatif car le nombre d'oeufs mis à incuber était beaucoup plus faible pour ce prélèvement que pour les autres (12 oeufs contre 27 à 878 dans les autres rejets et les points témoins).

Aucune larve vivante n'a pu être observée (excepté 2 pour le point E) ce qui ne prouve pas forcément une grande sensibilité des oeufs du stade 1, le temps d'éclosion aux températures considérées étant voisin ou supérieur à 72 h.

oeufs du stade 2

La figure 13 ne démontre aucune différence d'effet entre  $R_1$  et  $R_2$  sur la mortalité différée des oeufs du stade 2 ( $Md_2$ ) au mois d'avril. Au mois de mai, elle permet de mettre en évidence les deux phénomènes suivants :

- \* les oeufs mis à incuber ont été stressés par le choc mécanique puisqu'on constate une mortalité des oeufs nettement supérieure dans les rejets par rapport aux points témoins 1 % en E et D contre 5 à 17 % dans les rejets (tabl. 14) ;
- \* le facteur thermique joue un rôle sur la mortalité différée des oeufs et larves écloses. Celle-ci est supérieure dans le rejet chauffé  $R_2$  par rapport aux rejets non chauffés  $R_1$  et  $R_3$ .

La figure 15 indique que les taux d'éclosion sont plus élevés en mai qu'en avril, ce qui est normal compte tenu du raccourcissement du temps de développement des oeufs. Ces pourcentages d'éclosion sont pratiquement constants, pour une même campagne, entre les témoins et les différents points rejets ; ils ne sont donc pas affectés par les différents stress subis par les oeufs au cours de leur transit.

En revanche, il semble qu'on observe un effet léthal dû au choc thermique sur les larves écloses lors de la deuxième campagne. En effet, la mortalité des larves écloses est supérieure de 30 à 45 % dans les rejets chauffés  $R_2$  et  $R_4$  par rapport à celle des rejets non chauffés  $R_1$  et  $R_3$ . Cependant, la grande variabilité des résultats ne permet pas de conclure ; notamment, au point D, la mortalité larvaire est voisine de celle observée en  $R_4$ .

La chloration n'influence nullement cette mortalité, qu'elle agisse seule ou en synergie avec élévation de température (mortalité des larves inférieure en  $R_3$  à celle des autres rejets et aucun effet additionnel de mortalité dans le rejet chauffé et chloré  $R_4$  par rapport au rejet chauffé et non chloré  $R_2$ ).

c) remarque

Une autre difficulté d'interprétation que nous rencontrons est liée à l'existence de "disparus" qui correspond à la différence entre le nombre d'oeufs et larves relevé après 72 h

et le nombre d'oeufs mis à incuber (voir méthodologie).

Pour la première campagne où les disparus sont en très grand nombre, il faut noter qu'en  $R_1$ , oeufs et larves n'ont été relevés qu'au bout des 72 h d'incubation mais qu'en  $R_2$ , un comptage sommaire (sans que les oeufs et larves morts soient manipulés) avait été réalisé à 48 h car des grèves menaçaient l'accès au laboratoire pour la fin de l'expérience. Dans la deuxième campagne, un comptage systématique toutes les 24 h a été réalisé mais seuls les oeufs et larves morts du point  $R_3$  ont été prélevés au fur et à mesure. Pour la troisième campagne cette méthode a été systématiquement appliquée.

La figure 16 illustre le suivi de la mortalité des oeufs et larves au cours des 72 h d'incubation et nous conduit aux conclusions suivantes .

- \* Le taux de mortalité des oeufs n'évolue pratiquement pas après 24 h, alors que celui des larves augmente considérablement entre 48 et 72 h. Les oeufs morts sédimentent et tombent au fond de l'incubateur où il est très facile de les compter. Ils ne se décomposent pas rapidement (un oeuf mort se conserve pratiquement intact après 72 h). Les "disparus" ne peuvent donc être des oeufs et sont obligatoirement des larves écloses ; ce fait est confirmé par l'observation des larves mortes souvent relevées en voie de décomposition. Cette décomposition a lieu très rapidement ; nous pensons donc que les "oeufs disparus" ont éclos et que les larves sont mortes puis se sont décomposées. Ceci paraît confirmé par le faible nombre de disparus enregistré lorsque les larves mortes sont systématiquement retirées de l'incubateur ( $R_3$  en mai,  $R_2$  et  $R_4$  en juin).
- \* La pollution bactérienne des incubateurs (induite en partie par la décomposition des larves mortes) pourrait expliquer l'augmentation importante de la mortalité des larves après 48 h. Ceci est illustré par le point  $R_3$  de la deuxième campagne pour lequel on n'observe qu'une très faible augmentation de la mortalité des larves entre 48 et 72 h.
- \* Il faut mentionner enfin que le nombre d'oeufs par incubateur n'est pas constant.

Un autre problème se pose pour la comparaison des prélèvements témoins (E et D) aux prélèvements réalisés dans les rejets ainsi que pour la comparaison des points rejets entre eux.

En effet, alors que dans les rejets, le temps de prélèvement (5mn par replicat) et les volumes d'eau filtrée (50 m3) demeurent constants d'un point à l'autre et d'une campagne à l'autre, ceci n'est pas le cas des points témoins. D'autre part, le nombre d'oeufs mis à incuber est différent en chaque point et pour chaque campagne ce qui entraîne la comparaison de pourcentages n'ayant pas le même degré de signification. Ceci est surtout le cas de la campagne 3 (moins de 30 oeufs pêchés dans les rejets malgré les 6 prélèvements réalisés).

### 2.1.2 - RESULTATS PORTANT SUR LES LARVES

Leur quasi-absence au cours de nos trois campagnes a rendu impossible la détermination d'un éventuel impact de la centrale sur les larves.

Une seule larve vivante a été pêchée dans les rejets (première campagne) et celle-ci a été trouvée morte après 72 h.

Toutes les autres larves (soit 22) ont été prélevées pendant la même campagne (campagne 3) et leur mortalité immédiate est totale.

D'autre part, la mortalité naturelle des larves ayant atteint la phase de nutrition serait importante en dessous de 12°. Rappelons que le maximum d'abondance des oeufs se situe pour l'année 82 aux alentours de 10°. De plus la mortalité par prédation (les cténaires sont très abondants dans la région de Gravelines) n'est pas à négliger. Il faudrait augmenter considérablement les volumes d'eau filtrée pour obtenir un nombre de larves suffisant pour l'expérience.

Il est possible aussi que le temps écoulé entre les deux dernières campagnes ait été trop important (la température de l'eau passe de 10° à 17°) et que la plupart des larves aient déjà subi la métamorphose qui leur assure une vie démersale.

## 2.1.3 - COMPARAISON DES RESULTATS AVEC LES DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

### 2.1.3.1. - EFFETS DES CHOCS MECANIQUES ET CHIMIQUES

La chloration (lorsqu'elle n'est pas accompagnée de choc thermique) ne paraît pas avoir une forte influence sur la mortalité des oeufs. Il est toutefois démontré clairement dans cette étude, contrairement à ce qui avait été présumé en 1980 (TRAVADE, 1980), que le choc mécanique est d'une importance capitale.

### 2.1.3.2. - INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LE DEVELOPPEMENT DES OEUFS

Il existe une relation exponentielle entre la durée d'incubation des oeufs  $D$  et la température d'incubation  $T$  de type  $D = AT^B$ , où  $A$  et  $B$  sont des constantes relatives à chaque stade de développement (RILEY, 1974 ; FONDS, 1979). Ce temps nécessaire à l'éclosion à partir d'un oeuf fécondé est d'environ 8 jours à 12 jours pour une température de 8°4 et 6 jours à 8 jours pour une température de 10° si l'on utilise les données de FONDS (relation  $D = 137,8 T - 1,329$ ). Les résultats de RILEY (1974) sont très voisins ( $D = 149,5 T - 1,285$ ), soit respectivement 10 et 8 jours.

Ne connaissant pas exactement le stade de développement des oeufs mis à incuber, il est fort possible que l'absence totale d'éclosion des oeufs non embryonnés dans la campagne 1 et le très faible taux d'éclosion de ces oeufs dans la campagne 2 soient liés à une durée de mise en observation trop courte.

### 2.1.3.3. - TOLERANCE THERMIQUE DES OEUFS ET DES LARVES

L'incubation des oeufs de sole par FONDS (1979 cité par KHALANSKI et TRAVADE 1981) pour des températures variant entre 10° et 22°C donne les résultats suivants :

- à 10°C : 100 % de survie des larves après éclosion
- à 13-16°C : taux de survie élevé
- à 19°C : 10 % d'éclosion avec beaucoup de larves anormales
- à 22°C : aucune larve viable.

Dans la campagne 2, la température d'incubation était de 10°C et nous avons constaté le plus fort taux d'éclosion et le plus faible taux de mortalité des larves, ce qui va dans le sens des résultats de FONDS.

D'autre part, la tolérance thermique des oeufs de sole est fortement dépendante de leur stade de développement mais serait plus importante après la gastrulation (RILEY, 1974).

La distinction que nous avons choisie, stade 1 (oeufs non embryonnés) et stade 2 (oeufs embryonnés) est sans doute trop grossière, car certains stades intermédiaires entre nos stades 1 et 2 présentaient des sensibilités très différentes (PARIS et Coll. 1976). Ceci pourrait expliquer que les oeufs de notre stade 2 soient plus sensibles au choc thermique que les oeufs du stade 1.

Enfin, il ne nous a pas été possible de dissocier l'influence du choc thermique proprement dit ( $\Delta T$ ) des effets imputables à la température maximale atteinte (température initiale +  $\Delta T$ ).

DEVAUCHELLE (1977) concluait que les mortalités observées sur les oeufs de sole semblaient indépendantes de la durée du choc thermique (lorsque celui-ci est voisin de  $\Delta T$  10°C) mais que la température maximale atteinte aurait par contre une influence considérable lorsqu'elle dépassait 29°C. Au cours de nos trois campagnes, cette température n'a jamais été enregistrée.

Les travaux réalisés par DEVAUCHELLE et résumés par BORDET (1978) ne permettent aucune comparaison avec nos résultats; en raison des températures initiales et des  $\Delta T$  sélectionnés pour les expériences, du fait que les mortalités soient relevées 48 h après le choc, du fait que les températures d'acclimatation des géniteurs soient élevées et enfin en raison de la prise en compte de stades résistants.

In situ, les températures permettant le développement des oeufs de sole varient de 7 à 19°C pour FLUCHTER (1970), de 7 à 15°C pour RILEY (1974) et de 7 à 14-16°C pour IRVIN (1974).

Lors de la campagne 3, la température de l'eau de mer était voisine de 18°C (avant la fin de la gastrulation, IRVIN note une mortalité totale des oeufs à cette température) ce qui pourrait expliquer le faible nombre d'oeufs pêchés.

## 2.2 - PRELEVEMENTS DANS LE CANAL ET LE PANACHE DE REJET

### 2.2.1 - RESULTATS PORTANT SUR LES OEUFS

#### 2.2.1.1. - MORTALITE IMMEDIATE

a) tous stades confondus

\* comparaison entre points

Rapportée à l'ensemble des oeufs pêchés tous stades confondus, la mortalité immédiate (relevée avant mise en incubation des oeufs vivants) dans le canal et le panache n'est pas toujours significativement supérieure et quelquefois même inférieure à celle des témoins (tableau 4 et fig . 17) :

\* en A le pourcentage de mortalité immédiate (Mi) n'est supérieur à celui des témoins D et E qu'au cours de la deuxième campagne (mai) et voisin de celui observé aux rejets. En avril, la Mi en A est inférieure à celle du témoin E et voisine de celle du témoin D

\* en B (qui n'a été prélevée qu'en mai)(1), la Mi n'est que faiblement supérieure à D et du même ordre de grandeur que E.

\* en C la Mi n'est que faiblement supérieure à celle des témoins D et E en mai et inférieure en avril.

Les résultats de la troisième campagne ne sont interprétables que pour la station E où 171 oeufs ont été récoltés ; les nombres d'oeufs pêchés aux autres stations varient entre 0 et 30 ce qui ne permet pas une exploitation significative de ces résultats.

La mortalité initiale, voisine voire inférieure à celle des témoins dans le canal et le panache, peut s'expliquer d'une part par une éventuelle variabilité

---

(1) Le point a été réalisé également en juin mais n'a fourni aucun oeuf.

des résultats due à la faible taille de certains échantillons en avril (E et A) et d'autre part par la sélection d'une fraction résistante après passage dans les condenseurs où la mortalité est élevée. Cette dernière hypothèse expliquerait une Mi en A (0 % de dilution) inférieure à celle observée dans les déversoirs de rejet.

Les résultats de mortalité immédiate tous stades confondus ne sont présentés ici que pour permettre la comparaison des trois campagnes entre elles, étant donné qu'on ne dispose pas, pour la première, des mortalités immédiates par stade.

\* comparaison entre campagnes

Il ressort des figures 11 et 18 que les oeufs sont plus sensibles en avril et juin qu'en mai. Ceci correspond vraisemblablement, d'une part à une fragilité plus grande des oeufs en début et en fin de saison de ponte, d'autre part à l'influence directe de la température (RILEY, 1974), inférieure à 10° en mai et voisine de la température létale supérieure en juin. La variabilité des résultats n'est pas à exclure non plus.

Ce phénomène semble confirmé par la Mi plus élevée dans les rejets en avril qu'en mai. Par ailleurs, il rendrait compte d'un effet de sélection après transit plus important en avril qu'en mai, qui expliquerait que la Mi en A soit nettement plus faible que celle des rejets lors de la première campagne par rapport à la deuxième.

Enfin, la Mi en E est toujours plus élevée qu'en D, phénomène que nous avons tenté d'expliquer (2.1.1.1.a).

remarque

La mortalité immédiate des lots témoins (E et D) semble due essentiellement au choc du prélèvement suivi de manipulations diverses. En effet, d'une part elle est relativement importante pour des témoins et d'autre part l'essentiel de la mortalité différée

additionnelle s'exprime dans les 24 h qui suivent. Si la Mi était l'expression en grande partie d'une mortalité naturelle celle-ci aurait un taux journalier relativement constant de 40 à 70 % in situ en fonction des conditions naturelles selon RILEY (1974).

b) stades 1 et 2 distingués

différence de sensibilité entre les stades

Les deux groupes de stades qui ont été distingués correspondent grossièrement à deux classes de sensibilité a priori différente séparées par l'achèvement de la gastrulation, fin de la phase sensible. Ce point de vue est confirmé par le fait que la Mi des oeufs du stade 1 ( $Mi_1$ ) est nettement supérieure en chaque point à celle des oeufs au stade 2 ( $Mi_2$ ) au cours des deux campagnes où la discrimination a été faite (tabl. 4 et fig. 18). Lors de la campagne 1, elle a cependant été opérée au point E et dans les déversoirs ; les résultats confirment ceux des deux campagnes suivantes.

Aux points témoins D et E notamment, la Mi est pratiquement nulle pour les stades 2 en mai et juin ce qui montre d'une part que le stress mécanique dû à la pêche et aux manipulations s'exerce essentiellement sur les oeufs du premier stade et d'autre part que la sélection des oeufs résistants évoquée plus haut s'effectue au sein de ce même stade. Par ailleurs, les oeufs du stade 2 ont déjà subi la mortalité naturelle, ce qui a pour effet de diminuer la part de celle-ci dans la Mi observée. Enfin, cela suggère que la "prédation" de la centrale s'exerce sur une fraction déjà sélectionnée des oeufs âgés et qu'elle s'ajoute ainsi à la mortalité naturelle.

différences entre les points

L'écart de Mi entre les points est plus net si l'on considère chaque stade séparément. Notamment, on

observe en mai une décroissance de  $M_i$  parallèle au taux de dilution à la fois pour les stades 1 et pour les stades 2 (fig.18 et tableau 6) que l'on n'observait pas en mélangeant les stades.

La différence est particulièrement nette entre les témoins et l'ensemble point A - R<sub>1</sub> à R<sub>4</sub> y compris en juin pour les stades 2. Ces résultats mettent en évidence un impact du transit.

La différence de sensibilité entre les deux stades explique que le taux de mortalité immédiate tous stades confondus conduise à des résultats apparemment incohérents, la proportion d'oeufs au stade sensible dans les prélèvements variant selon le point considéré. Il est donc nécessaire de distinguer au moins ces deux stades. Par ailleurs, plutôt que de considérer la  $M_i$  globale en mélangeant les deux stades, on parvient à un paramètre plus réaliste en considérant la  $M_i$  moyenne  $M_i = \frac{M_{i1} + M_{i2}}{2}$  (tableau 7 et fig.19). C'est probablement du fait de leur pauvreté relative en oeufs du premier stade que les points D, A et C de la première campagne présentent une  $M_i$  inférieure, par rapport au total des oeufs pêchés, à celle du témoin E (en A, leur proportion au sein des oeufs vivants n'est que de 8 %, en D elle est de 23 %).

Par ailleurs, on note une baisse de la proportion d'oeufs du stade 1 dans le total des oeufs pêchés en A, B et C comparée à celle observée en E et D en mai et E en juin (fig 17 et tableau 5 et 8).

Pour préciser ce résultat, les proportions observées ont été corrigées en calculant le pourcentage d'oeufs au stade 1 que l'on devrait trouver aux différents points du panache compte tenu de celle qui existe en D (considérée comme représentative de l'effluent initial et égale à celle observée dans les rejets - tableau 5 -) et du taux de dilution de l'effluent dans le panache, (en considérant la proportion existante en E comme

représentative des eaux de dilution) (1). On peut également, avec la même méthode, calculer la proportion d'oeufs au stade 1 que l'on devrait trouver en D compte tenu de celle observée dans le panache et du taux de dilution de l'effluent.

Les pourcentages virtuels d'oeufs au stade 1 B et C sont comparés aux pourcentages observés ; les écarts (tableau 9) confirment le déficit en oeufs de ce stade déjà noté par comparaison directe des proportions observées. Le calcul effectué est forcément grossier du fait que les prélèvements n'ont pas été réalisés dans les mêmes masses d'eau et que les eaux de dilution de l'effluent ne sont pas les eaux du large où l'on observe généralement une proportion plus élevée d'oeufs au stade 1 qu'à la côte du fait de la proximité de l'aire de ponte. Cette dernière donnée aurait pour effet d'exagérer le déficit en oeuf du stade 1 mentionné ci-dessus.

Cependant, en mai la proportion d'oeufs au stade 1 au point O de surveillance voisin du point C (tableau ci-après) est peu différente (60 %) de celle observée en E et prise comme indice des eaux de dilution du panache.

Cette disparition préférentielle des oeufs au stade 1 après transit est à rapprocher de la forte mortalité immédiate qu'ils subissent dans les rejets. On peut émettre l'hypothèse d'une sédimentation progressive des oeufs morts laquelle diminue la proportion des oeufs au stade 1, les plus sensibles à l'impact du transit, dans les prélèvements effectués en surface dans le canal et le panache de rejet.

---

(1) - on utilise pour cela l'équation :

$$P_i = P_E \cdot R + P_D (1-R)$$

où  $P_i$  est la proportion théorique d'oeufs au stade 1 aux différents points considérés (A, B ou C)

$P_E$  et  $P_D$  les proportions respectivement en E et D  
et R le taux de dilution de l'effluent initial

( $P_i$ ,  $P_E$ ,  $P_D$  et R sont exprimés en fraction de l'unité)

POINT de surveillance	4 FEVRIER	18 MARS	21 AVRIL	12 MAI	25 MAI	9 JUIN
0 (environ C)	/	/	78	60	(52)	(42)
1	/	64	18	71	63	(43)
2 (env. E)	/	/	90	66	69	(67)

Pourcentage d'oeufs au stade 1 observés en différents points de surveillance.

Les parenthèses indiquent des nombres peu significatifs.

On peut enfin, selon le même principe, calculer l'écart entre la mortalité immédiate virtuelle et observée (tableau 10 et fig 20). Le calcul intègre la mortalité moyenne dans les rejets compte tenu de la proportion des différents impacts subis au départ ( $R_1$  à  $R_4$ ). Il n'a été fait que pour la campagne 2 (absence de discrimination des stades d'oeufs morts pour la campagne 1 et résultats peu significatifs de la campagne 3).

Au cours de cette campagne, au moment des prélèvements, l'effluent initial se composait de 4 rejets comparables en volume ( $4 \times 20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) de type  $R_4$  (chauffés à  $\Delta T$  maximal et chlorés) et d'un rejet de type  $R_3$  (non chauffé mais chloré) (voir tabl. 1).

La mortalité immédiate dans l'effluent initial ( $Mir$ ) peut donc être calculée en faisant la moyenne des  $Mi$  figurant au tableau 4,

soit :  $\frac{(94 \times 4) + 81}{5} = 91 \%$  pour les oeufs au premier stade et :  $\frac{(8 \times 4) + 1}{5} = 7 \%$  pour les oeufs embryonnés (tableau 10).

La mortalité immédiate en A devrait être identique à celle de l'effluent initial ; en B et C, elle devrait être de :

$$Mi_{(B. \text{ ou } C)} = Mi_E \cdot R_{(B \text{ ou } C)} + \overline{Mir} (1 - R_{(B. \text{ ou } C)})$$

où  $Mi_E$  est la mortalité immédiate en E (eaux de dilution) et R le taux de dilution de l'effluent en B ou C exprimé en fraction de l'unité. On trouve ainsi une mortalité immédiate théorique en B d'environ 80 % pour les oeufs non embryonnés et d'environ 6 % pour les oeufs embryonnés.

Pour le point C, on trouve respectivement 65 % et 4 %.

La mortalité initiale dans le canal de rejet et le panache est ainsi inférieure à la mortalité attendue au niveau des oeufs du premier stade, les écarts (tableau 10) étant plus importants en B et C qu'en A.

Ce résultat permet de compléter l'hypothèse émise (voir 2.2.1.1.a) : la chute des oeufs morts vers les couches plus profondes (principalement au stade 1) dans le canal et le panache de rejet opère une sélection en faveur d'une fraction plus résistante. Cette sélection est d'autant plus importante que le point est plus éloigné de l'effluent initial (écarts en B et C plus importants qu'en A - tableau 18). Cependant, le point B présente un déficit en oeufs du stade 1 et en mortalité plus importante que C.

Ce phénomène de sélection des oeufs du stade 1 dans le panache ôte bien entendu toute signification biologique aux paramètres qui ne tiennent pas compte de la discrimination des stades ; bien plus, il serait judicieux à l'avenir de pousser cette discrimination plus loin à l'intérieur des deux groupes de stades actuellement distingués.

#### différence entre les campagnes

La différence de sensibilité des oeufs entre avril, mai et juin est visible surtout au niveau des premiers stades ; en juin, notamment, leur mortalité initiale est totale en E alors qu'elle n'est que de 5% pour ceux du stade 2. Cette mortalité élevée est vraisemblablement due au fait que la sensibilité des oeufs du premier stade au stress de la pêche est très élevée au voisinage de la température létale supérieure. La baisse de  $Mi$  en E entre avril et mai s'accompagne d'une baisse de la proportion de stade 1 (fig 17 et tableau 5 et 8).

Enfin, la  $Mi$  élevée des oeufs au stade 1 se traduit par une chute de leur proportion dans le total des oeufs vivants comparée à celle qu'on relève dans le total des oeufs pêchés (tableau 5).

2.2.1.2. - RESULTATS APRES INCUBATION (stades 1 et 2 distingués)

a) mortalité différée des oeufs

résultats

Des observations intermédiaires effectuées après 24 h et 48 h sur le lot témoin E en mai montrent que l'essentiel sinon la totalité de la mortalité différée des oeufs s'exprime sous 24 h pour les deux stades de développement. De telles observations (tableau 11 et fig. 21) ont également été effectuées en juin sur les lots provenant des points A et C, mais le faible nombre d'oeufs pêchés rend les résultats peu significatifs.

L'augmentation maximale de mortalité différée entre le premier et le troisième jour a été de 2 % pour l'un des trois lots considérés (fig.21) : 7 % de mortalité différée au bout de 72 h contre 5 % au bout de 24 h. Par ailleurs, l'augmentation de mortalité différée au cours de l'incubation n'existe pratiquement que pour les oeufs du premier stade.

Ces résultats sont identiques à ceux obtenus à partir des prélèvements effectués dans les rejets (voir chapitre 1). Ils semblent indiquer :

. qu'une incubation de 24 h peut être suffisante si l'on ne s'intéresse qu'à la mortalité initiale des oeufs ; il ne semble pas y avoir d'effets létaux différés dus aux divers impacts subis par les oeufs (choc de la pêche + chocs du transit) ;

. que l'essentiel de la mortalité différée (Md) peut être considéré comme un prolongement de la mortalité immédiate (Mi), la mortalité naturelle additionnelle étant faible, de sorte que le total  $Mi + Md$  constitue un paramètre global biologiquement significatif.

différence de sensibilité entre les stades

On note là encore globalement une sensibilité des oeufs au stade 1 plus grande que celle des oeufs au stade 2 (fig. 22) au cours des deux premières campagnes (au cours de la troisième campagne, la mortalité immédiate des oeufs au stade 1 était totale et par conséquent, aucun oeuf du premier stade n'a été placé en incubation).

différence entre les points

Les résultats concernant la Md sont apparemment moins cohérents que pour la Mi. Notamment, en mai on n'observe de gradient croissant de Md en direction des rejets que pour les oeufs au stade 2 alors qu'on notait un tel gradient pour les deux stades en considérant la Mi, probablement en raison d'une variabilité plus importante des résultats portant sur les stades fragiles, phénomène déjà évoqué à propos de la Mi. On observe néanmoins une Md<sub>1</sub> plus élevée en A qu'aux points témoins E et D au cours des deux premières campagnes et qu'en D seul au cours de la troisième, bien que les résultats soient moins significatifs.

La correction des Md (pourcentages calculés par rapport aux oeufs vivants au départ, placés en incubation) selon le mode de calcul appliqué à la Mi (2.1.1.1.a) ne fait apparaître de déficit qu'aux points B (campagne 2) et C (campagne 1) et uniquement au niveau des stades 1 (tableau 10). Pour ces résultats, on n'a considéré que les deux premières campagnes (pas de stades 1 vivants au cours de la troisième et résultats trop peu significatifs). Les déficits de Md ainsi observés sont d'ailleurs faibles (12 % en C et 8 % en B) et en B, ne portent que sur 13 oeufs au total, ce qui est peu significatif. Aux autres points (A au cours des deux premières campagnes et C au cours de la deuxième), au contraire, la Md observée dans le canal et le panache est plus élevée que la Md virtuelle.

La mortalité différée apparaît ainsi dans la plupart des cas comme un indicateur de l'impact, directement mesurable par échantillonnage des oeufs dans le panache parce-qu'il concerne une fraction suffisamment résistante pour ne pas subir la mortalité immédiate lors du transit et intégrer ainsi de surcroît l'impact du séjour dans le canal et le panache. Les nombres obtenus sont certainement aussi sous-estimés du fait qu'on a affaire à une fraction résistante.

Par ailleurs la mortalité totale (immédiate + différée) apparaît comme un paramètre moins homogène que prévu (voir plus haut) : en effet, la sélection par sédimentation à l'issue du transit des oeufs résistants à la mortalité immédiate a pour effet de diminuer la valeur de ce paramètre dans le panache alors que la mortalité différée, au contraire y est augmentée.

Il conviendra donc de continuer de distinguer à l'avenir deux paramètres qui n'ont véritablement de signification qu'isolément :

- mortalité immédiate rapportée au total des oeufs pêchés,
- mortalité différée rapportée aux oeufs vivants,

et ceci, par stade.

#### b) éclosions

Afin de rechercher d'éventuels effets sub-létaux de l'impact de la centrale sur les oeufs (effets sur le développement), nous avons examiné le devenir des oeufs restés vivants en incubation. La mortalité des larves peut, en s'ajoutant à celle des oeufs, être considérée comme un critère de létalité globale ; cependant, la qualité relative des eaux d'élevage (1) et l'absence de nutrition des larves nous incite à la prudence ; celles-ci peuvent, selon les données de FONDS (1979), atteindre en incubation - en mai - l'âge de la première nutrition.

---

(1) Les incubateurs étaient alimentés avec de l'eau recyclée.

Parmi les larves écloses (presque exclusivement à partir des lots d'oeufs du stade 2), nous avons distingué trois catégories principales rappelées ici : larves vivantes, larves mortes et larves disparues. Les observations réalisées après 24 h et 48 h ont encore montré que les oeufs morts, malgré leur aspect progressivement altéré (notamment, la coque se charge de débris organiques), se conservent intégralement pendant 72 h, alors que les larves mortes subissent généralement en 24 h une lyse complète. Cette observation nous permet de considérer les oeufs non retrouvés en fin d'incubation comme ayant éclos et donné naissance à des larves mortes par la suite. Cette donnée permet de calculer un taux d'éclosion en additionnant les trois catégories de larves (tableaux 13 et 14, fig. 24 et 25).

On constate d'abord que la proportion d'oeufs éclos est plus élevée en mai qu'en avril, aussi bien aux points témoins E et D (83 % en moyenne contre 46 %) que dans les rejets et le panache. Ce résultat doit être attribué principalement au raccourcissement du temps de développement entre avril et mai. Les observations intermédiaires à 24 h d'intervalle montrent encore que la plupart des éclosions ont lieu entre 48 et 72 h en mai, 24 et 48 h en juin. La durée moyenne de développement de l'oeuf de sole au cours des périodes concernées par les trois campagnes a été calculée à partir des données de RILEY (1974) qui permettent de préciser la durée maximale de chaque stade (tableau ci-après).

La durée moyenne de développement du stade 2, de l'ordre de 3 à 6 jours selon les campagnes, est assez faible pour que les oeufs les plus avancés de chaque lot de ce stade éclosent. Cependant, il semble y avoir une certaine accélération du développement en incubation puisqu'en mai, alors que la durée du stade 2 dépasse quatre jours, certains oeufs dans les lots de stade 1 éclosent en moins de 72 h (il s'agit probablement des oeufs en fin de stade 1).

Durée maximale de développement		AVRIL	MAI	JUIN
Stade 1	jours	2,5	1,7	1,3
	heures	60	41	31
Stade 2	jours	6,4 à 7,1	4,5 à 4,8	3,2
	heures	154 à 170	108 à 115	77
Ponte - éclosion	jours	8,9 à 9,6	6,2 à 6,5	4,5
	heures	214 à 231	149 à 156	108
Température		8°5 - 9°	11°5-12°	17°4

Durée maximale par stade du développement de l'oeuf de sole en fonction de la température, calculée à partir des données de RILEY (1974)

Il est délicat de vouloir rechercher l'effet d'un impact en comparant les taux d'éclosion compte tenu du fait qu'ils peuvent varier en fonction de la composition des prélèvements (la distinction de deux stades de développement seulement n'est pas suffisante pour fournir des lots homogènes) ; par ailleurs, la sélection des oeufs à l'issue du transit peut entraîner un changement dans la proportion des stades fins de développement comme il modifie le rapport entre les deux groupes principaux de stades.

C'est pourquoi nous avons plutôt recherché un critère indépendant de la composition en stades et d'une sélection des oeufs en examinant le rapport entre le total des larves mortes (+ disparues) et le total des oeufs éclos. Les résultats figurent dans le tableau 17. Tout d'abord, ce quotient est plus élevé globalement en avril qu'en mai et juin, probablement lié à la fragilité des oeufs en début de saison de ponte déjà évoquée.

Curieusement on note que toutes les larves issues d'oeufs initialement au stade 1 meurent, sauf en E et C lors de la campagne 2 où un très faible pourcentage (noté  $\epsilon$  dans les tableaux 13 et 14) de larves reste vivant. Ce résultat pourrait traduire un effet sub-létal plus important aux stades fragiles. Notons que, vu le faible nombre de larves issues d'éclosions d'oeufs du stade 1, ce résultat n'est pas significatif.

On voit enfin que le pourcentage de larves mortes est légèrement supérieur en D, dans les rejets chauds et aux points A et B, à celui observé au témoin E. Le pourcentage étant lié à la vitesse de développement, le résultat pourrait indiquer une simple accélération du développement au niveau des oeufs âgés qui n'était pas visible au niveau du pourcentage d'éclosion seul (fig. 25) (néanmoins, ce dernier était supérieur en A au témoin lors de la première campagne et plus élevé en mai qu'en avril au niveau des stades 1). On peut également conclure, non pas à une simple accélération du développement, mais à un véritable effet sub-létal du transit qui se manifesterait surtout au niveau des stades 2 plus résistants à un impact létal immédiat que les oeufs du stade 1. En ce sens, le critère de mortalité totale (mortalité immédiate et différée des oeufs + larves mortes + larves disparues) peut être utilisé pour les stades 2 où la mortalité est petite devant le pourcentage de larves.

La forte mortalité des larves écloses en juin (bien que les résultats ne soient pas significatifs) peut être due soit à une éclosion plus précoce entraînant une plus forte mortalité en élevage, soit à un taux de survie plus faible en juin à 17° qu'en ... mai à 12°.

On peut également, selon les méthodes de calcul décrites précédemment, calculer l'écart entre le pourcentage théorique de mortalité des larves écloses par rapport au total des éclosions si l'on considère une simple dilution de la mortalité, et le pourcentage réel pour la campagne 2 et les oeufs du stade 2.

On trouve que la mortalité des larves écloses est plus élevée d'environ 4 % en A, 33 % en B et moins élevée de 9 % en C que la mortalité théorique. Le résultat obtenu en B pourrait indiquer un effet sub-létal dû au séjour dans le panache ; il convient cependant d'être prudent au vu du résultat obtenu en C.

Pour la campagne 1, où l'on avait au moment des prélèvements 4 rejets de type R<sub>2</sub> et 2 rejets de type R<sub>1</sub>, l'écart en A et C est respectivement de -3% et -7% ; les résultats obtenus lors de la première campagne ne confirment donc pas les résultats de la deuxième alors que la plus grande fragilité des oeufs aurait dû entraîner au contraire une accentuation de l'effet "panache".

Le tableau 18 résume ces observations. Les résultats de la troisième campagne sont trop peu significatifs pour qu'on puisse les considérer pour ce calcul.

Il convient de nuancer ces résultats car la sélection d'une fraction résistante d'oeufs peut atténuer l'effet de l'impact sub-létal et celui d'un séjour prolongé dans les eaux du panache ; par ailleurs l'accélération du développement à la suite du transit peut entraîner une augmentation du taux de mortalité de larves écloses par le fait que les larves se maintiennent mal en élevage. Cependant, malgré un taux d'éclosion en moyenne plus élevé dans les déversoirs (cf. 2.1.1.2.b), le taux moyen de mortalité larvaire est inférieur y compris celui observé en R<sub>4</sub> où l'on avait synergie - chlore - température, à celui noté en B et voisin de celui du témoin prise d'eau (point D).

#### 2.2.1.3. - REMARQUE

Le problème de la représentativité des témoins a été déjà signalé (fin des paragraphes 2.1.1.2.c et 2.2.1.1.b).

La comparaison des résultats provenant des points E et D avec ceux des autres points soulève quelques difficultés dont l'une ne relève pas de la méthodologie : il s'agit de la sélection naturelle des oeufs au cours de leur transit de l'aire de ponte au point D.

Les autres difficultés sont en grande partie résolubles par la standardisation des méthodes de terrain ; seuls, les délais de transport au laboratoire ne peuvent pas être uniformisés.

### 2.2.2 - RESULTATS PORTANT SUR LES LARVES

Compte tenu des faibles effectifs de larves récoltés au cours des trois campagnes, aucun résultat n'est significatif. Il est vraisemblable que l'accélération du réchauffement à la fin du printemps qui a provoqué une chute des pontes a également eu une incidence sur la survie des larves ; comme en 1976, très peu de larves sont rencontrées dans le milieu comme en témoignent les résultats de l'étude de surveillance.

Deux larves au total ont été placées en incubation lors de la première campagne, 6 au cours de la deuxième et 26 au cours de la troisième (dont 22 relatives aux points de rejet). Notons simplement qu'alors que toutes les larves prélevées aux rejets, sauf une, sont mortes immédiatement, les 11 larves correspondant aux points E, D ou C ont pu être placées vivantes en incubation ; leur mortalité différée est cependant importante (tableau 19).

## CONCLUSION

---

L'étude expérimentale *in situ* entreprise en 1982 à la centrale nucléaire de Gravelines et portant sur la mortalité immédiate et différée des oeufs et larves de sole a permis de disposer de premiers résultats montrant l'incidence du transit dans les circuits de refroidissement et du trajet dans le canal de rejet et dans le panache.

Compte tenu des difficultés diverses liées à la mise en oeuvre de cette première expérimentation et de la relative lourdeur des opérations sur le terrain et en laboratoire, il n'a pas été possible de travailler sur la base de replicats. La validité des résultats quantitatifs, hormis certains cas très nets, n'est donc pas satisfaisante et un certain nombre de conclusions présentées à titre d'hypothèse sont provisoires et demandent à être éventuellement confirmées.

Le principal résultat qui ressort de cette étude est la prépondérance de l'impact mécanique (contrairement à ce qui était supposé à la lumière d'observations ultérieures sporadiques effectuées sur les oeufs âgés) et la confirmation de la sensibilité des oeufs aux premiers stades. Enfin, en raison de la quasi-absence de larves dans nos prélèvements, les résultats concernent essentiellement les oeufs.

### RESULTATS OBTENUS AUX DEVERSOIRS DE REJET

Les dommages se manifestent principalement par une mortalité immédiate, la mortalité différée restant généralement faible.

L'effet mécanique du transit est prépondérant (75 à 90 % de la mortalité totale) devant les effets thermiques et chimiques ; on observe un léger effet de la synergie des trois paramètres. BLANCHARD (1977) avait déjà souligné le consensus de plusieurs auteurs sur la prépondérance de l'impact mécanique. Une réserve s'impose cependant compte tenu de l'existence de fortes turbulences dans les déversoirs de rejet ; celles-ci pourraient augmenter momentanément la pression de filtration au niveau des filets et augmenter l'impact mécanique observé.

La sensibilité des oeufs au transit est très différente selon leur stade de développement. Les oeufs non embryonnés apparaissent comme très sensibles, leur mortalité immédiate étant augmentée de 56 à 75 % par rapport au témoin prise d'eau alors que les oeufs embryonnés sont beaucoup plus résistants : leur mortalité immédiate n'est augmentée que de 0 à 7 % par rapport à ce même témoin.

La mortalité différée des oeufs est relativement faible en incubation, en revanche celle des larves écloses à partir de ces oeufs est élevée, aussi bien dans les lots ayant subi le transit que dans les lots témoins. Il n'est donc pas possible pour le moment de conclure à un effet du transit sur la mortalité des larves écloses. Il est plus prudent dans un premier temps de considérer les larves mortes après éclosion comme des oeufs viables puisqu'ils ont achevé leur développement, et de ne prendre en compte que les résultats concernant la mortalité des oeufs :

- la mortalité différée des oeufs non embryonnés est augmentée de 0 à 8 % par rapport au témoin de la prise; leur pourcentage d'éclosion est très faible, comme pour le témoin ;
- la mortalité différée des oeufs embryonnés est augmentée de 4 à 16 %, leur pourcentage d'éclosion, quel que soit le rejet considéré, est élevé (de l'ordre de 80 %) et identique à celui des témoins.

L'incidence du transit des oeufs dans la centrale se manifeste donc par un effet létal immédiat très important sur les oeufs avant gastrulation.

Pour les oeufs embryonnés, naturellement plus résistants, l'incidence du transit ne s'exprime que par les effets sub-létaux qui n'ont pas été clairement mis en évidence compte tenu des conditions d'incubation.

#### RESULTATS OBTENUS DANS LE CANAL DE REJET ET LE PANACHE

Dans l'effluent, l'incidence de la centrale se manifeste d'abord par un effet létal immédiat, surtout chez les oeufs avant gastrulation, dont la mortalité totale dépasse de 20 à 50 % celle des témoins.

L'importante mortalité des oeufs non embryonnés observée lors du transit se solde par la sélection dans l'effluent d'oeufs plus résistants, comme semble l'indiquer la chute de la proportion de cette fraction dans les prélèvements effectués dans le canal de rejet et le panache ainsi que le taux de mortalité observé plus faible que celui calculé à partir des taux des différents rejets.

Pour les oeufs embryonnés, naturellement plus résistants, l'incidence du transit et du transport dans les eaux de rejet pourrait s'exprimer par des effets sur le développement, mais les résultats concernant la mortalité des larves écloses, compte tenu des conditions d'incubation, demandent à être revus.

## AUTEURS CITES

---

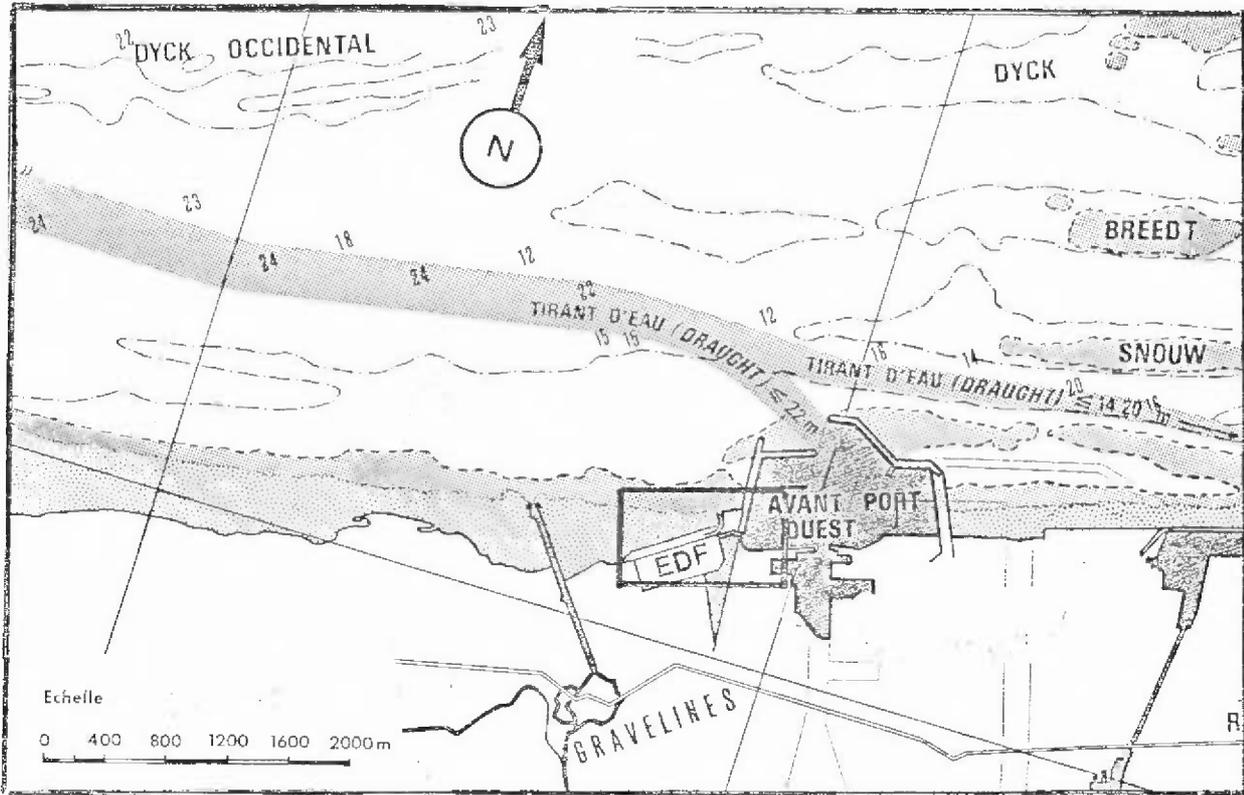
- BLANCHARD M. - 1977 - Impact du choc mécanique sur le zooplancton dans le circuit de réfrigération des centrales thermiques littorales. - Rapport CNEOX.
- BORDET F. - 1978 - Simulation des effets de transit sur quelques espèces marines holo et méroplanctoniques animales et végétales : effets thermiques, essai de synthèse des connaissances acquises. Rapport E.D.F. Direction de l'Équipement n° E. 2236.
- DEVAUCHELLE N. - 1977 - Etude expérimentale des chocs thermiques appliqués à des oeufs et des larves de poissons marins. Rapport C.N.E.X.O. - Contrat E.D.F. - Direction de l'Équipement n° 75/1557/F.
- X  
P.  
FABRE-DOMERGUE et BIETRIX E. - 1905 - Développement de la sole (*Solea vulgaris*) - Publication du laboratoire de zoologie marine de Concarneau, VUIBERT et NONY édit., PARIS.
- FLUCHTER J. - 1970 - Zur Embryonal- und larvalentwicklung der Seezunge, *Solea solea* (L.). Ber dtsch. wiss. Komm, Meeresforsch, 21 : 369-376.
- FONDS M. - 1979 - Laboratory observations on the influence of temperature and salinity on development of the eggs and growth of larvae of *Solea solea* (Pisces). Mar, Ecol, Prog, Ser, 1 : 91-99.
- IRVIN D.N. - 1974 - Temperature tolerance of early development stages of Dover Sole, *Solea solea* (L.). In : the Early Life History of Fish BLAXTER J.H.S. rédacteur, Springer - Verlag édit.
- KHALANSKI M., TRAVADE F. - 1981 - Données sur les premières années de la vie de la sole et de la plie. Rapport E.D.F. Direction des Etudes et Recherches n° HE/31-81-10.
- LEPETIT J.P., MOREAU S. et LEROY J. - 1974 - Etude du circuit de refroidissement de la centrale de Gravelines. Document E.D.F. Direction des Etudes et Recherches n° HC040/74.05.
- MASTAIL M. et BATTAGLIA A. - 1978 - Amélioration de la conservation des pigments de zooplancton. - Cons. Int. Explor. Mer, Comité de l'Océanographie Biologique, L :20.
- PARIS J., BARNABE G. et SUBE J. - 1977 - Effets des chocs thermiques sur le développement embryonnaire de l'oeuf de loup, *Dicentrarchus labrax* (L.) : Stades critiques et stades de résistance. In : Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire, journées de la thermo-écologie, E.D.F. Direction de l'équipement édit., PARIS.

- RILEY J.D. - 1974 - The distribution and mortality of Sole eggs (*Solea solea*) in inshore areas. In : The early life history of fish BLAXTER J.H.S, rédacteur, Springer-Verlag édit. Berlin, Heidelberg, New-York.
- TRAVADE F. - 1980 - Compte rendu de la campagne du 19 au 22 mai. Rapport E.D.F. Direction des Etudes et Recherches.
- WOEHLING D. - 1980 - Compte rendu de deux campagnes d'observations et d'expérimentations in situ à la centrale de Gravelines. Rapport ISTPM.

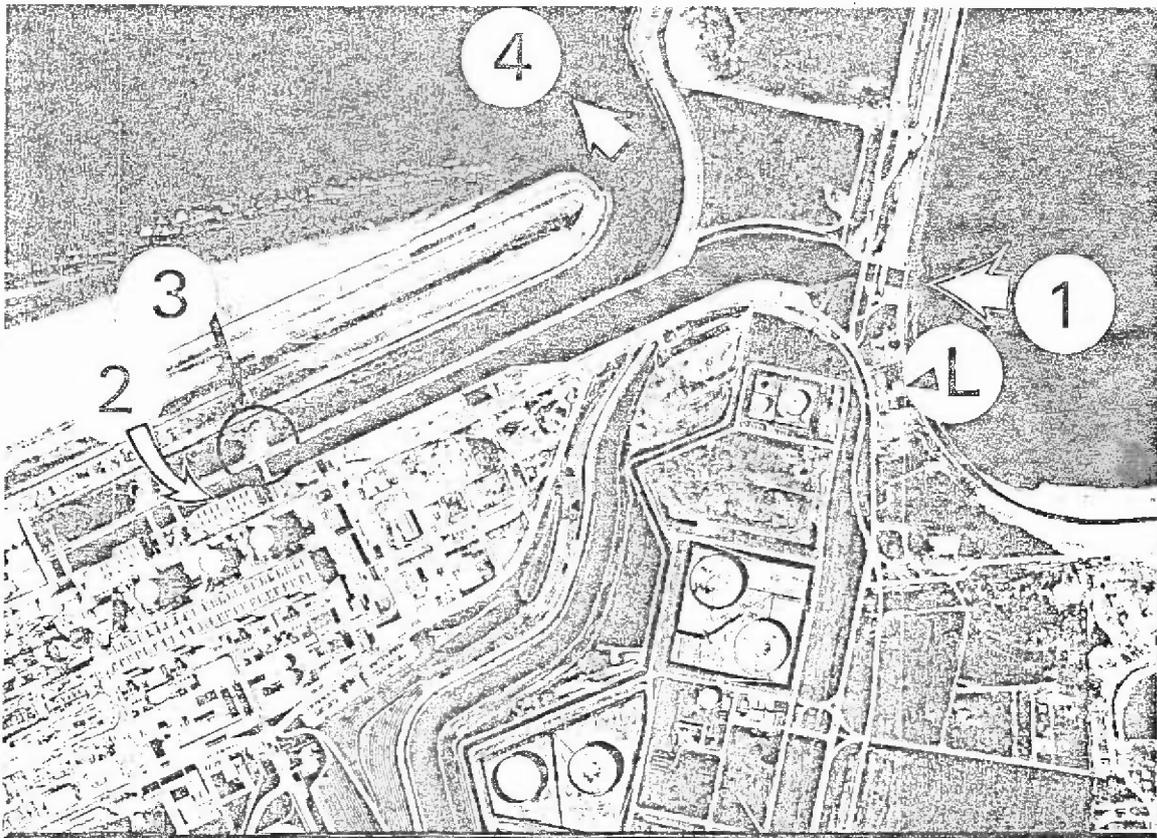
F I G U R E S (25)

ET

T A B L E A U X (19)



(a)



(b)

Fig. 1. - (a) Emplacement de la centrale de Gravelines sur le littoral sud de la mer du Nord.

(b) vue aérienne montrant les ouvrages de prise et de rejet d'eau (photo IGN reproduite).

(1 à 4 : légende fig. 2 ; L = laboratoire)

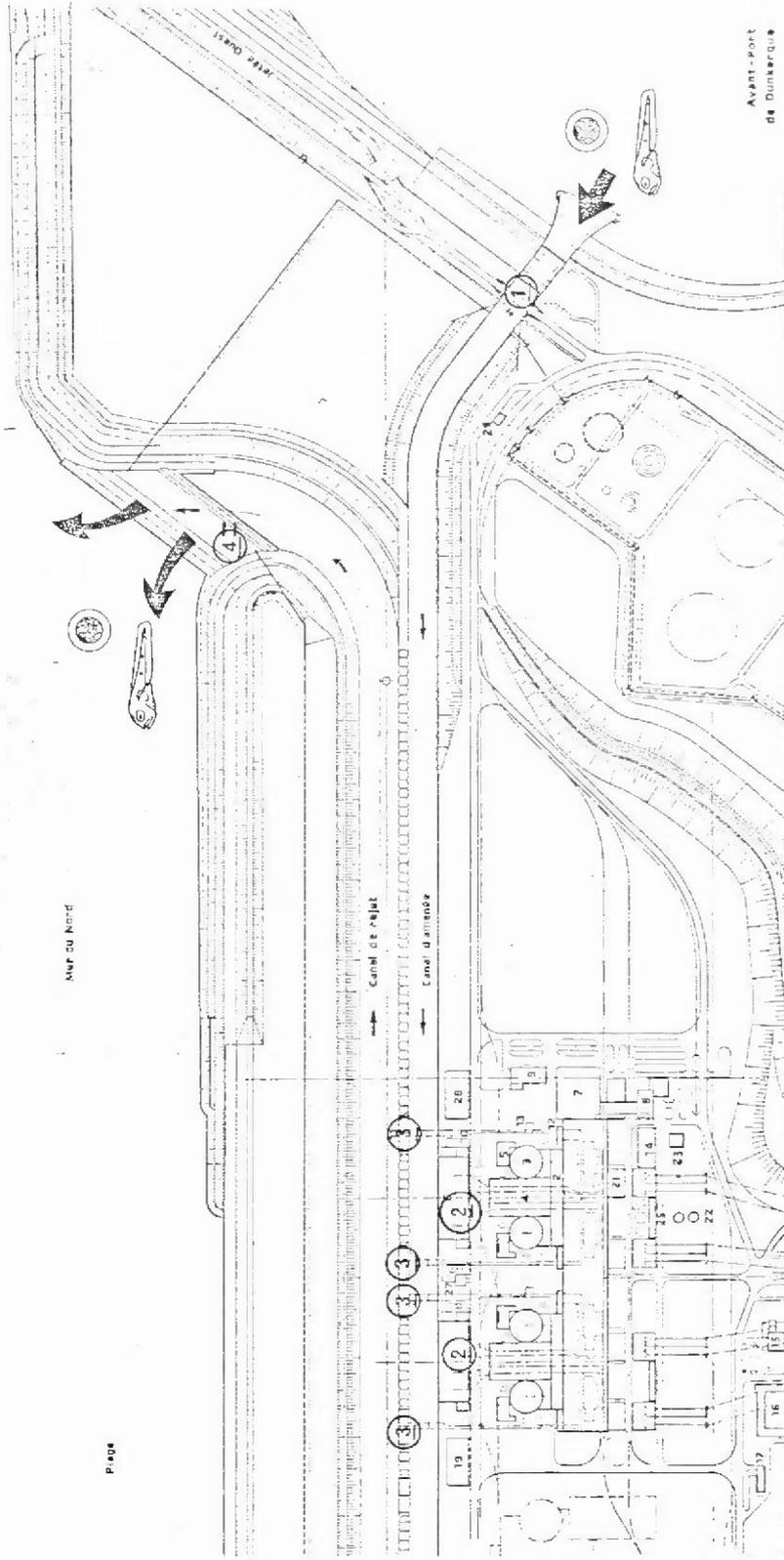


Figure 2. -- Emplacement des ouvrages de prise et de rejet d'eau

- ① entrée du canal d'amenée munie d'un masque écrémeur
- ② emplacement des puits de prise d'eau suivis des grilles de filtration
- ③ déversoirs au débouché des conduites de rejet
- ④ seuil d'étalement des eaux de rejet.

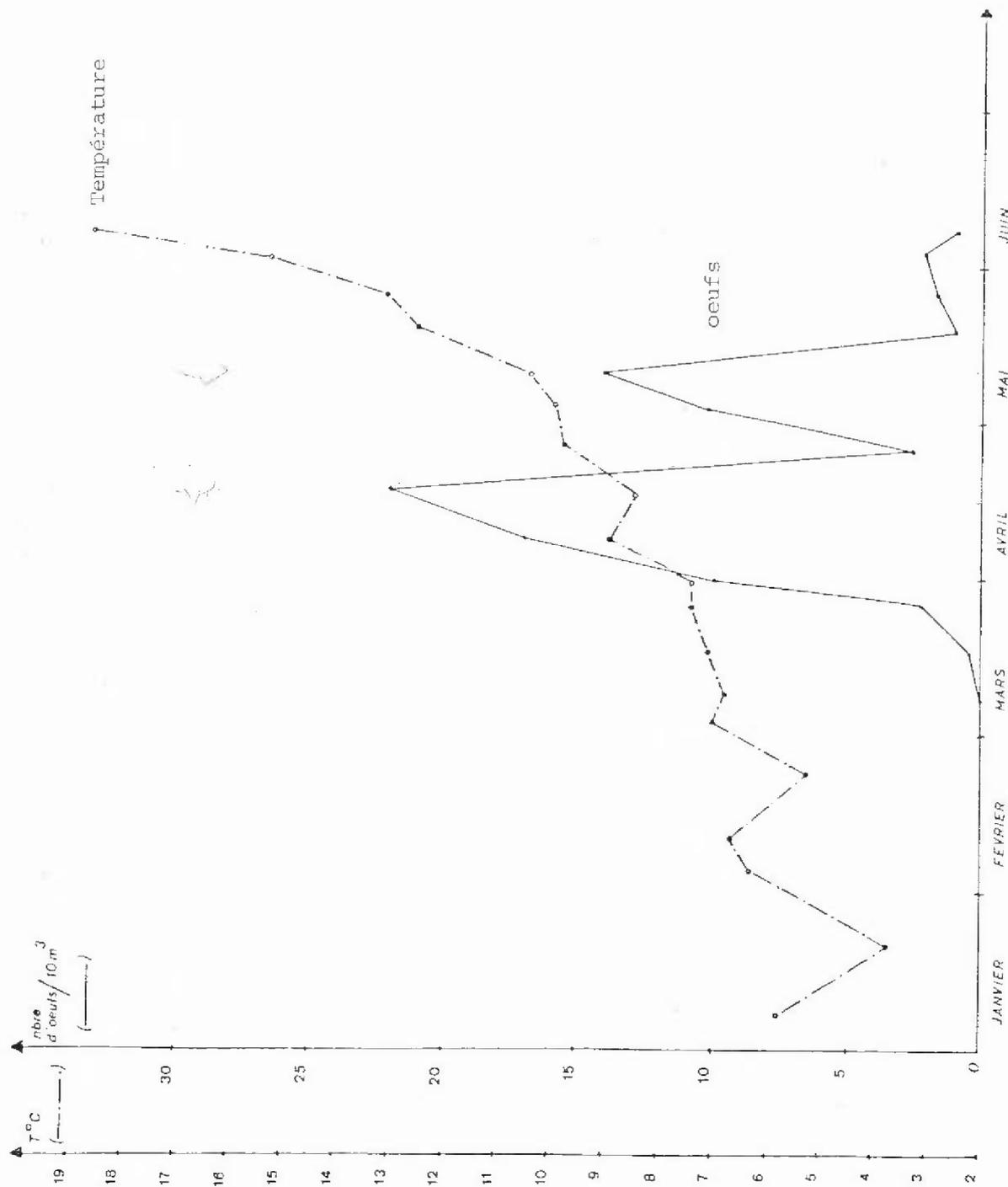


Fig. 3.- Densité des oeufs de sole dans les rejets de la centrale et température de l'eau dans le canal d'amenée au cours du premier semestre 1982.

lune . . X2

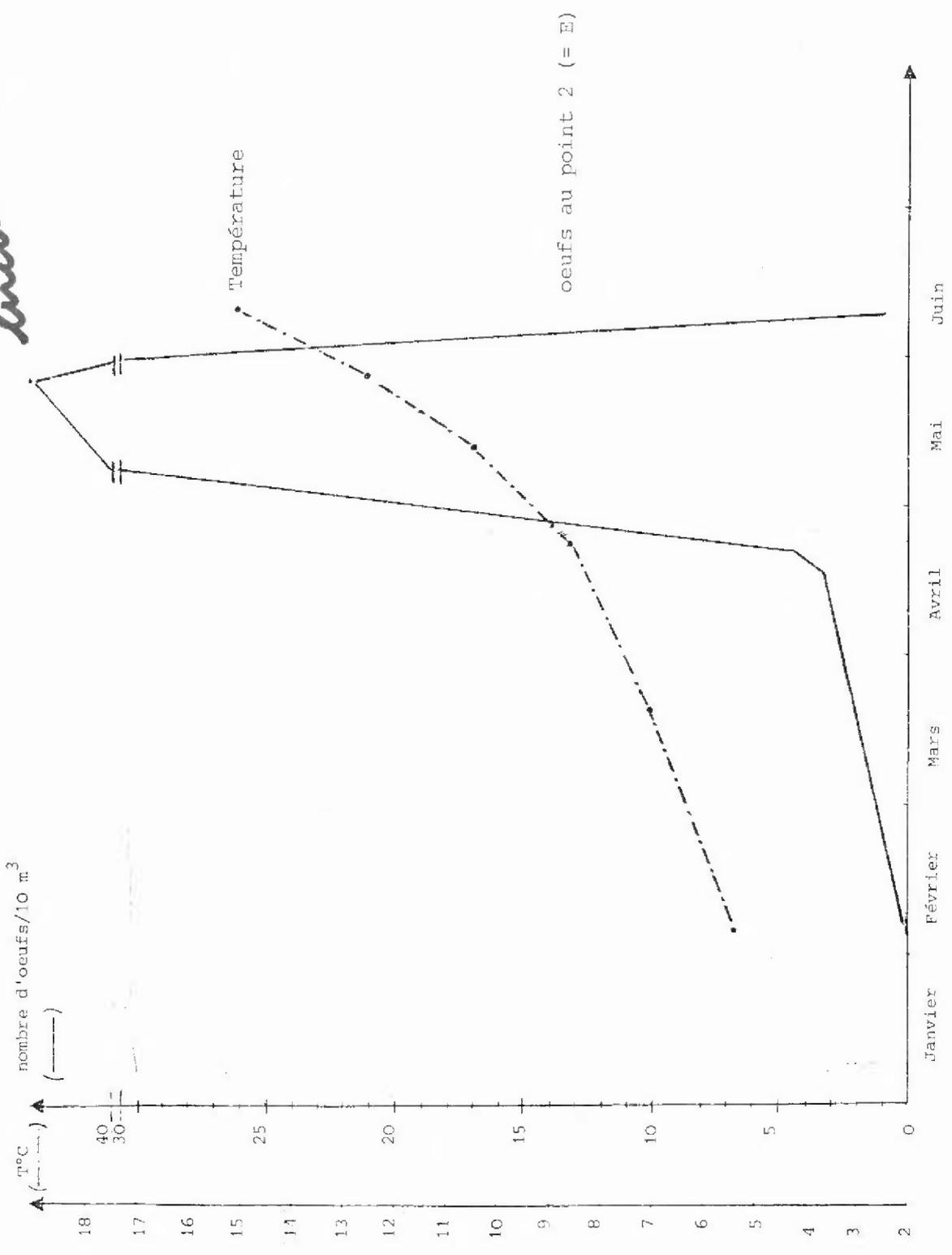


Fig. 4.- Densité des oeufs de soie et température sur le site de Gravelines au cours du 1er semestre 1982.

(A)

	CAMPAGNE 1 (16-19 avril)				CAMPAGNE 2 (10-11 mai)				CAMPAGNE 3 (7-9 juin)			
Numéro des Tranches	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Nombre de pompes de 20 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> en service	0	2	2	2	1	0	2	2	1	0	1	2
$\Delta T$ °C		0	10°9	10°3	0		10°3	10°3	4°5		0	9°9
Cl		0	0	0	↓		↓	↓	↓		↓	↓
Types de rejets	/	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	/	R <sub>4</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>4</sub>	/	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
$\Delta T$ moyen en °C		10,7					10,3				8,1	
$\Delta T$ initial en °C effluent total		7,07					8,24				6,1	
temp. en A en °C		17,5					18,5				22	

(B)

Points réalisés	R <sub>1</sub>		R <sub>2</sub>		R <sub>1</sub>		R <sub>2</sub>		R <sub>3</sub>		R <sub>4</sub>		R <sub>2</sub>		R <sub>4</sub>	
	A	C	D	E	A	B	C	D	E	E	A	C	D	E		
heures de marée (TU + 2 H) PM	16 avril		17 avril		10 mai		11 mai		8 juin		9 juin					
	6 h 27		7 h 37		15 h 13		15 h 45		14 h 53		15 h 26					
BM	13 h 21		14 h 32		22 h 11		22 h 42		21 h 52		22 h 24					
temp. entrée condenseur °C	8,4		8,6		10,5		10,5		16,5		16,5					
temp. entrée canal de prise °C	8,5		8,7		11		11,5		17,4		17,4					
temp. en E °C	8,1		/		/		10,4		/		14,9					

Tabl. 1.- Conditions générales lors des prélèvements, et points réalisés au cours de chaque campagne ( $\Delta T$  : différence de température prise-rejets).

Point	Temp. en °C	par rap. à D en °C	par rap. à E en °C	Date prélev.	Heure	Nombre traicts	Durée de Traict en mn	Vol. Tot. Filtre en m <sup>3</sup>	Vitesse en m/5	Temp. Remous en °C
CAMPAGNE 1 (Avril)										
E	8,1	0,2	/	16	7 • 00	1	5	180	≈ 1,5	≈ 8,5
D	8,3	/	0,2	17	9 • 00	4	≈ 10	?	Faible	id
R <sub>1</sub>	8,5	0,2	/	19	8 • 30	4	5	155	Remous	id
R <sub>2</sub>	19,2	10,9	/	19	8 • 35	4	5	204	Remous	id
A	≈ 17	≈ 8,7	/	17	14 • 30	2	5	?	Faible	id
C	12,5	/	4,4	16	7 • 45	1	5	150	≈ 1,5	id
CAMPAGNE 2 (Mai)										
E <sub>1</sub>	10,4	0	/	11	16	2	5	280	≈ 1	≈ 11,7 12
E <sub>2</sub>	10,4	0	/	11	16	2	5	269	≈ 1	id
D	10,4	/	0	11	8	6	≈ 5	?	Faible	id
F <sub>1</sub>	10,5	0,1	/	10	15	4	5	≈ 200	Remous	id
R <sub>2</sub>	20,9	10,6	/	10	9	4	5	200	Remous	id
R <sub>3</sub>	10,6	0,1	/	11	10	4	5	200	Remous	id
R <sub>4</sub>	20,9	10,6	/	10	10	4	5	200	Remous	id
A	18,7	8,3	/	11	18	3	2 X 15 + 1 X 5	?	Faible	id
B	16,5 à 17	/	6,6	11	17	1	5	≈ 70	≈ 1	id
C <sub>1</sub>	14,4	/	≈ 4,6	11	17	2	5	335	≈ 1	id
C <sub>2</sub>	15,8	/	≈ 4,6	11	17	1	5	187	≈ 1	id
CAMPAGNE 3 (Juin)										
E	14,9	1,6	/	9	16	/	5	/	≈ 1	≈ 17,4
D	16,5	/	1,6	8	9	5	5	?	Faible	id
R <sub>2</sub>	26,4	9,9	/	7	12	6	5	300	Forte	id
R <sub>4</sub>	26,4	9,9	/	7	16	6	5	300	Forte	id
A	21,9	5,4	/	8	15	5	5	?	Faible	id
B	21	/	6,1	8	16	5	5	?	Faible	id
C	≈ 18,3	/	≈ 3,5	8	17	5	5	?	Faible	id

Tabl. 2.- Caractéristiques des prélèvements (Cl = chloration).

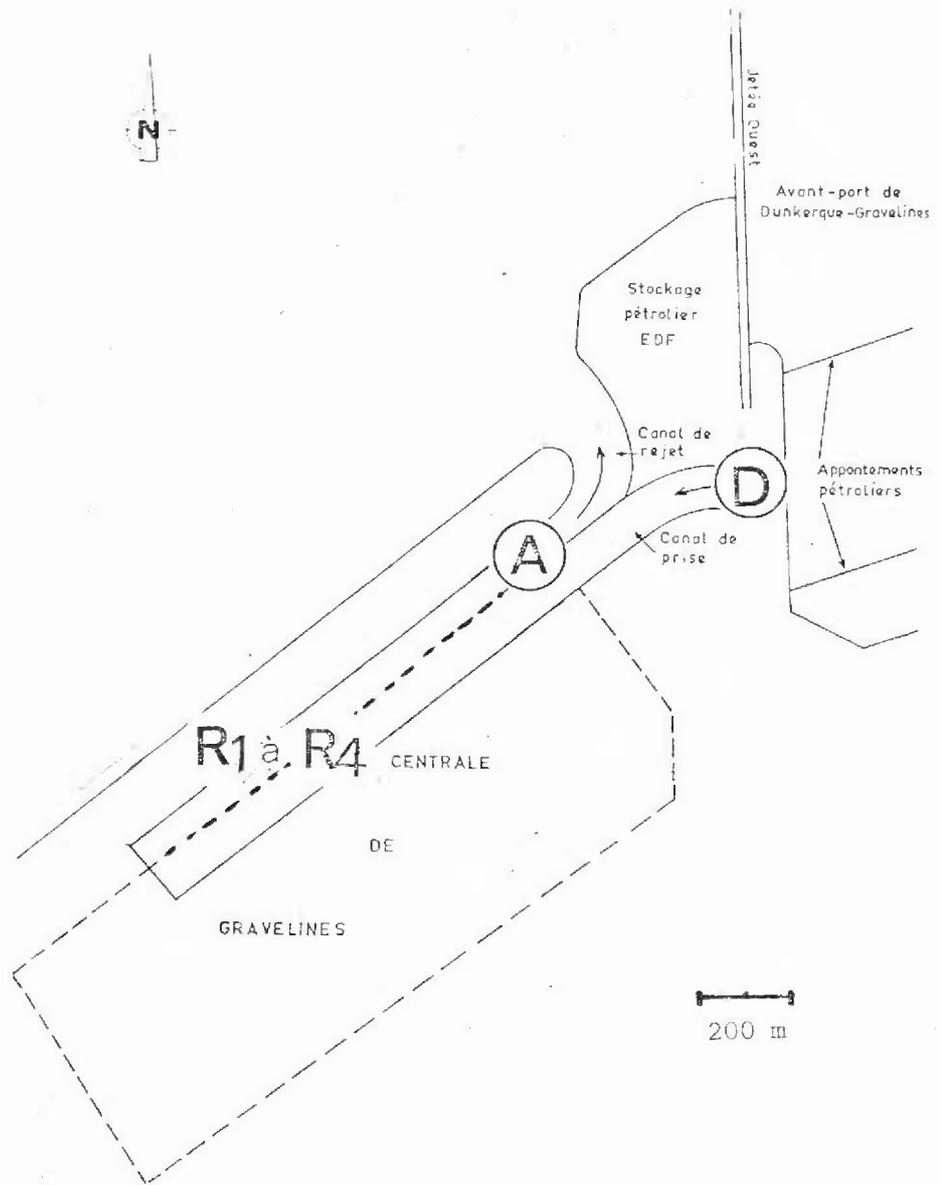


Fig. 5.- Points de prélèvement "Prise", "Rejets" et canal.

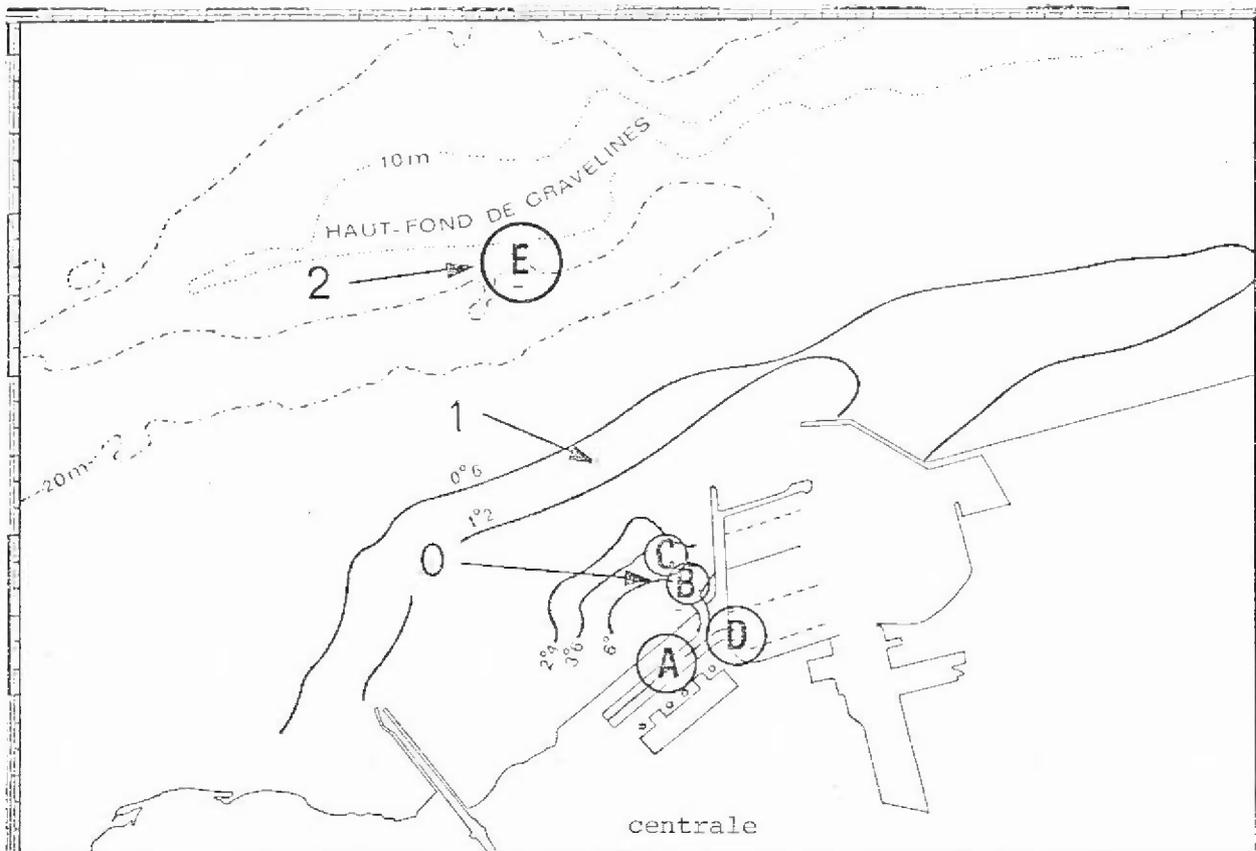


Fig. 6 . - Emplacement des points de prélèvements "Prise" (D)  
 "Canal" (A), "Panache" (B et C) et "témoin large" (E).

Points de surveillance : 0 (côte) 1 (médian) 2 (large)  
 (fond de tache thermique calculée pour 4 GW installés  
 en flot).

type de rejet	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
Choc mécanique				
Choc thermique				
Choc chloré				

Fig. 7.- Résumé des 4 types de rejet.

	Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3
D	Prélèvements à pied		
	Bongo simple		
A	A pied		Embarcation légère
	Bongo simple		
B		Embarcation légère	
		Bongo simple	
C	Chalutier		Embarcation légère
	Bongo non modifié		Bongo simple
D	A pied		
	Bongo simple + Bongo non modifié	Bongo simple	
E	Chalutier		
	Bongo non modifié		

Tabl. 3.- Moyens utilisés pour la pêche des oeufs  
et larves de sole au cours des 3 campagnes.

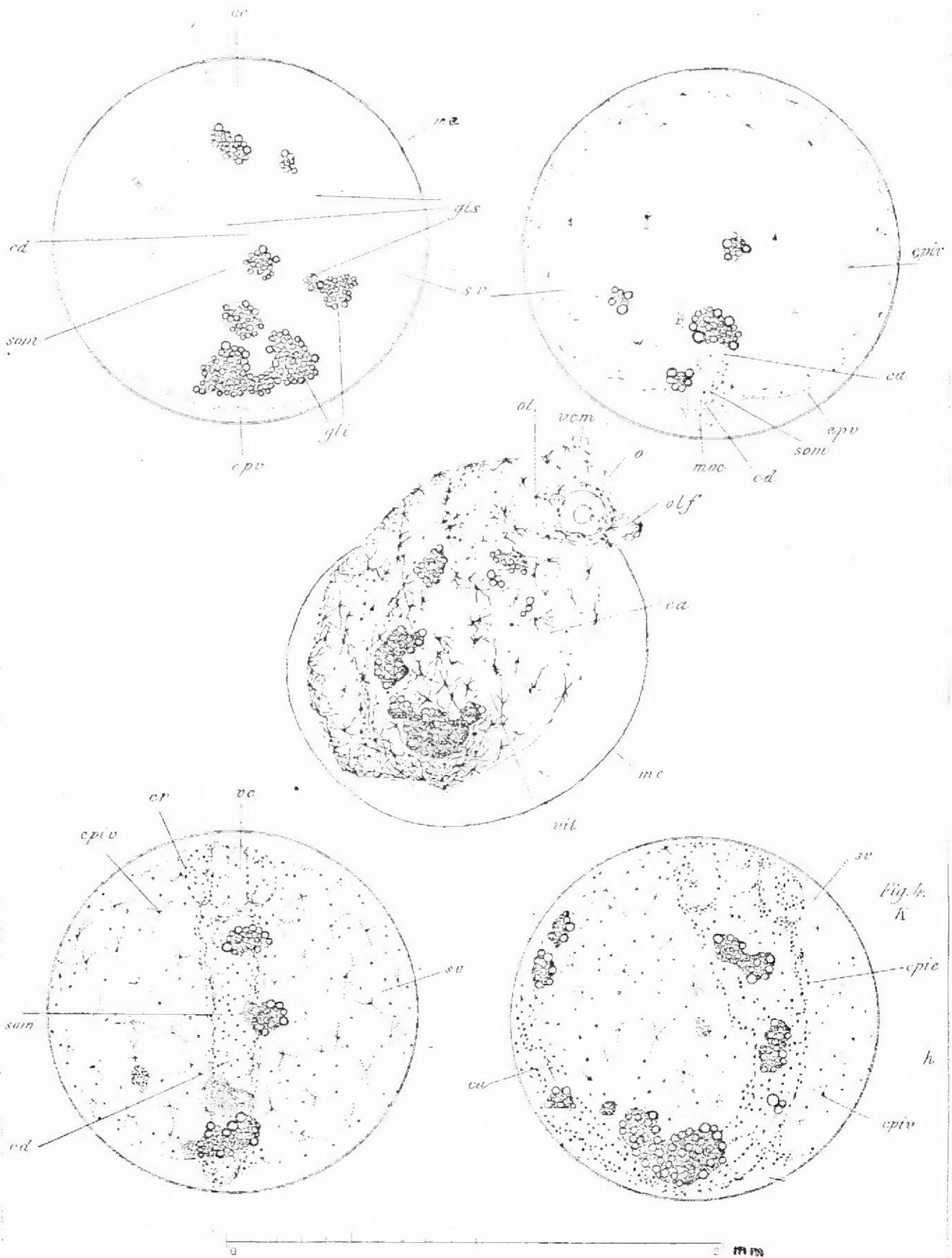
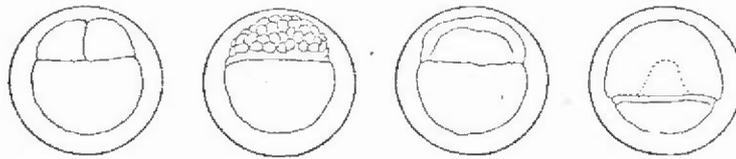


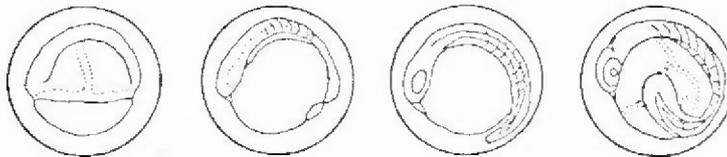
Fig. 8.- Morphologie de l'oeuf de sole ( $\varnothing$  environ 1,3 mm) reconnaissable à ses groupes de globules lipidiques principalement localisés sous l'embryon (tiré de Fabre-Dumergue et Biérix, 1905).

STADE 1



Axe embryonnaire non visible

STADE 2



Embryon visible

Fig. 9.- Groupes de stades de l'oeuf de sole.

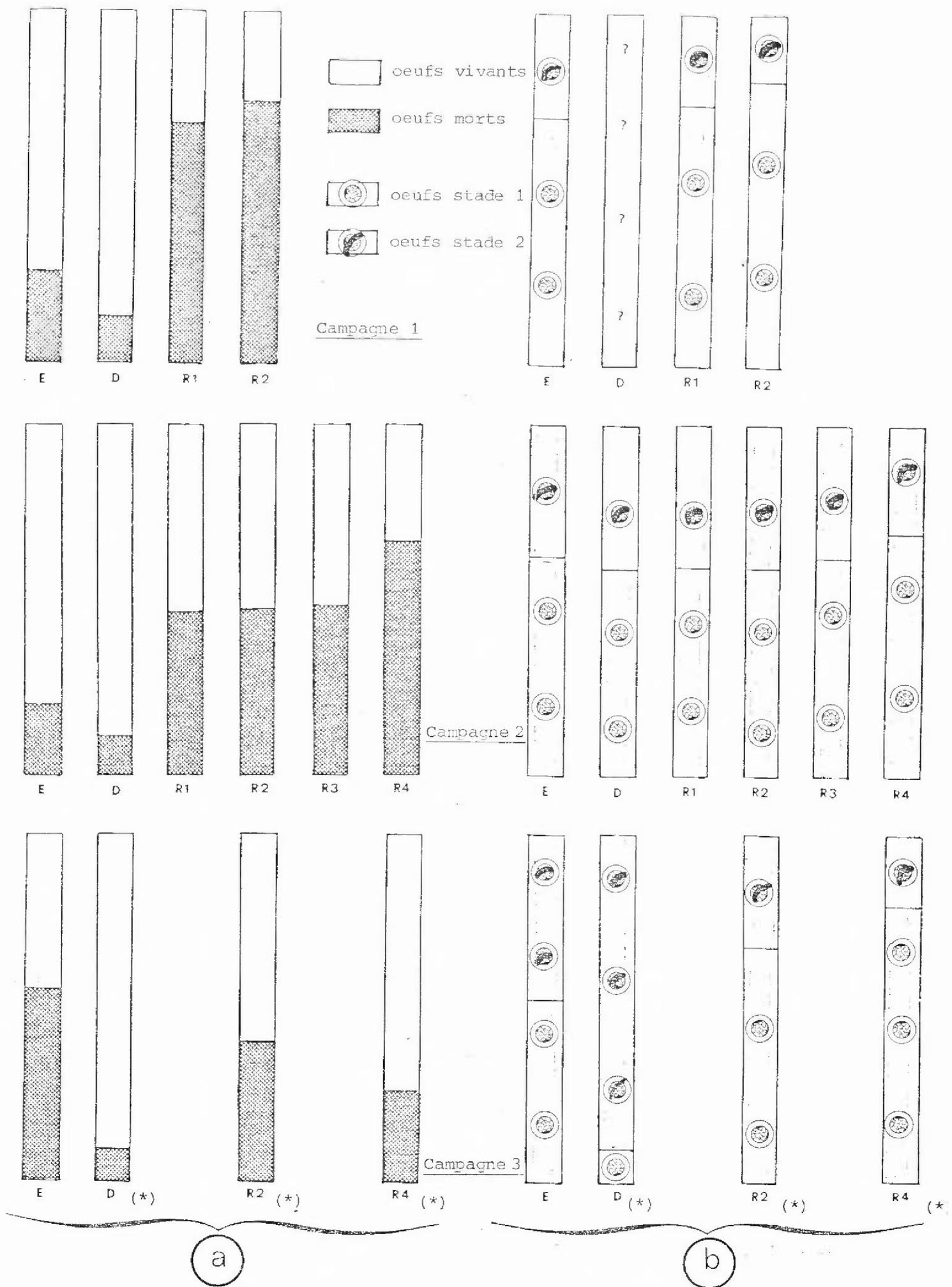


Fig.10.- Prélèvements aux rejets et témoins : (a) Mortalité immédiate des oeufs, tous stades confondus, rapportée au total des oeufs pêchés - (b) Proportion des 2 stades rapportée au total des oeufs pêchés.

\* : résultats peu significatifs.

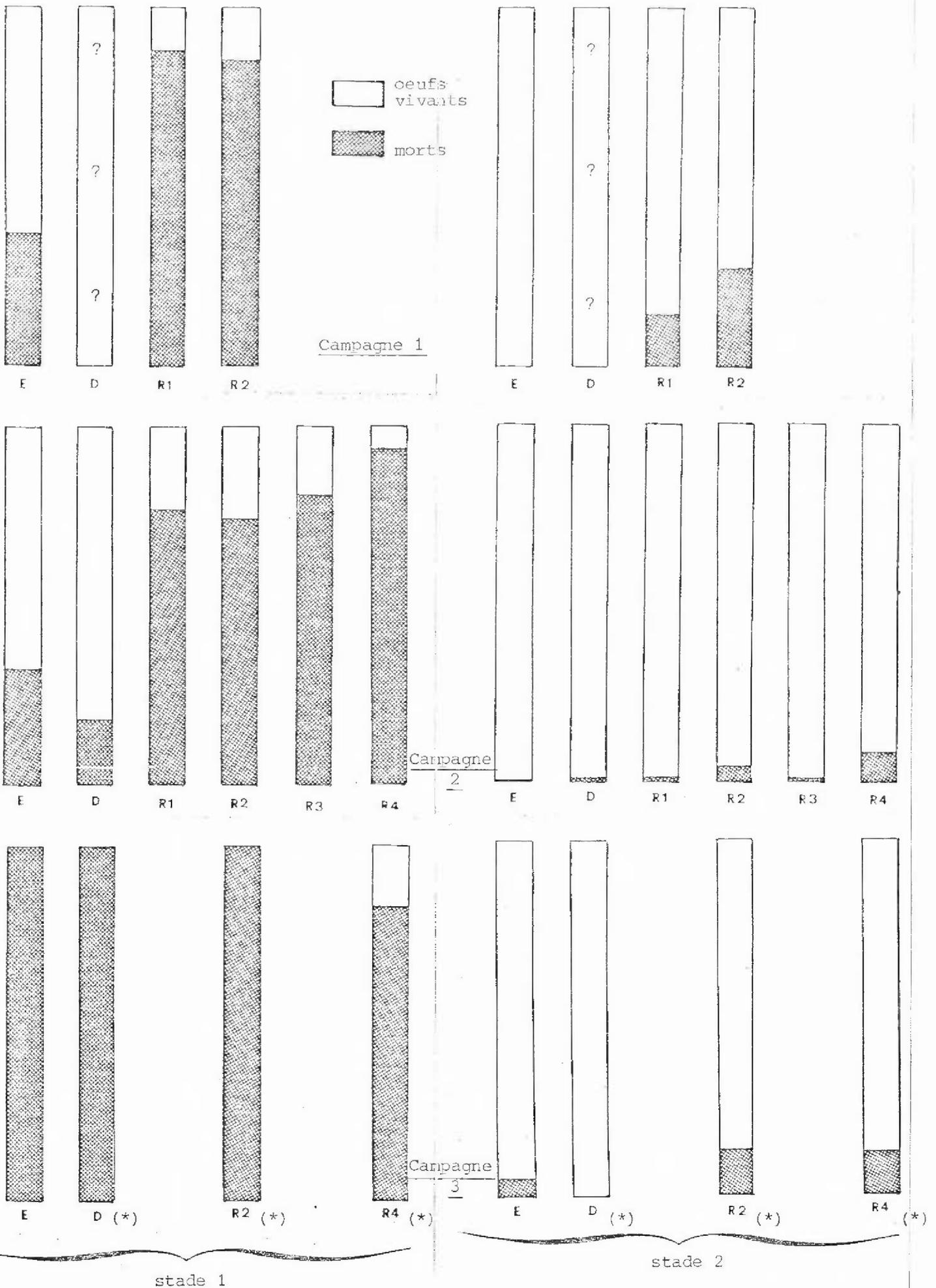


Fig. 11.- Prélèvements aux rejets et temoins : mortalité immédiate des oeufs par stade, rapportée au total des oeufs pêchés par stade.

\* : résultats peu significatifs.

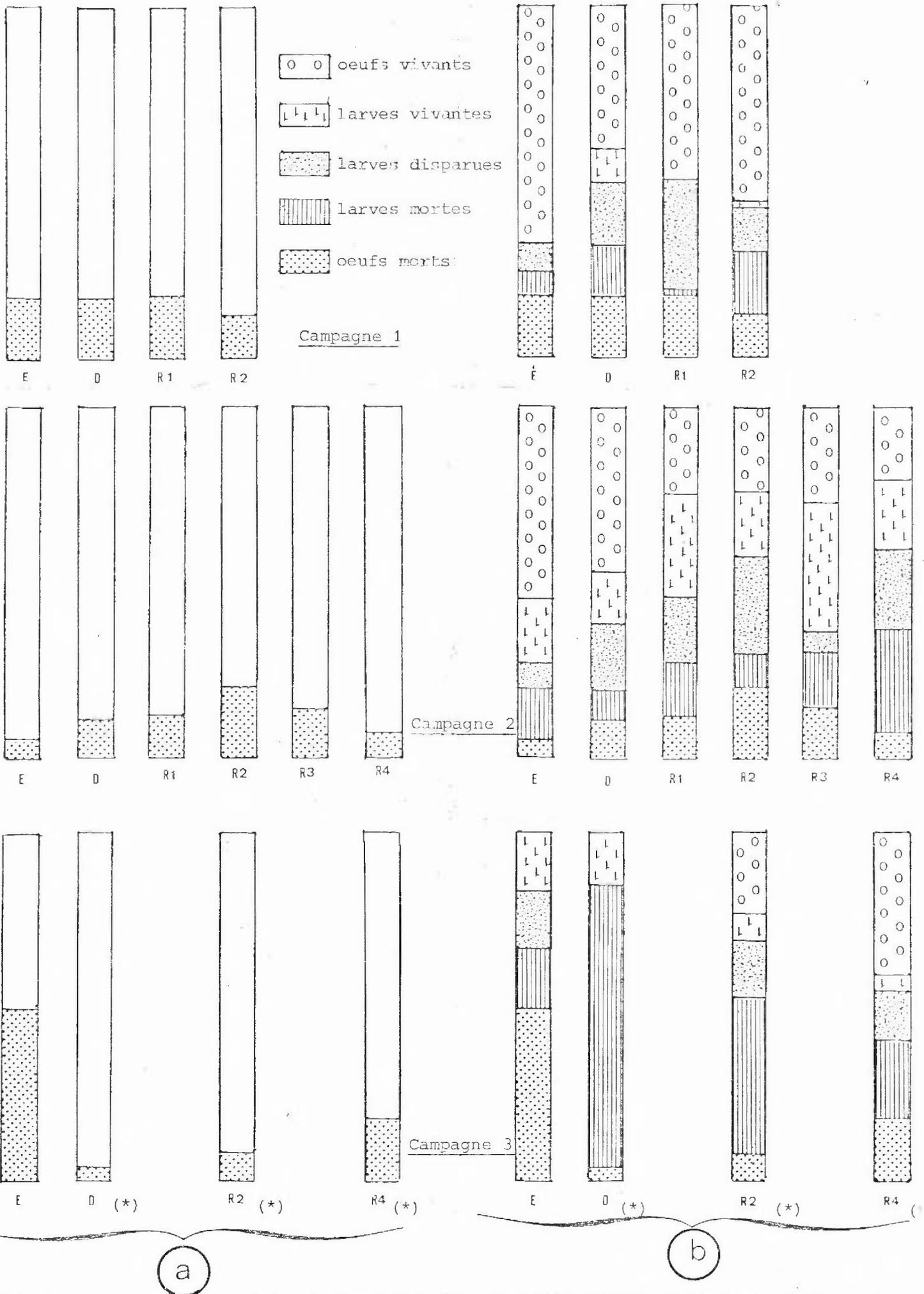


Fig. 12.- Prélèvements aux rejets et témoins : (a) Mortalité différée seule (2 stades confondu après 72 h rapportée aux oeufs vivants au départ - (b) Autres résultats après 72 h d'incubation rapportée aux oeufs vivants au départ (2 stades confondus).  
 \* : résultats peu significatifs.

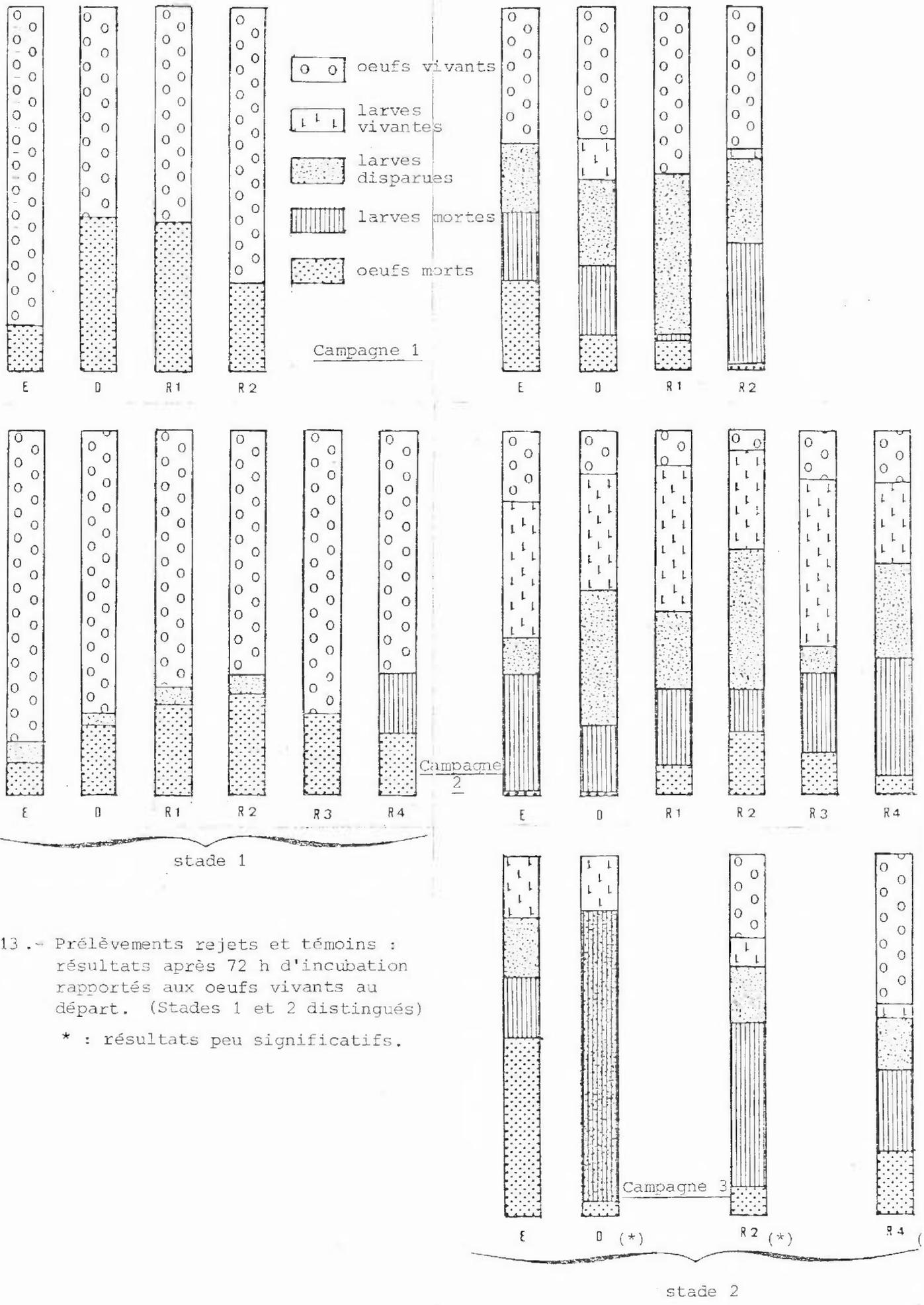
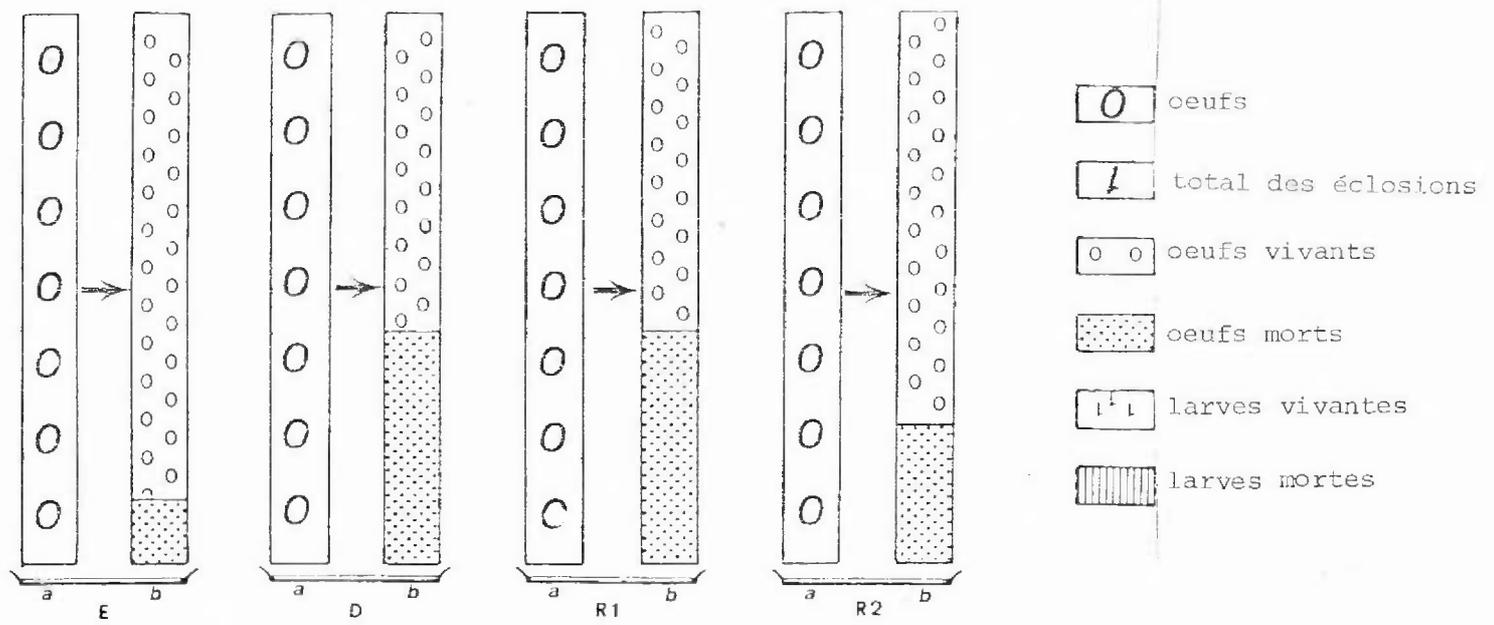
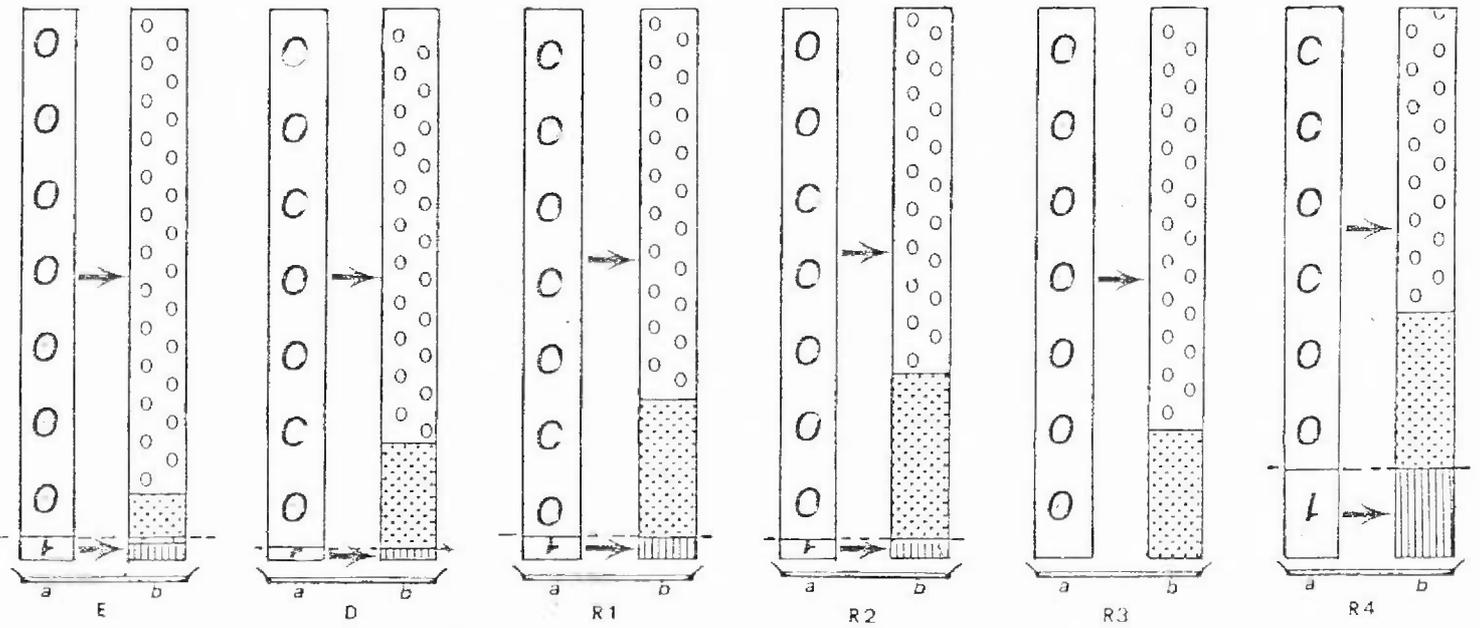


Fig. 13.- Prélèvements rejets et témoins : résultats après 72 h d'incubation rapportés aux oeufs vivants au départ. (Stades 1 et 2 distingués)  
 \* : résultats peu significatifs.



Campagne 1



Campagne 2

Fig. 14.- Prélèvements aux rejets et témoins. Devenir des oeufs du stade 1 après 72 h d'incubation : (a) proportion de larves écloses par rapport aux oeufs mis à incuber - (b) mortalité différée des oeufs et larves.

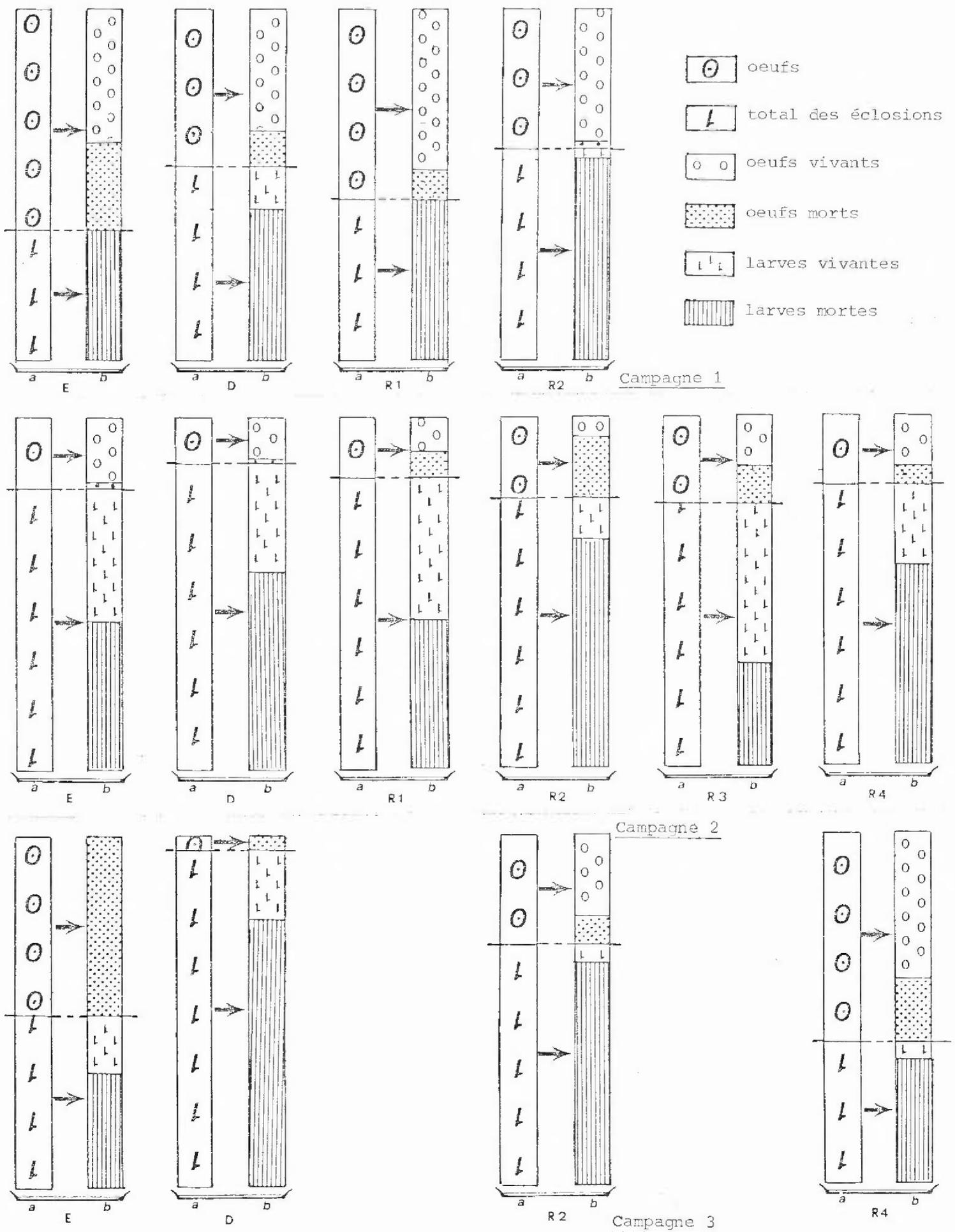


Fig. 15.- Prélèvements aux rejets et témoins. Devenir des oeufs du stade 2 après 72 h d'incubation : (a) proportion de larves écloses par rapport aux oeufs mis à incuber - (b) mortalité différée des oeufs et larves.

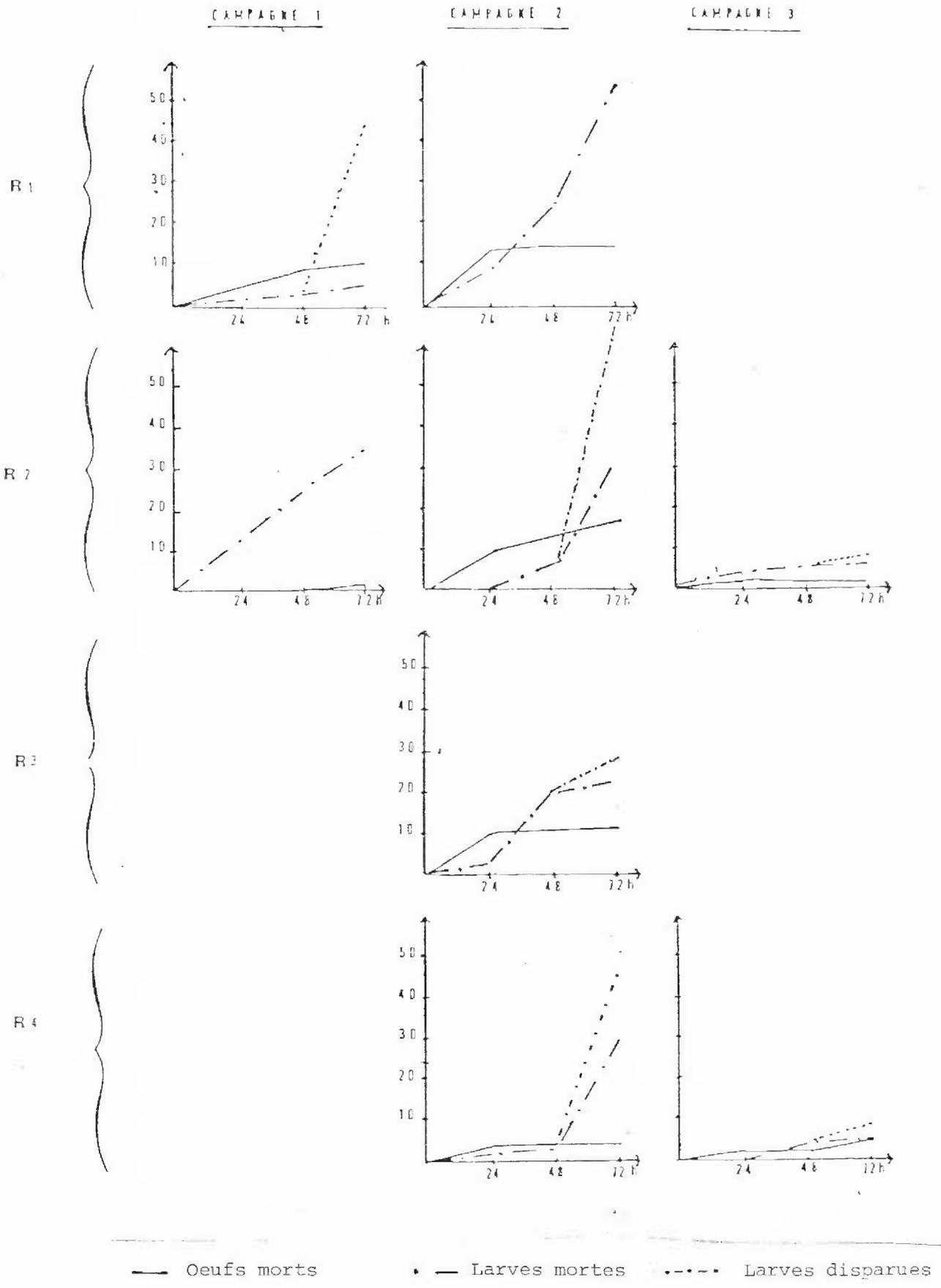


Figure 16. - Prélèvements aux rejets

Evolution de la mortalité des oeufs et larves écloses au cours des 72 H d'incubation.

Points	replic	stade	CAMPAGNE								
			1			2			3		
			Tot.	Morts	viv.	Tot.	Morts	viv.	Tot.	Morts	viv.
E	1	1				793	253	540			
		2				379	1	378			
		T				1 172	254	918			
E	2	1				500	162	338			
		2				393	0	393			
		T				893	162	731			
E	T	1	38	14	24	1 293	415	878	91	91	0
		2	16	0	16	772	1	771	80	4	76
		T	54	14	40	2 065	416	1 649	171	95	76
D	T	1	?	?	40	142	26	116	3	3	0
		2	?	?	135	100	1	99	27	0	27
		T	201	27	175	242	27	215	30	3	27
R <sub>1</sub>	T	1	330	289	41	206	153	48			
		2	117	17	100	141	2	139			
		T	447	306	141	347	160	187			
R <sub>2</sub>	T	1	363	310	53	168	125	43	7	7	0
		2	84	23	61	103	4	99	15	2	13
		T	447	333	114	271	129	142	22	9	13
R <sub>3</sub>	T	1				141	114	27			
		2				98	1	97			
		T				239	115	124			
R <sub>4</sub>	T	1				190	178	12	6	5	1
		2				85	7	78	24	3	21
		T				275	185	90	30	8	22
A	T	1	?	?	4	159	133	26	2	2	0
		2	?	?	44	215	21	194	5	2	3
		T	56	8	48	374	154	220	7	4	3
B	T	1				27	14	13	0	0	0
		2				77	5	72	0	0	0
		T				104	19	85	0	0	0
C	1	1				241	100	141			
		2				228	17	211			
		T				469	117	352			
C	2	1				156	61	95			
		2				174	4	170			
		T				330	65	265			
C	T	1	?	?	64	397	161	236	3	3	0
		2	?	?	55	402	21	381	5	0	5
		T	126	7	119	799	182	617	8	3	5

CAMPAGNE		
1	2	3
	32	
	0	
	22	
	32	
	0	
	18	
37	32	100
0	0	5
26	20	56
?	18	100
?	1	0
13	11	10
88	77	
15	1	
68	46	
85	74	100
27	4	13
74	48	41
	81	
	1	
	48	
	94	83
	8	13
	67	27
?	84	100
?	10	40
14	41	57
	52	-
	6	-
	18	-
	41	
	7	
	25	
	39	
	2	
	20	
?	41	100
?	5	0
6	23	38

(a)

(b)

Tabl. 4.- (a) Résultats bruts : nombre d'oeufs pêchés vivants et morts par stade.  
 (b) Pourcentage de mortalité immédiate par stade.

□ oeufs vivants  
 □ oeufs morts  
 ◉ oeufs stade 2  
 ◉ oeufs stade 1

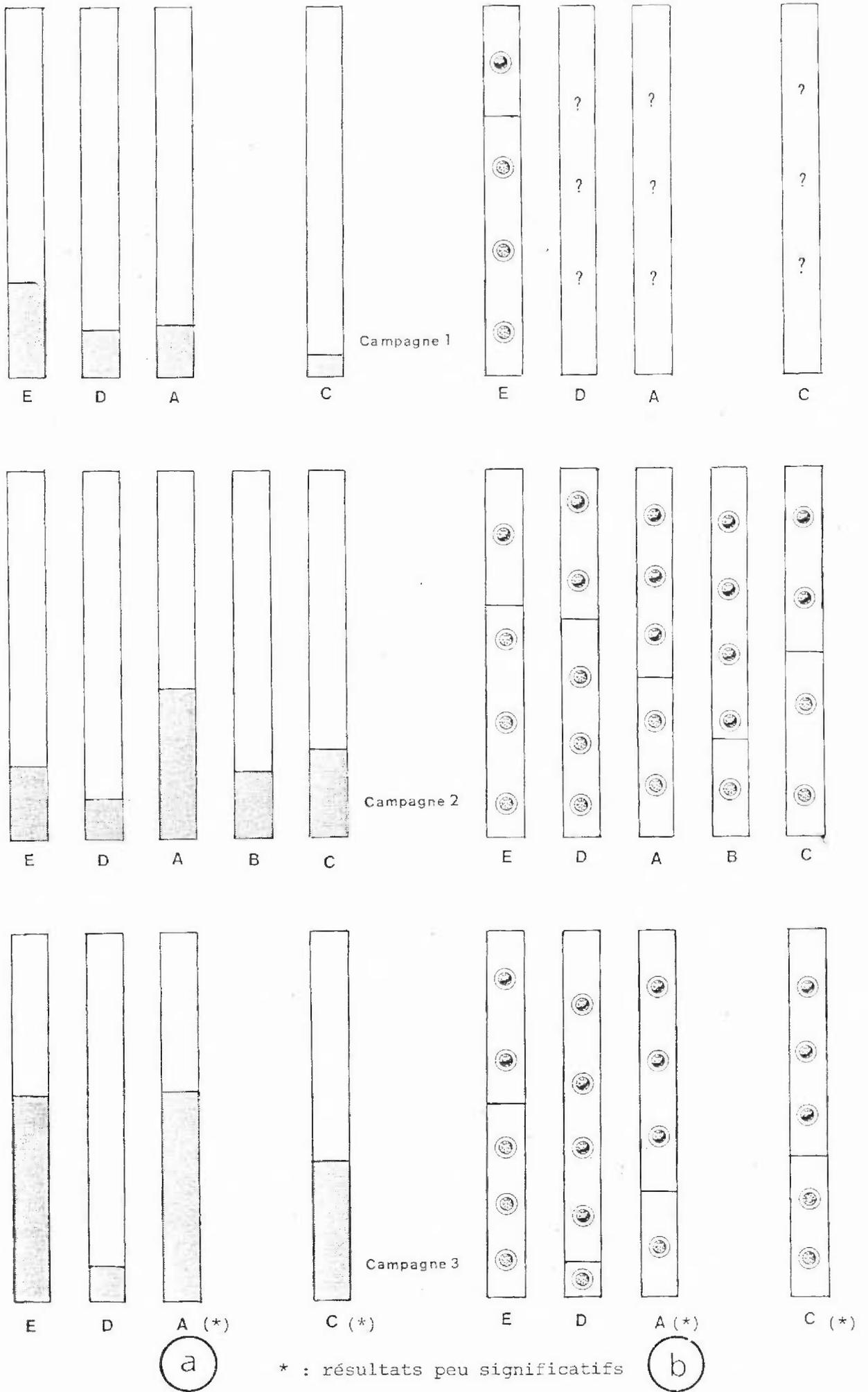


Fig. 17.- Prélèvements dans le panache et témoins : (a) Pourcentage de mortalité immédiate rapporté au total des oeufs pêchés - (b) Proportion des 2 stades par rapport au total des oeufs pêchés

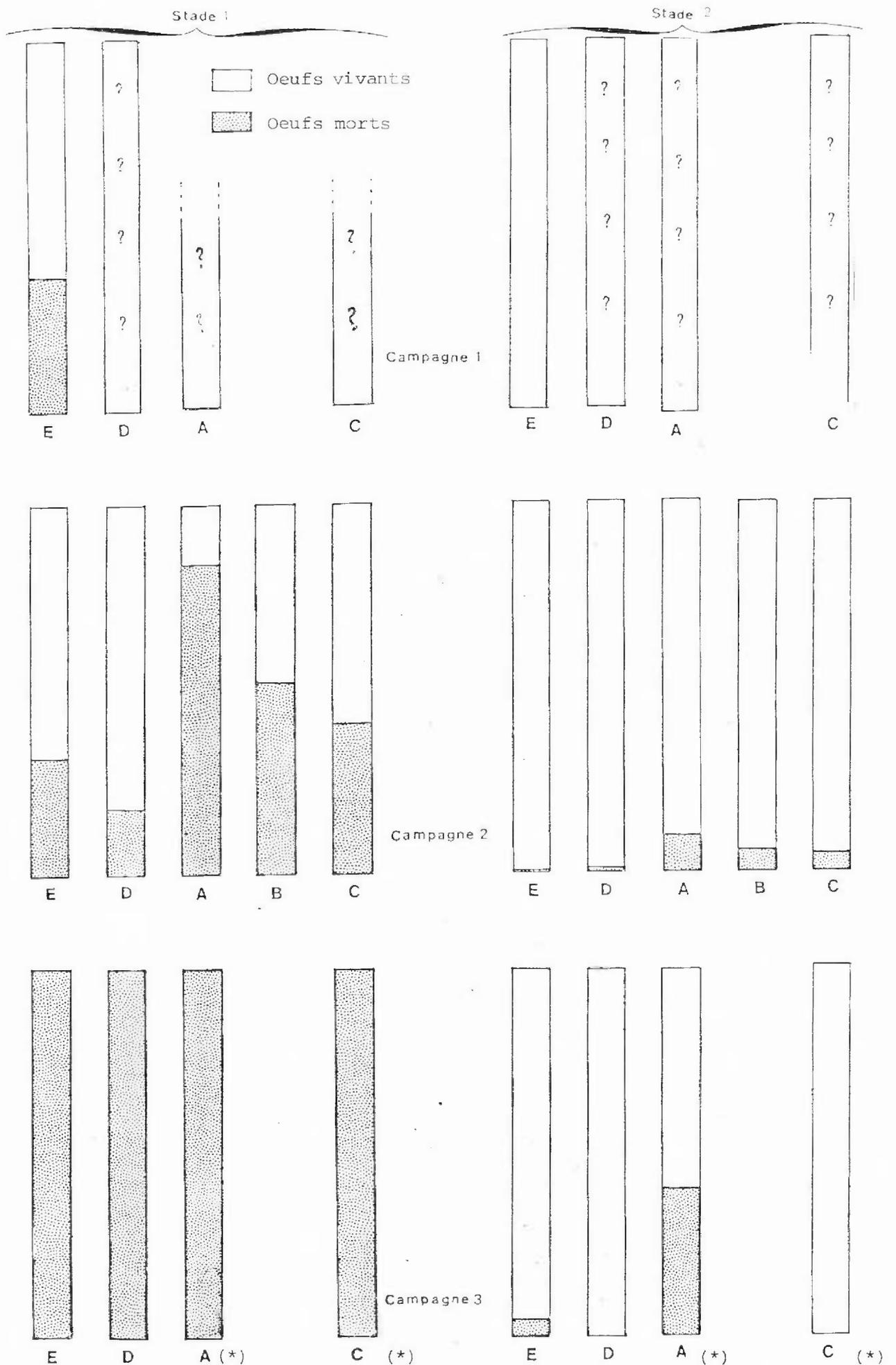


Fig. 18. - Prélèvement dans le panache et aux témoins : pourcentages de mortalité immédiate rapportés au total des oeufs pêchés par stade.

\* : résultats peu significatifs.

Camp. Point	1			2			3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
E	70	63	53	60	53	0			
D	?	59	10	23	54	0			
R <sub>1</sub>	74	59		29	26				
R <sub>2</sub>	81	62	32	46	30	0			
R <sub>3</sub>		59			22				
R <sub>4</sub>		69	20		13	5			
A	?	43	(29)	8	12	(0)			
B		26			15				
C	?	50	(38)	54	38	(0)			

a

b

Tabl. 5. - Pourcentage d'oeufs du stade 1 par rapport au total des oeufs pêchés (a) et par rapport aux oeufs vivants (b).

Les données entre parenthèses sont peu significatives.

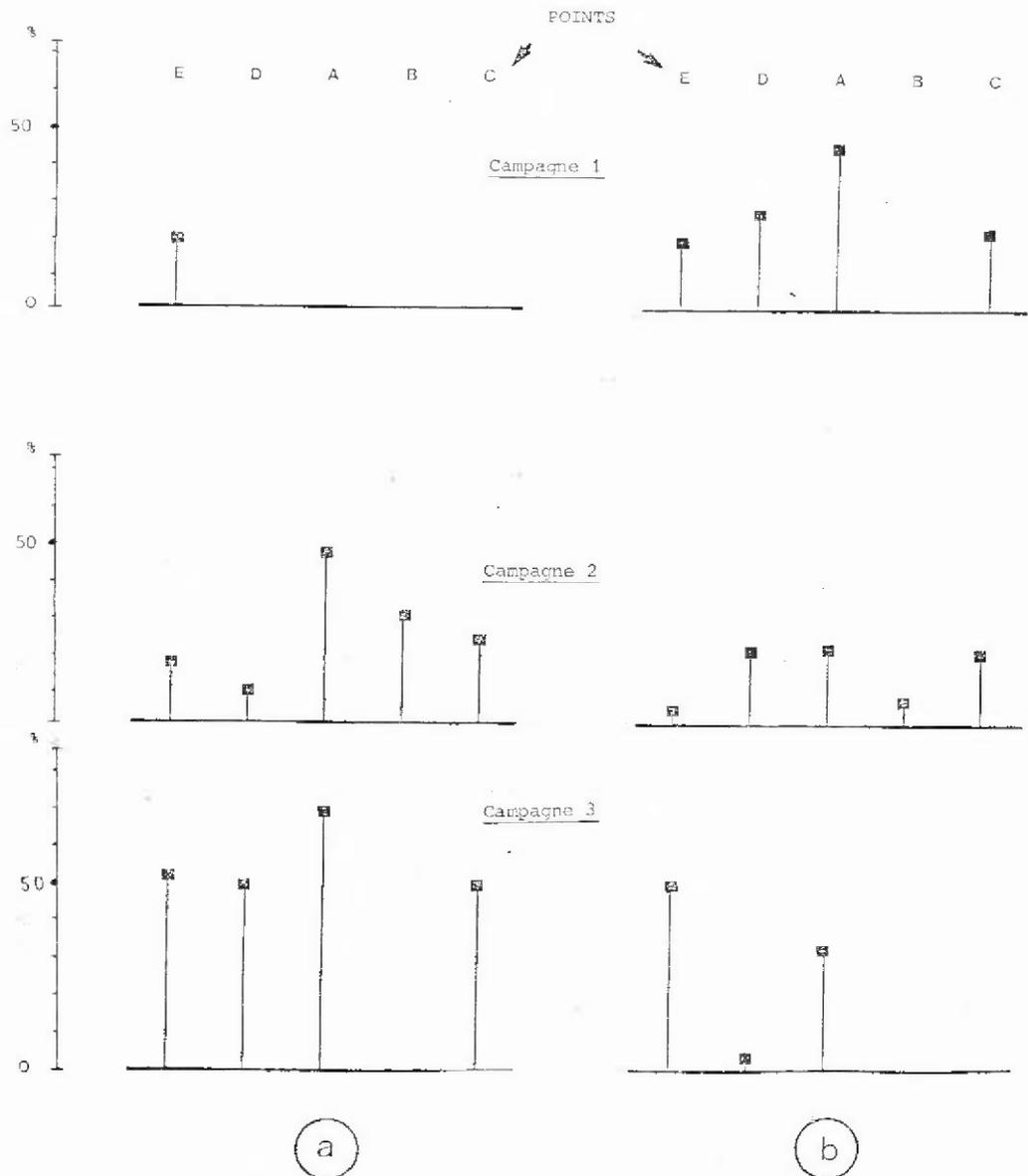


Fig. 19.- Prélèvements dans le panache et aux témoins : (a) mortalité immédiate des oeufs, moyenne des stades 1 et 2, rapportée au total des oeufs pêchés - (b) mortalité différée des oeufs, moyenne des stades 1 et 2 rapportée au total des oeufs vivants.

Camp. Point	1			2			3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
E	18,5	16	52,5						
D	?	9,5	50						
R <sub>1</sub>	51,5	39		33	23		?	29,5	
R <sub>2</sub>	56	39	56,5	37,5	23	4	?	29,5	6,5
R <sub>3</sub>		41			25			31,5	
R <sub>4</sub>		51	48		35	- 4,5		41,5	- 2
A	?	47	(70)	?	31	(17,5)	?	37,5	(20)
B		29			13			19,5	
C	?	23	(50)	?	7	(-2,5)	?	13,5	(0)

(a)

(b)

(c)

Tableau 7. - (a) pourcentage de mortalité immédiate des oeufs (moyenne des stades 1 et 2) par rapport au total des oeufs pêchés.

(b) et (c) accroissement de mortalité immédiate par rapport respectivement à E et D.

Points	CAMPAGNES			CAMPAGNES		
	1	2	3	1	2	3
R <sub>1</sub>	4	- 4		?	0	
R <sub>2</sub>	11	- 1	- 21	?	+ 3	+ 22
R <sub>3</sub>		- 4			0	
R <sub>4</sub>		+ 6	- 33		+ 10	+ 10
A	?	- 20	(- 24)	?	- 16	(+ 19)
B		- 37			- 33	
C	?	- 13	(- 15)	?	- 9	(+ 28)

(a)

(b)

Tabl. 8.- Ecart entre la proportion d'oeufs au stade 1 aux points considérés et la proportion relevée aux points témoin E (a) et D (b). Les écarts négatifs indiquent un déficit.

Les données entre parenthèses sont peu significatives.

		Proportion théorique (en %) d'oeufs au stade 1 sur la base des taux en E et D			Ecart entre la proportion théorique et la proportion observée		
Camp.	Point	1	2	3	1	2	3
		A	?	59	(10)	?	- 16
B			60			- 34	
C		?	61	(34)	?	- 11	( 4)

(a)

		Proportion théorique (en %) d'oeufs au stade 1 en D sur la base du taux observée en ABC			Ecart entre la proportion théorique et la proportion observée en D		
Camp.	Point	1	2	3	1	2	3
		A	?	43	(29)	?	- 16
B			17			- 42	
C		?	40	(26)	?	- 19	( 16)

(b)

Tableau 9. - (a) : proportions calculées d'oeufs au stade 1 dans le panache en fonction du taux de dilution de l'effluent et des proportions observées en D et E rapportées au total des oeufs pêchés et écart par rapport aux proportions observées.

(b) : proportions calculées d'oeufs au stade 1 en D en fonction du taux de dilution de l'effluent et des proportions observées en A, B et C, et écart par rapport aux proportions observées en D.

Les écarts négatifs indiquent un déficit.

Point	Stade	Mi/ $\omega_t$	Mi + Md / $\omega_t$ (campagne 2)	Md/ $\omega_v$	
				Camp. 1	Camp. 2
A	1	7	4	- 45	- 13
	2	- 3	- 7	- 7	- 5
	moyenne	2	- 2	- 26	- 9
B	1	27	26		8
	2	0	- 1		0
	moyenne	13	12		4
C	1	24	11	12	- 2
	2	- 1	- 1	- 21	0
	moyenne	11	8	- 5	- 1
rejets mortal. (moy.)	1	91	93	30	18
	2	7	13	4	6
	moyenne	49	53	17	12

Mi : mortalité immédiate  
 $\omega_t$  : total des oeufs pêchés  
 Md : mortalité différée 72 H  
 $\omega_v$  : total des oeufs vivants

Tableau 10. - Ecart entre la mortalité calculée en fonction de la mortalité dans les rejets et du taux de dilution dans le panache et la mortalité observée. Les écarts positifs indiquent une mortalité moins élevée que la mortalité théorique.

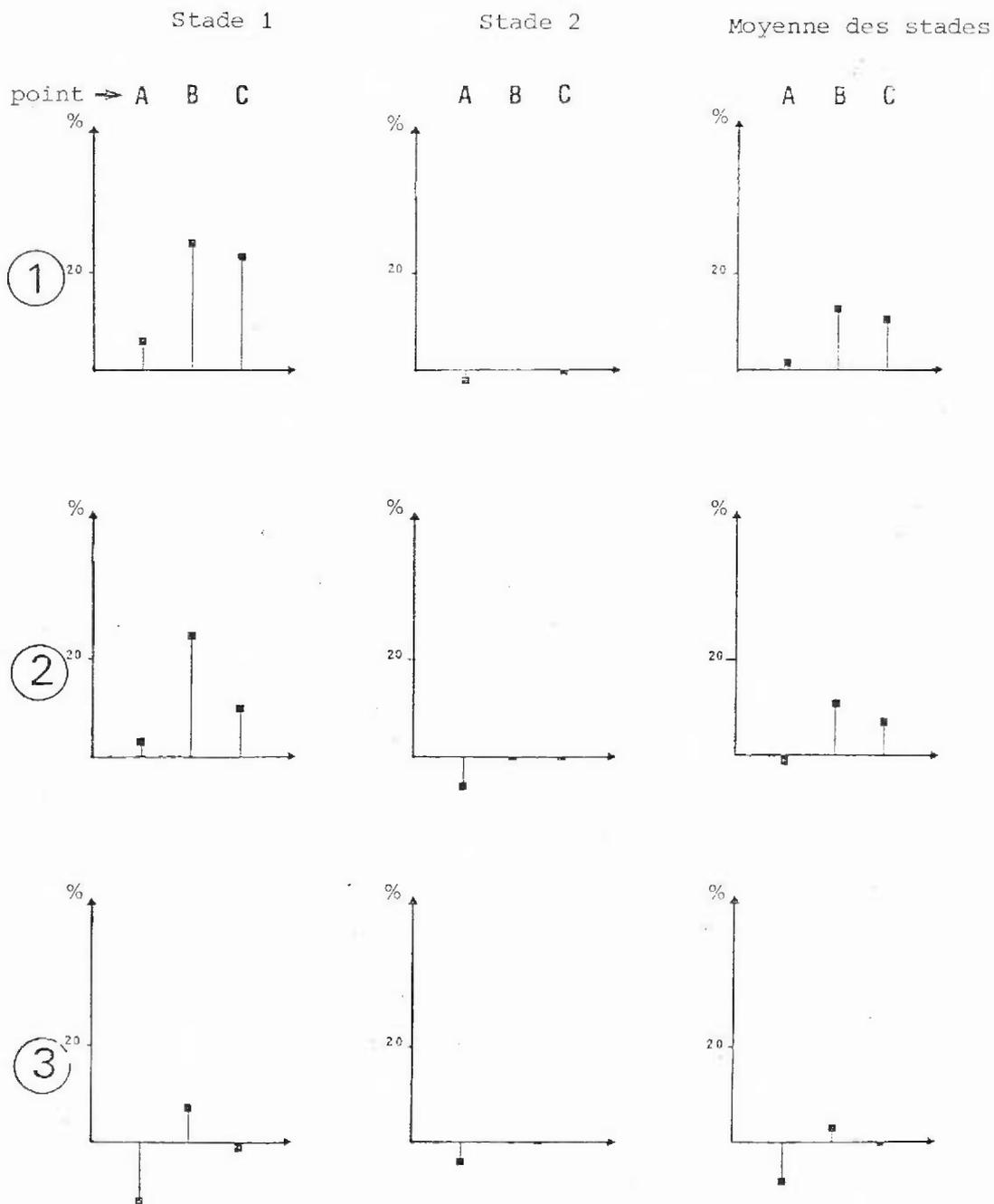


Fig. 20.- Campagne 2 : écarts entre la mortalité des oeufs calculée (en fonction de la mortalité moyenne dans les rejets et du taux de dilution dans le panache) et la mortalité observée

- 1 - mortalité immédiate
  - 2 - mortalité totale (immédiate + différée)
  - 3 - mortalité différée rapportée aux oeufs vivants.
- } rapportés au total  
} des oeufs pêchés

Point	Délai	Stade	Données brutes cumulées					Pourcentages cumulés					
			tot ω viv	ω +	l +	l D	l V	ω V	ω +	l +	l D	l V	ω V
E1	24 H	1	540	50	0	?	0	?	9	0	?	0	?
		2	378	4	17	?	0	?	1	4	?	0	?
	48 H	1		56	0	?	0	?	10	0	?	0	?
		2		4	35	?	0	?	1	9	?	0	?
	72 H	1		59	0	38	0	443	11	0	7	0	82
		2		5	105	44	145	81	1	32	7	38	21
E2	24 H	1	338	18	0	0	0	320	5	0	0	0	95
		2	393	5	5	?	0	?	1	1	?	0	?
	48 H	1		19	0	0	0	319	6	0	0	0	94
		2		5	19	?	0	?	1	5	?	0	?
	72 H	1		22	0	0	2	314	7	0	0	0,6	93
		2		5	136	36	149	67	1	35	9	38	17
E3	24 H	1	878	68	0	?	0	?	7	0	?	0	?
		2	771	9	22	?	0	?	1	2,5	?	0	?
	48 H	1		75	0	?	0	?	8	0	?	0	?
		2		9	54	?	0	?	1	7	?	0	?
	72 H	1		81	0	38	2	757	9	0	3,5	0,3	87,5
		2		10	241	80	294	148	1	33,5	8	38	19

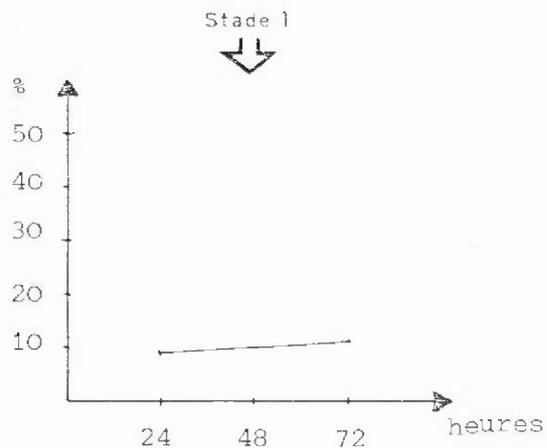
Tabl. 11.- Résultats d'observations intermédiaires d'incubation réalisées en mai au point témoin E.

ω + : oeufs morts  
 l + : larves mortes  
 l D : larves disparues  
 l V : larves vivantes  
 ω V : oeufs vivants

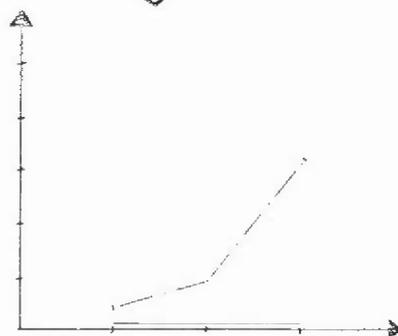
Répliquat



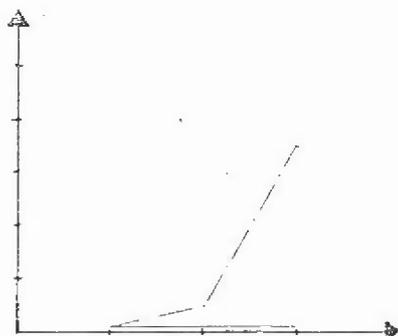
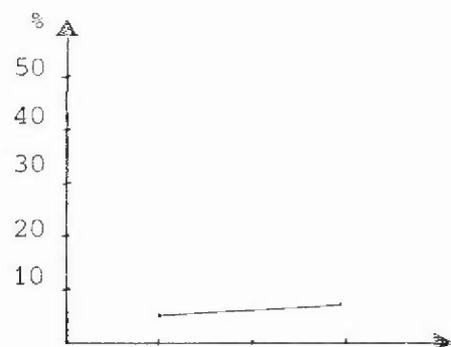
E 1



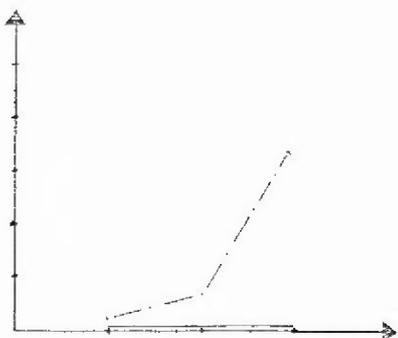
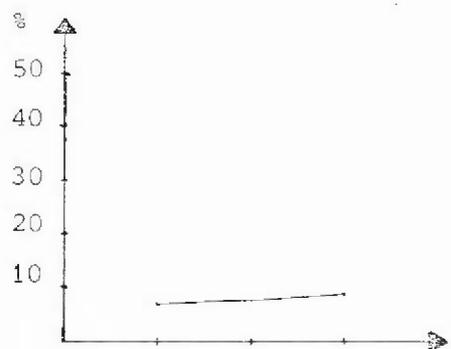
Stade 2



E 2



E



— Oeufs morts  
- - - Larves mortes

Figure 21. - Prélèvements dans le panache et témoins :

Evolution de la mortalité des oeufs et larves écloses au cours des 72 h d'incubation, pendant la campagne 2 au point témoin du large.