

*ETUDE EXPERIMENTALE DE LA CHLORATION  
ET DES CHOCS MECANIQUES APPLIQUES  
A DES OEUFS ET LARVES  
DE POISSONS MARINS*

\*\*\*\*\*

par

Nicole DEVAUCHELLE

Rapport E.D.F. 1978

du contrat n° 77/1746/F

## INTRODUCTION.

Le but de ce rapport est de situer brièvement les conditions dans lesquelles se sont déroulées les expériences de 1977-1978, et d'en fournir les principaux résultats bruts.

Ce programme, concernant un stade oeuf (neurula) et un stade larve (éclosion) de 4 espèces de poissons marins (turbot, sole, rouget et bar), prévoyait :

1- Le remplissage de la grille "chocs thermiques" de 1977 en chlorant l'eau de mer à 1 ppm.

Durée du choc t / Intensité du choc to	5 minutes	10 minutes	15 minutes	20 minutes
Témoin	3 bacs	3 bacs	3 bacs	3 bacs
$\Delta t = 10^\circ \text{C}$	"	"	"	"
$\Delta t = 12^\circ \text{C}$	"	"	"	"
$\Delta t = 15^\circ \text{C}$	"	"	"	"
$\Delta t = 17^\circ \text{C}$	"	"	"	"

Grille "chocs thermiques"

2- Une partie "étude des chocs mécaniques", représentée par des variations de pression. Pour ce faire, EDF a proposé la grille ci-dessous

Durée / $\Delta P$	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
$\Delta P_1$	3 bacs	3 bacs	3 bacs
$\Delta P_2$	3 bacs	3 bacs	3 bacs

Grille "chocs mécaniques"

$\Delta P_1$  et  $\Delta P_2$  sont les variations de pression maximum et minimum rencontrées dans les centrales nucléaires, soit 4 bars et 1 bar.

Les turbots n'ayant pas pondu, l'étude s'est limitée aux bar, sole et rouget. Des modifications ont été apportées aux deux parties de l'étude. Elles sont détaillées et expliquées dans les paragraphes I et II traitant des "chocs thermiques et chloration" puis des chocs mécaniques.

## I. CHOCs THERMIQUES ET CHLORATION.

### 1.1. Conditions de travail.

1- Comme l'an passé, la grille est modifiée ; chaque ponte ayant une réponse spécifique à un stress, il est préférable de tester un échantillon de trois pontes par stade et espèce étudiés au lieu des 3 échantillons d'une ponte préconisés par EDF.

2- D'autre part, en 1977, quelle que fut la variation de température, le facteur "durée du choc" n'eut que peu d'influence sur les résultats d'expérience. Il ne paraît donc pas nécessaire de tester à nouveau les 4 durées 5, 10, 15 et 20 minutes. Seules les extrêmes sont conservées soit 5 et 20 minutes.

3- Un nouveau circuit d'eau de mer permet d'ajuster température de base et température de ponte. Les expériences sont réalisées à une période de constance ( $13^{\circ} \text{C} \pm 0,5^{\circ} \text{C}$ ) afin de favoriser la comparaison des résultats entre espèces.

La nouvelle grille se présente donc ainsi :

Durée du choc	5 minutes	20 minutes
Température		
$T_0 = 13^{\circ} \text{C}$	1 échantillon	1 échantillon
$\Delta T = 10^{\circ} \text{C}$	"	"
$\Delta T = 12^{\circ} \text{C}$	"	"
$\Delta T = 15^{\circ} \text{C}$	"	"
$\Delta T = 17^{\circ} \text{C}$	"	"

A chaque combinaison température-durée du choc, correspondent 2 valeurs :

- taux d'éclosion et taux d'anomalies lorsqu'il s'agit d'expériences sur les oeufs,
- taux de survie et taux d'anomalies lorsqu'il s'agit d'expériences sur les larves.

4- L'association choc thermique-chloration empêche, comme en 1977 (voir rapport du contrat n° 75/1557/F), d'obtenir le choc thermique par mélange d'eau chaude et d'eau à température de base puisque les disparition et transformation du chlore dans l'eau de mer sont très rapides et sujettes à de nombreux facteurs dont précisément la température. Le système est donc simplifié : il n'y a plus de

variation de température en 7". L'échantillon est directement transféré d'une eau à 13° (température de base) à un bain à  $T_0 + \Delta t$ , contenant 1ppm de chlore.

Des oeufs et larves de sole et de bar sont soumis à ce nouveau genre de chocs thermiques ; le but est de mettre en évidence d'éventuelles différences avec les résultats de 1977.

Pour d'autres précisions telles que les définitions de taux d'anomalies, taux d'éclosion, se rapporter au rapport de 1977.

1.2. Résultats.

Les tableaux ci-dessous donnent les résultats bruts de taux d'éclosion (T.E.), taux de survie (T.S.) ou taux d'anomalies (T.A.) en pourcentage.

Au début des expériences, les échantillons de 100 à 200 oeufs ou larves sont viables à 100 %.

1.2.1. Chocs thermiques :

	N° de ponte	$\Delta t$ (°C)	Taux d'éclosion		Taux d'anomalies	
			Durée du palier		Durée du palier	
			5 minutes	20 minutes	5 minutes	20 minutes
OEUFs DE BAR	35	Témoin (13°C)	56,5	59	4	3,5
		$\Delta t = 10$	54	59	5	4
		$\Delta t = 12$	14	47	19	12
		$\Delta t = 15$	31	54	53	17
		$\Delta t = 17$	54	46	28	7
	55	Témoin (13°C)	57,5	60,5	3	3,5
		$\Delta t = 10$	59	63	4	0
		$\Delta t = 12$	62	72	1	2
		$\Delta t = 15$	63	49	3	2
		$\Delta t = 17$	64	61	1	3
	56	Témoin (13°C)	30,5	36	11,5	3,5
		$\Delta t = 10$	22	31	12,5	10
		$\Delta t = 12$	30	15	6	66,5
		$\Delta t = 15$	36	20	4	0
		$\Delta t = 17$	18	5	7,5	16,5
	56	Témoin (13°C)	31,5	33,5	8	19,5
$\Delta t = 10$		27	41	4	2	
$\Delta t = 12$		25	33	20	10,5	
$\Delta t = 15$		36	22	5,5	13,5	
$\Delta t = 17$		28	8	4,5	0	
OEUFs DE SOLE	9	Témoin (13°C)	98	99,5	1,5	5,5
		$\Delta t = 10$	99	99	8	9
		$\Delta t = 12$	100	97	0	4
		$\Delta t = 15$	99	97	19	15
		$\Delta t = 17$	98	80	15	42

TABLeAU 1 : Résultats d'expériences sur les oeufs de bar et de sole.

N° de ponte	$\Delta t$ (°C)	Taux de survie		Taux d'anomalies	
		Durée du palier		Durée du palier	
		5 minutes	20 minutes	5 minutes	20 minutes
LARVES DE BAR	Témoin (13°C)	86	89,5	7,5	12,5
	$\Delta t = 10$	93	93	8	11
	$\Delta t = 12$	87	89	4	6
	$\Delta t = 15$	93	93	7	9
	$\Delta t = 17$	90	87	11	11
	Témoin (13°C)	99,5	100	2	1
	$\Delta t = 10$	100	97	1	1
	$\Delta t = 12$	98	98	2	3
	$\Delta t = 15$	99	80	0	0
	$\Delta t = 17$	91	37	0	4
	Témoin (13°C)	98	98	0,5	2
	$\Delta t = 10$	99	100	0	7
	$\Delta t = 12$	99	99	1	2
	$\Delta t = 15$	99	95	3	0
	$\Delta t = 17$	99	50	0	6
LARVES DE SOLE	Témoin (13°C)	98	100	0	0
	$\Delta t = 10$	98	89	0	0
	$\Delta t = 12$	100	97	0	0
	$\Delta t = 15$	92	97	0	0
	$\Delta t = 17$	99	42	0	0

TABLEAU 2 : Résultats d'expérience concernant les larves de bar et de sole.

1.2.2. Chocs thermiques et chloration à 1 ppm :

Les tableaux suivants donnent une valeur supplémentaire :

$T_c$  qui correspond aux échantillons chlorés à 1 ppm à 13°  
 $T$  est le témoin sans choc thermique ni chloration.

.../...

N° de ponte	$\Delta t$ (°C)	Taux d'éclosion		Taux d'anomalies		
		Durée du palier		Durée du palier		
		5 minutes	20 minutes	5 minutes	20 minutes	
OEUF DE BAR	35	T	56,5	59	4	3,5
		Tc	62	47	1	5
		$\Delta t = 10$	53	52	4	6
		$\Delta t = 12$	73	59	4	11
		$\Delta t = 15$	51	59	4	14
		$\Delta t = 17$	50	55	7	18
	55	T	57,5	60,5	3	3,5
		Tc	47	54	6	3
		$\Delta t = 10$	65	65	1	2
		$\Delta t = 12$	68	69	2	1
		$\Delta t = 15$	68	75	1	3
		$\Delta t = 17$	70	78	2	2
56	T	30,5	36	11,5	3,5	
	Tc	53	41	50	17,5	
	$\Delta t = 10$	44	48	12	19	
	$\Delta t = 12$	42	41	11	0	
	$\Delta t = 15$	38	19	15,5	7	
	$\Delta t = 17$	30	5	7	0	
56	T	31,5	33,5	8	19,5	
	Tc	15	47	83	55,5	
	$\Delta t = 10$	35	30	4	3	
	$\Delta t = 12$	33	46	3	10,5	
	$\Delta t = 15$	34	21	7	28	
	$\Delta t = 17$	29	6	17,5	0	
OEUF DE SOLE	9	T	98	99,5	1,5	5,5
		Tc	99	99	7	17
		$\Delta t = 10$	100	99	5	0
		$\Delta t = 12$	99	98	35	92
		$\Delta t = 15$	97	95	16	9
		$\Delta t = 17$	100	82	14	38
	14	T	98	96	0,5	0,5
		Tc	87	99	0	0
		$\Delta t = 10$	99	97	4	14
		$\Delta t = 12$	99	98	6	15
$\Delta t = 15$		91	97	6	46	
	$\Delta t = 17$	94	58	15	52	
OEUF DE ROUGET	15	T	94,5	98,5	0,5	0
		Tc	99	96	0	0
		$\Delta t = 10$	95	100	0	0
		$\Delta t = 12$	97	98	0	1
		$\Delta t = 15$	94	96	0	0
		$\Delta t = 17$	94	79	0	8
	16	T	84	85,5	0	0
		Tc	80	87	0	0
		$\Delta t = 10$	54	61	0	0
		$\Delta t = 12$	29	27	0	0
		$\Delta t = 15$	48	32	0	0
		$\Delta t = 17$	44	27	0	0
18	T	98,5	100	1,5	1,5	
	Tc	100	100	4	2	
	$\Delta t = 10$	96	99	1	11	
	$\Delta t = 12$	89	90	3	1	
	$\Delta t = 15$	90	91	12	8	
	$\Delta t = 17$	12	33	7	19	

TABLEAU 3 : Résultats d'expériences sur les oeufs de bar, sole et rouget.

N° de ponte	$\Delta t$ (°C)	Taux de survie		Taux d'anomalies	
		Durée du palier		Durée du palier	
		5 minutes	20 minutes	5 minutes	20 minutes
LARVES DE BAR	T	86	89,5	7,5	12,5
	Tc	92	83	40	7
	$\Delta t = 10$	89	92	3	7
	$\Delta t = 12$	0	0		
	$\Delta t = 15$	91	89	7	12
	$\Delta t = 17$	85	87	7	11
	T	99,5	100	2	1
	Tc	97	98	4	3
	$\Delta t = 10$	30	1	10	100
$\Delta t = 12$	99	64	2	13	
$\Delta t = 15$	57	-	27	-	
$\Delta t = 17$	43	0	10		
LARVES DE SOLE	T	98	100	0	0
	Tc	89	97	0	0
	$\Delta t = 10$	0	99	0	0
	$\Delta t = 12$	98	52	0	0
	$\Delta t = 15$	2	2	0	0
	$\Delta t = 17$	0	36	0	0
	T	99	100	1	0
	Tc	⑥	98	0	2
	$\Delta t = 10$	91	24	3	17
$\Delta t = 12$	80	11	0	0	
$\Delta t = 15$	100	100	0	0	
$\Delta t = 17$	100	0	4		
LARVES DE ROUGET	T	96	99,5	0,5	0,5
	Tc	98	②7	0	7
	$\Delta t = 10$	99	30	1	0
	$\Delta t = 12$	93	98	3	1
	$\Delta t = 15$	99	-	0	-
	$\Delta t = 17$	99	3	0	25
	T	96	94	3	9,5
	Tc	100	96	8	0
	$\Delta t = 10$	88	76	5	2
$\Delta t = 12$	88	62	2	4	
$\Delta t = 15$	38	80	3	8	
$\Delta t = 17$			20	0	
LARVES DE ROUGET	T	72,5	75,5	-	-
	Tc	70	③6	-	-
	$\Delta t = 10$	80	59	-	-
	$\Delta t = 12$	57	2	-	-
	$\Delta t = 15$	43	53	-	-
	$\Delta t = 17$	72	49	-	-
	T	99	93	-	-
	Tc	98	91	-	-
	$\Delta t = 10$	98	79	-	-
$\Delta t = 12$	54	30	-	-	
$\Delta t = 15$	51	25	-	-	
$\Delta t = 17$	85	77	-	-	

TABLEAU 4 : Résultats d'expériences sur des larves juste écloses de bar, sole et rouget. Un trait plein (-) signifie à une absence de résultat due à un incident tel que renversement de l'incubateur.

### 1.2.3. Essai d'interprétation :

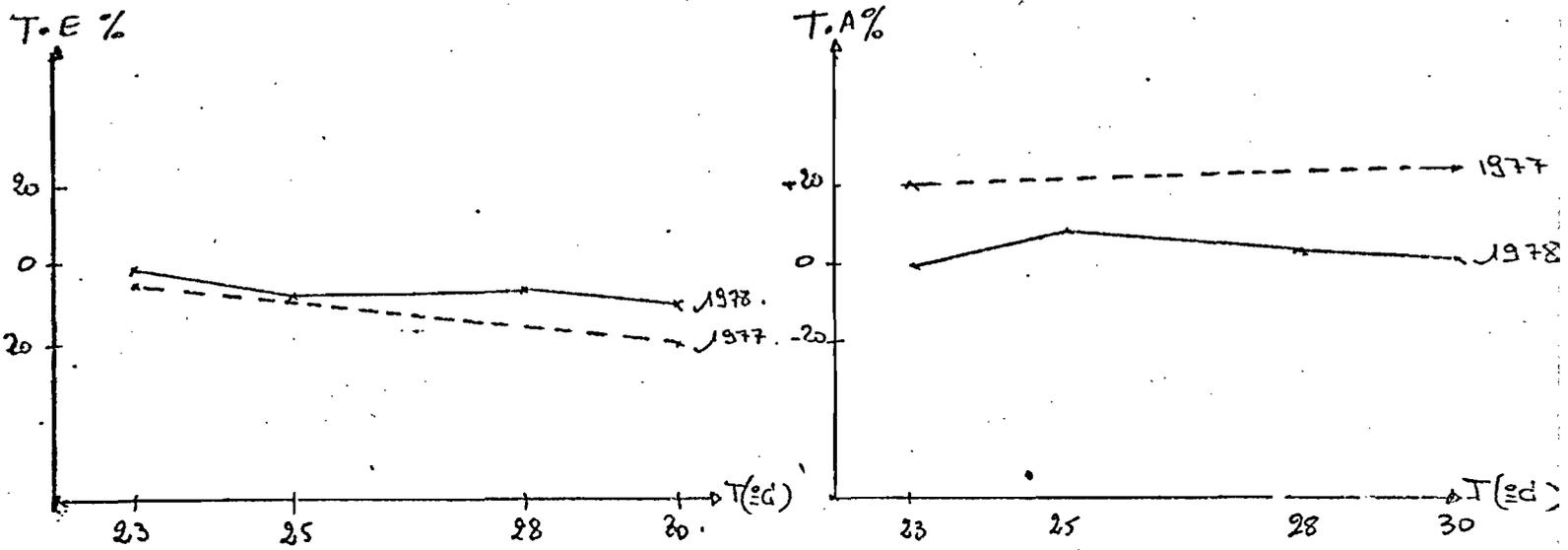
Toutes les courbes qui suivent sont tracées à partir des différences calculées entre les échantillons expérimentaux et les témoins T. Sur chaque figure, le témoin est représenté par le 0 en ordonnée.

Les résultats laissent supposer que :

- Sur les oeufs au stade neurula, il n'y a pas de différence de taux d'éclosion et de taux d'anomalies entre les échantillons chlorés à 1 ppm pendant 5 ou 20 minutes et les lots témoins (fig. 19 et 20). L'association choc thermique-chloration provoque des mortalités similaires à celles dues au choc thermique seul : elles augmentent avec la température et atteignent jusqu'à 50 % de plus que celles enregistrées chez les témoins. Même conclusion pour les taux d'anomalies avec 40 % de plus que les témoins lorsque la température atteint 30° (soit une variation de 17°) (fig. 9-10 et 17-18).

- Chez les larves juste écloses, les effets de chloration à 13° sont plus importants : elle est responsable jusqu'à 40 % de la mortalité enregistrée chez la sole (fig. 23, 24). Le plus frappant est l'effet de l'association choc thermique-chloration. En 1977, les larves réagissaient très peu à une augmentation brutale de température. Il se pourrait bien que température et chloration aient un effet synergique dans la gamme de température étudiée (de 23 à 30 degrés) (fig. 13-14 et 21-22).

Comparaison des résultats de chocs thermiques réalisés en 7 secondes (1977 ---) ou instantanément (1978 —).



FIGURES 1 et 2 : Oeufs de bar

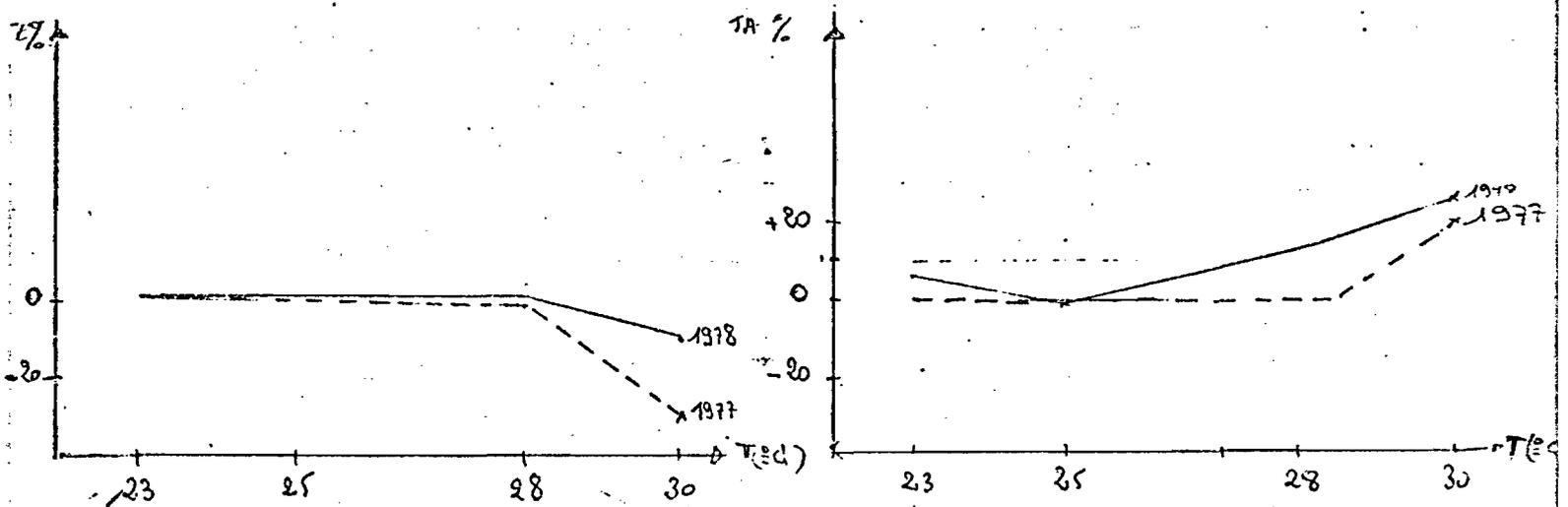
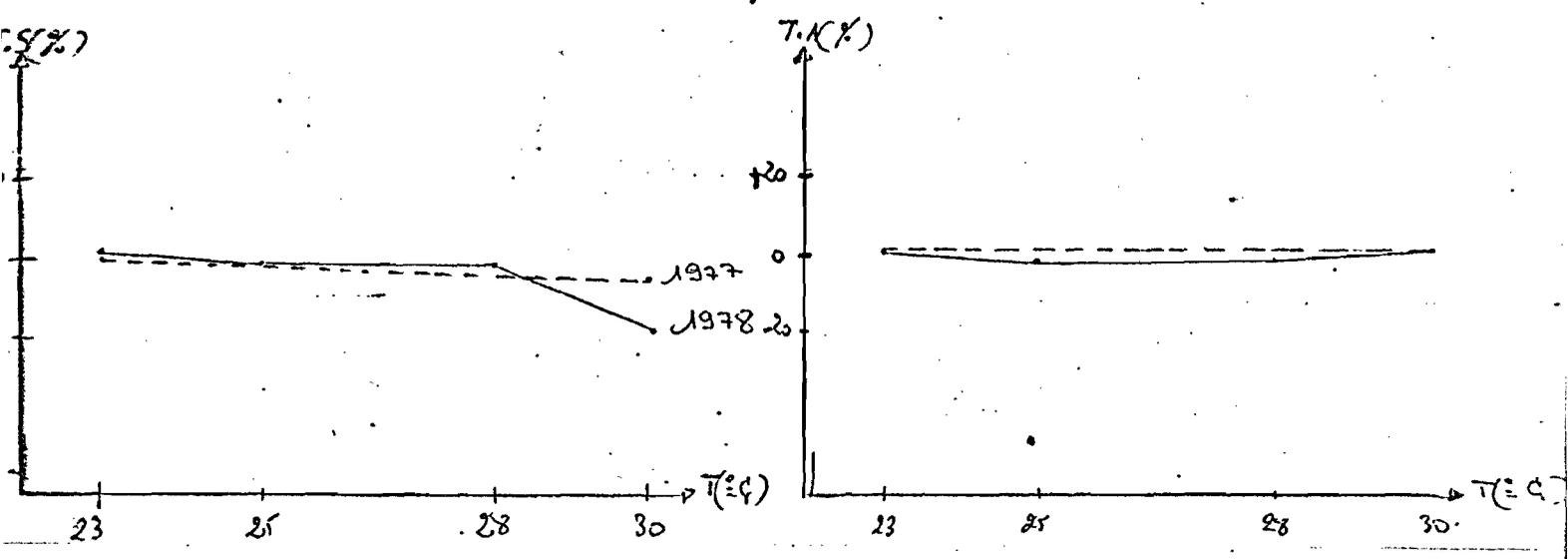


FIGURE 3 et 4 : Oeufs de sole

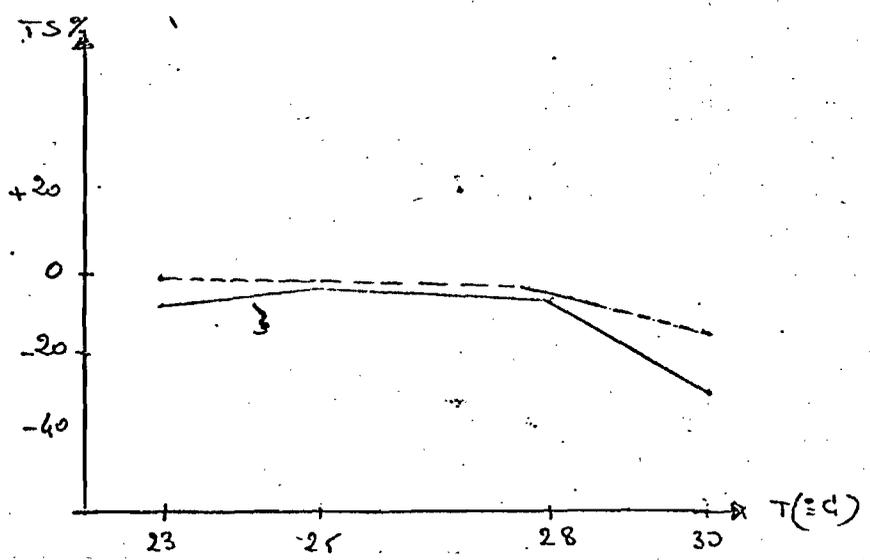
A chaque température correspond la moyenne de 3 écarts de taux d'éclosion (T.E.), ou de taux d'anomalies (T.A.) aux témoins (0).

.../...

Comparaison des résultats de chocs thermiques réalisés en 7 secondes (1977 ---) ou instantanément (1978 —).



FIGURES 5 et 6 : Larves de bar



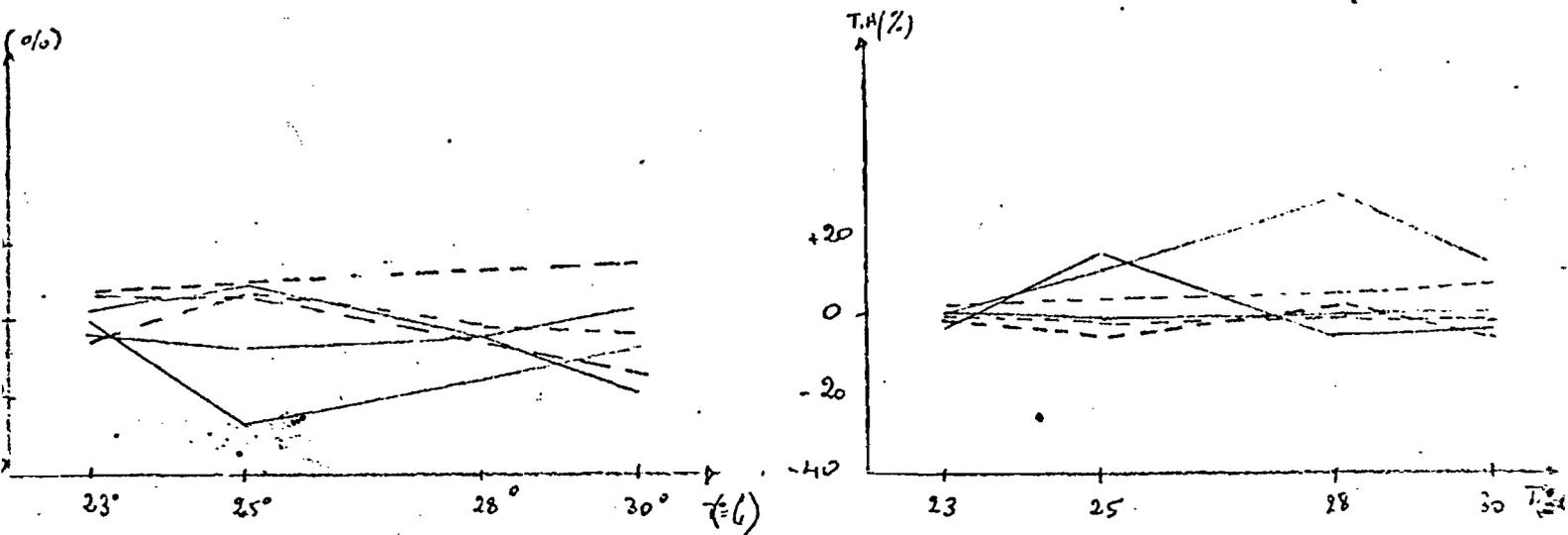
FIGURES 7 et 8 : Larves de sole

TS (%) = (taux de survie moyens des lots expérimentaux) - (taux de survie moyen des témoins).

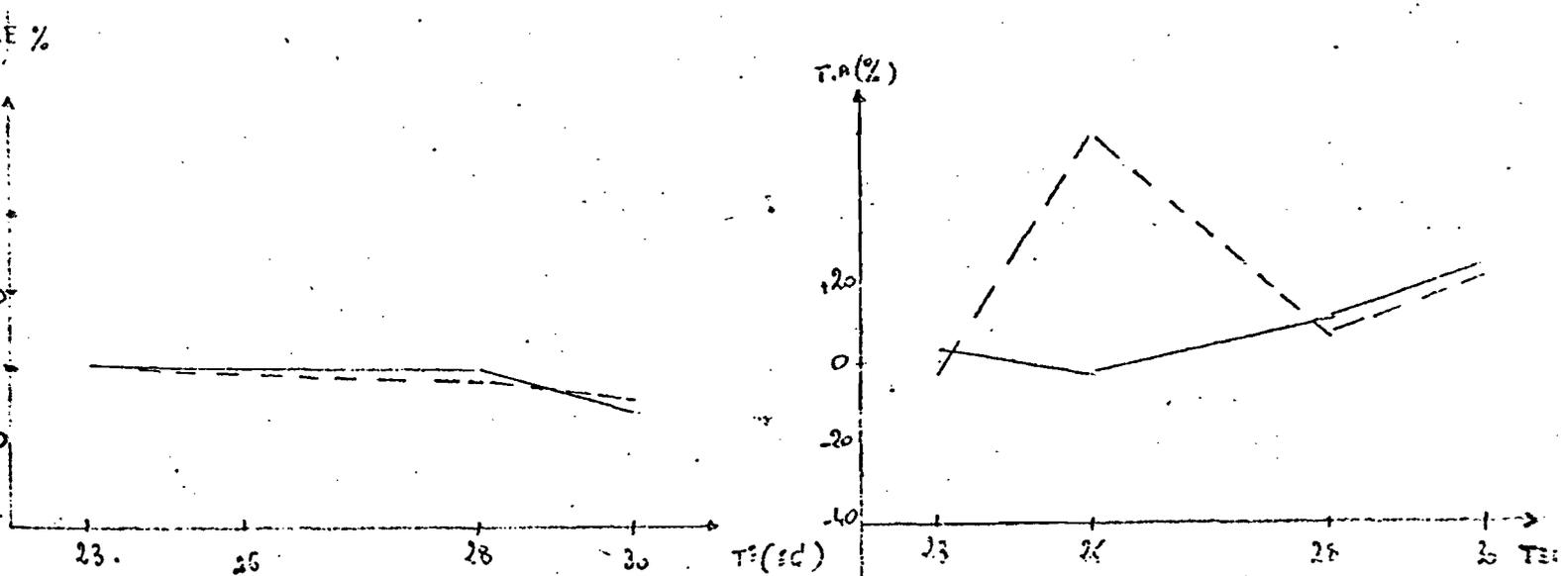
TA (%) = (taux d'anomalies moyens des lots expérimentaux) - (taux d'anomalies des témoins).

T (°C) = température atteinte après le choc thermique. La température de base est 13°.

Etude comparée de l'effet de chocs thermiques associés ou non à une chloration à 1 ppm sur des oeufs de bar et de sole.



FIGURES 9 et 10 : Oeufs de bar : étude réalisée sur 3 pontes numérotées 35, 55 et 56.



FIGURES 11 et 12 : Oeufs de sole : étude réalisée sur la ponte notée 9.

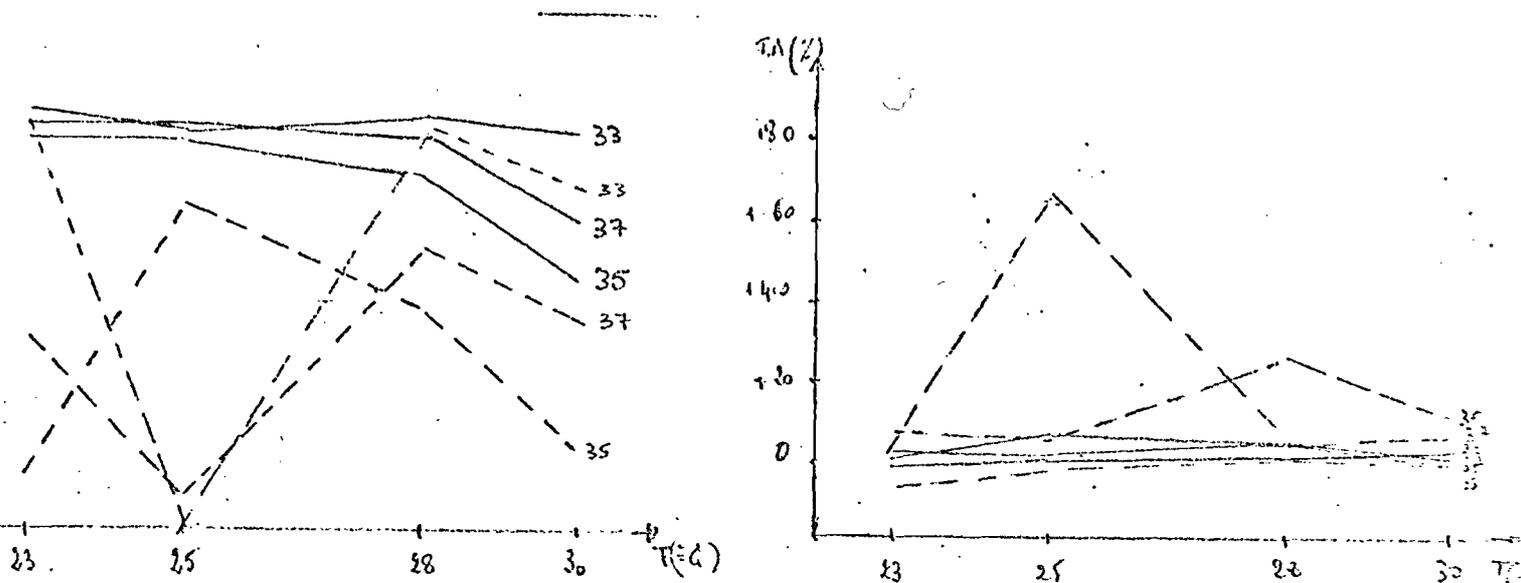
TE (%) = (taux d'éclosion d'un lot expérimental) - (taux d'éclosion moyen des témoins)

TA (%) = (taux d'anomalies d'un lot expérimental) - (taux d'anomalies des témoins)

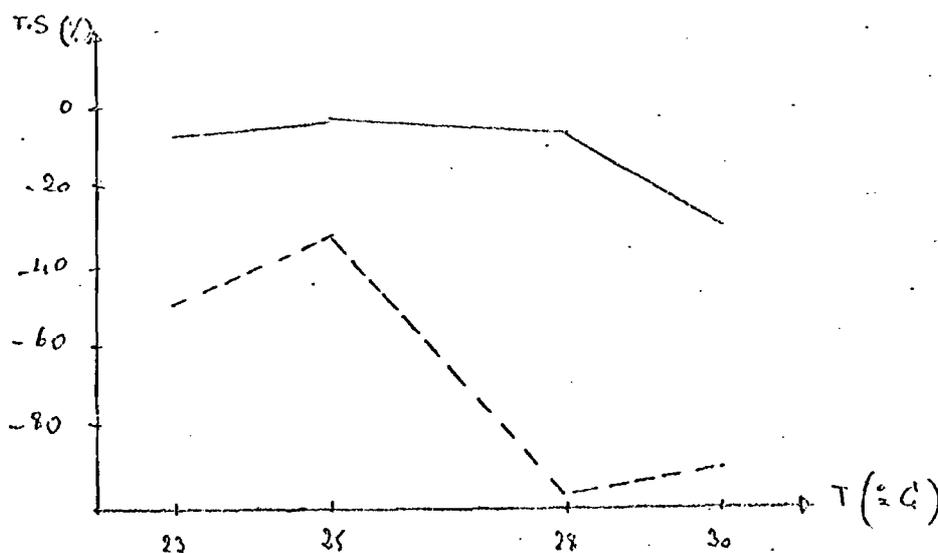
T (°C) = température atteinte après le choc thermique. La température de base est de 13°C.

— chocs thermiques ; --- chocs thermiques associés à une chloration de 1 ppm

Etude comparée de l'effet de chocs thermiques associés ou non à une chloration à 1 ppm sur des larves de bar et de sole.



FIGURES 13 et 14 : Larves de bar : étude réalisée sur 3 lots provenant de 3 pontes différentes (33, 35 et 37).



FIGURES 15 et 16 : Larves de sole : étude réalisée sur un lot de larves provenant de la ponte n° 2. Les taux d'anomalies ne font pas l'objet d'un graphe : ils avoisinent tous 0 %.

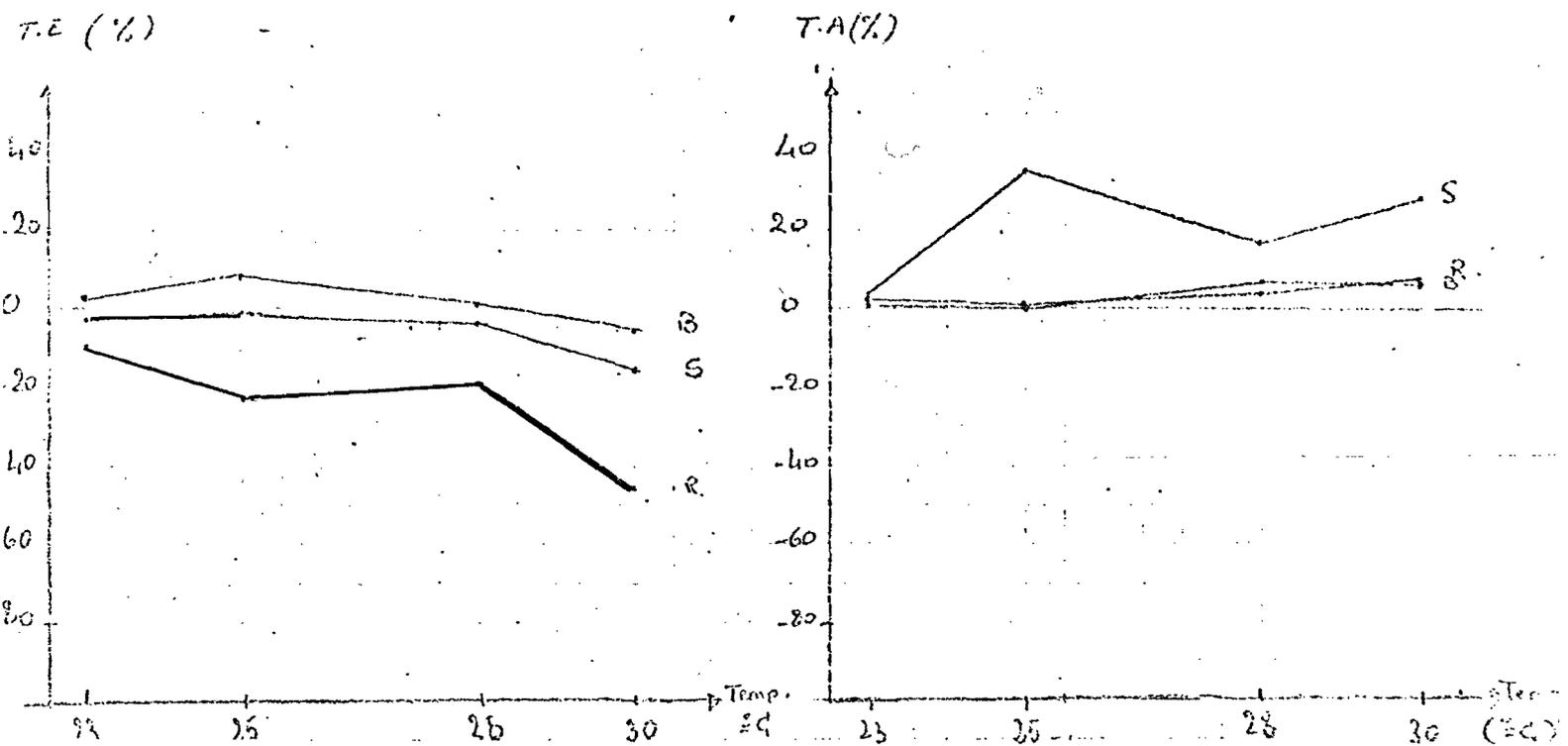
TS (%) = (taux de survie d'un lot expérimental) - (taux de survie moyen des témoins)

TA (%) = (taux d'anomalies d'un lot expérimental) - (taux d'anomalies des témoins)

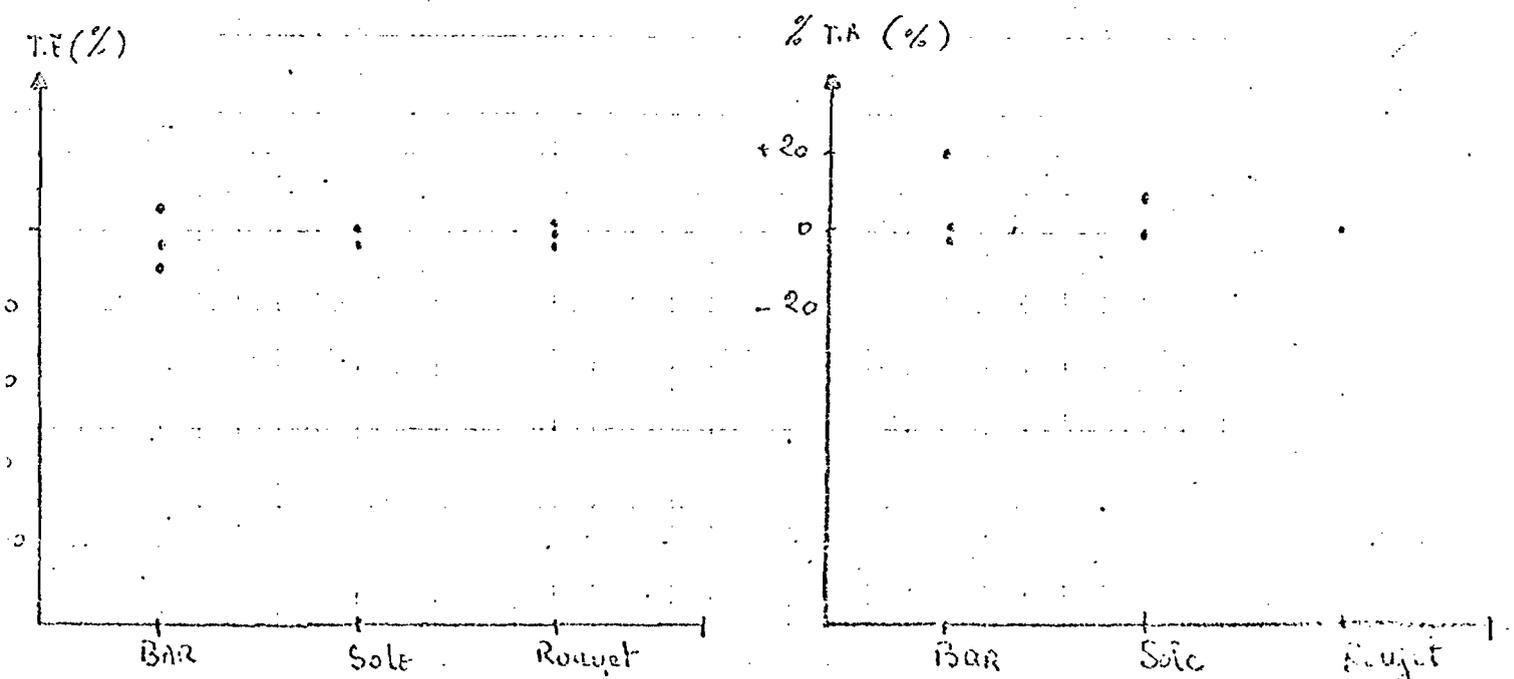
T (°C) = température atteinte après le choc thermique. La température de base est de 13° C.

— Chocs thermiques ; --- chocs thermiques associés à une chloration de 1 ppm

Expériences des chocs thermiques et chloration  
sur des oeufs au stade neurula.



FIGURES 17 et 18 : Effet des  $\Delta_{10}^{\circ}$  ( $23^{\circ}$ ),  $\Delta_{12}^{\circ}$  ( $25^{\circ}$ ),  $\Delta_{15}^{\circ}$  ( $28^{\circ}$ ) et  $\Delta_{17}^{\circ}$  ( $30^{\circ}$ ) associés à une chloration de 1 ppm sur des oeufs de bar (B), sole (S) et rouget (R). Chaque point représente la moyenne des écarts aux témoins obtenus après traitement de 3 pontes.

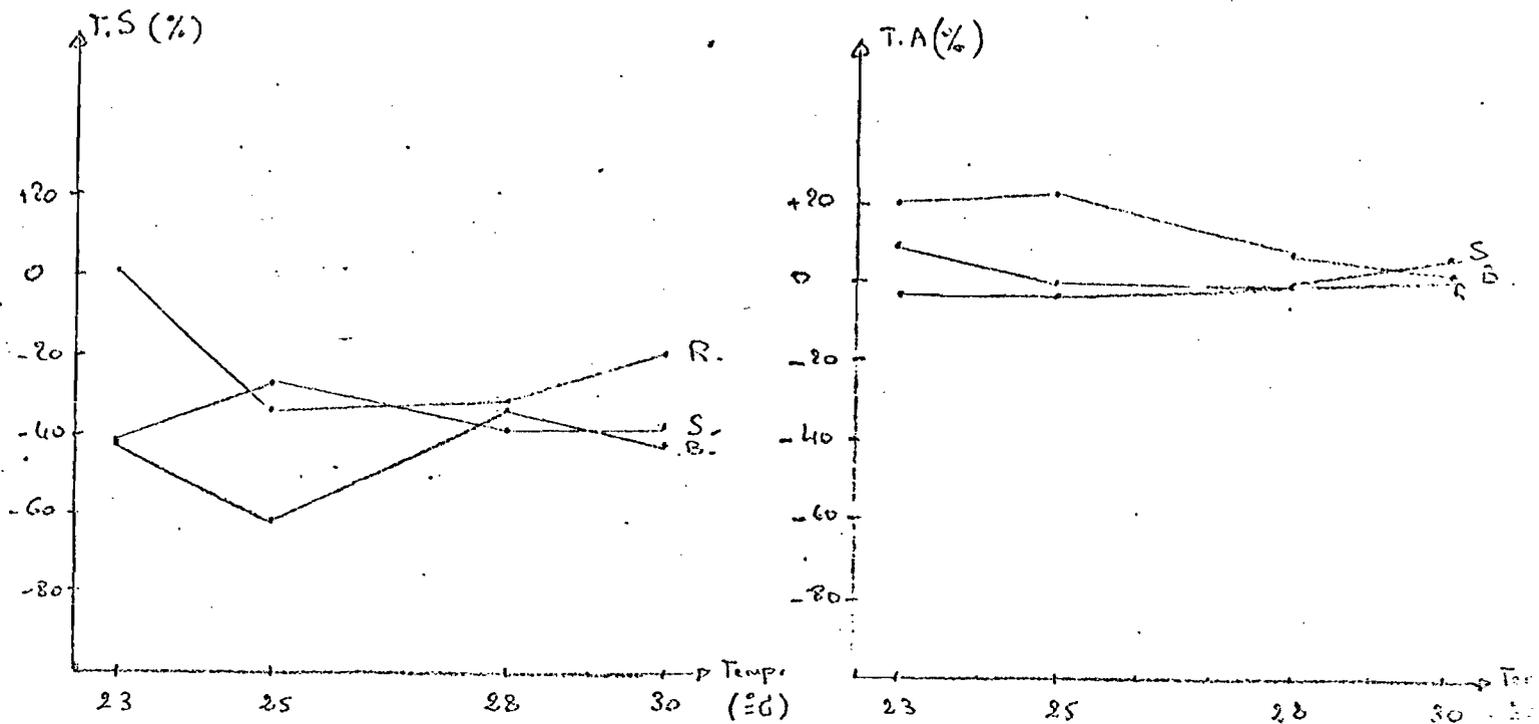


FIGURES 19 et 20 : Effet d'une chloration à 1 ppm d'eau de mer à  $13^{\circ}$  sur des oeufs de bar, sole et rouget. Chaque point correspond à un échantillon d'oeufs d'une ponte.

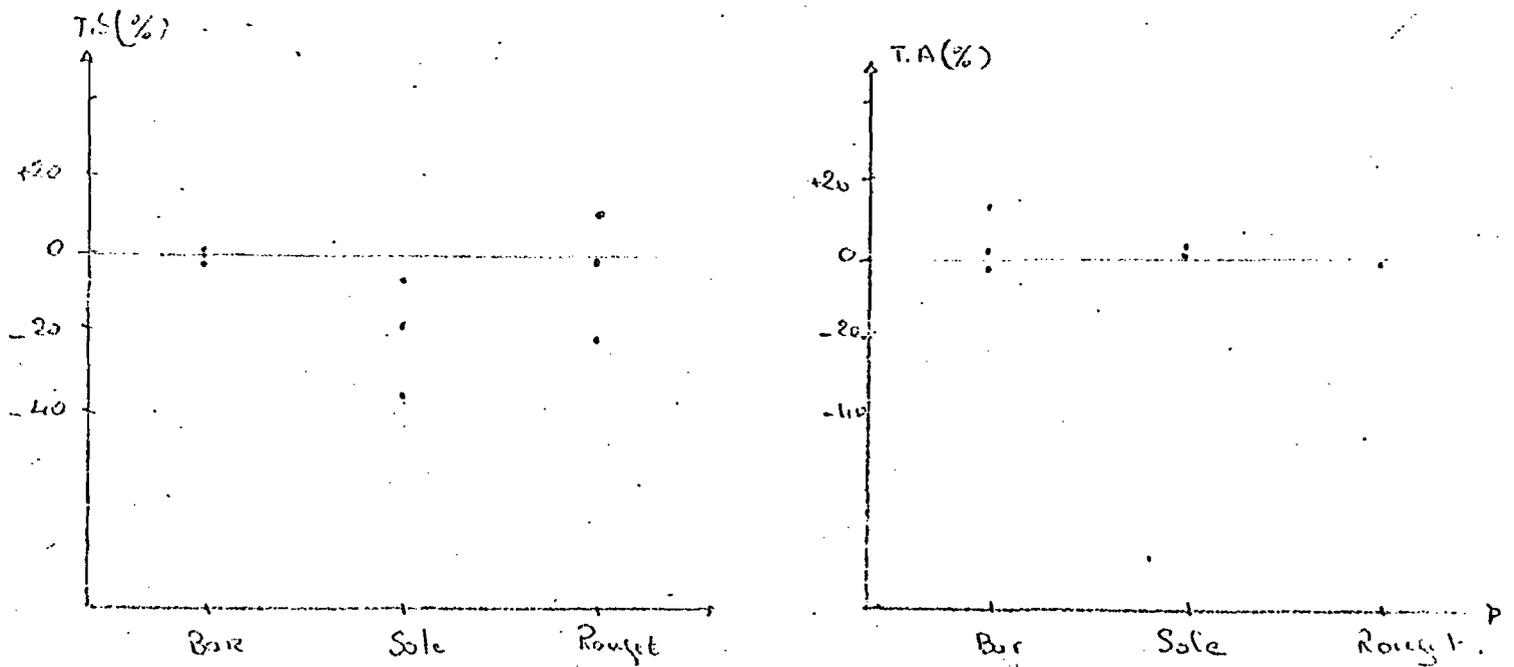
TE (%) = (taux d'éclosion d'un échantillon expérimental) - (taux d'éclosion moyen des témoins)

TA (%) = (taux d'anomalies d'un échantillon expérimental) - (taux d'anomalies moyen des témoins)

Expériences de chocs thermiques et chloration  
sur des larves à l'éclosion.



FIGURES 21 et 22 : Effet des  $\Delta_{10}^{\circ}$  ( $23^{\circ}$ ),  $\Delta_{12}^{\circ}$  ( $25^{\circ}$ ),  $\Delta_{15}^{\circ}$  ( $28^{\circ}$ ) et  $\Delta_{17}^{\circ}$  ( $30^{\circ}$ ) associés à une chloration de 1 ppm sur les larves de bar (B), sole (S) et rouget (R). Chaque point représente la moyenne des écarts aux témoins obtenus après traitement de 3 pontes.



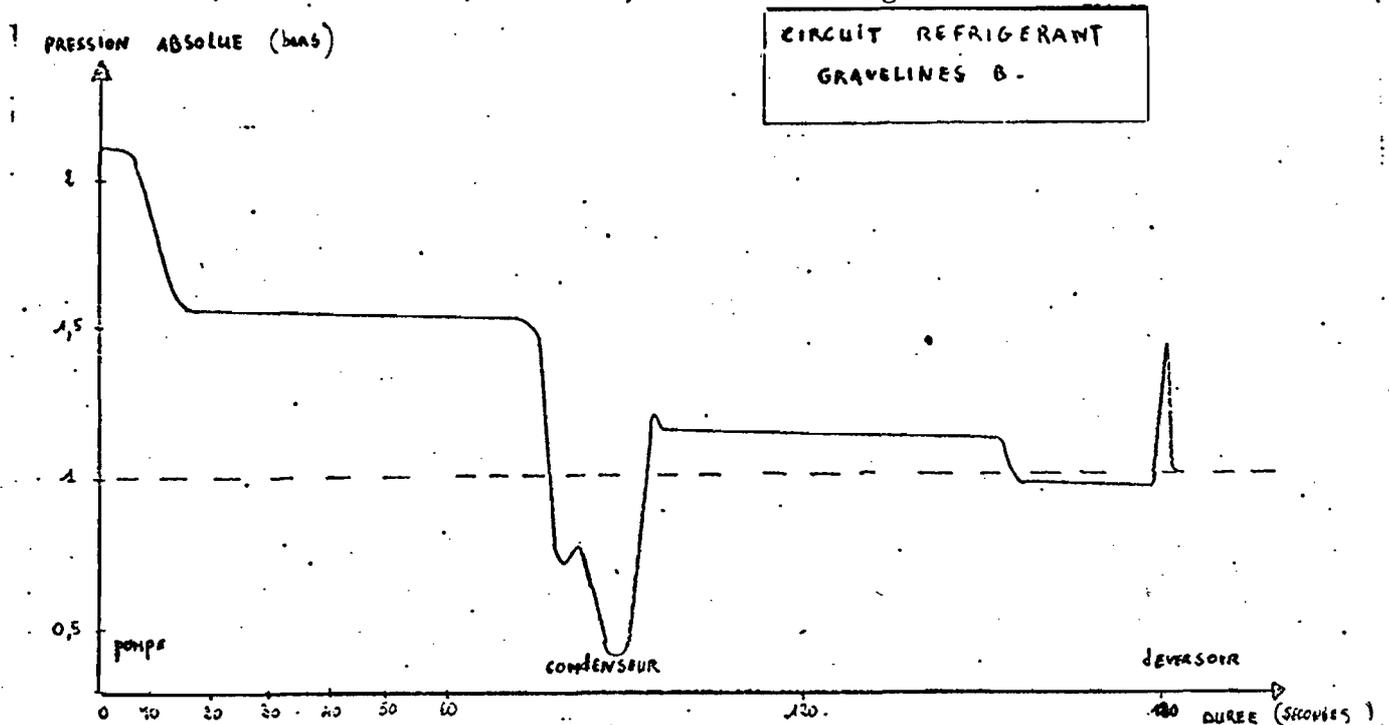
FIGURES 23 et 24 : Effet d'une chloration à 1 ppm d'eau de mer à  $13^{\circ}$  sur des larves de bar, sole et rouget. Chaque point correspond à un échantillon de larves d'une ponte:

TS (%) = (taux de survie d'un échantillon expérimental) - (taux de survie moyen des témoins)

TA (%) = (taux d'anomalies d'un échantillon expérimental) - (taux d'anomalies moyen des témoins).

## II. CHOC MECANQUES (VARIATION DE PRESSION).

L'effet de variations de pression brutales comme ceux que l'on observe tout au long des canalisations de centrales électriques (fig. 25) est testé sur des oeufs (stade neurula) et des larves (à l'éclosion) de bar, sole et rouget.



*FIGURE 25 : Schéma des successions de pression observables dans les canalisations d'une centrale. Les variables sont l'intensité de la montée et donc l'intensité de la pression imposée dans le bonna deux fois plus faible que la précédente et la durée de la variation.*

Pour l'expérimentation, seules les situations extrêmes sont retenues, soit : augmentations de 4 bars ou de 1 bar et maintien d'une haute pression pendant 30 secondes ou 5 minutes. Le vide est testé indépendamment. La figure 26 indique les 6 situations auxquelles sont soumis les échantillons.

### 1.2. Matériel.

L'appareillage qui permet d'obtenir ces pressions fut mis au point par le service Instrumentation du COB. Il s'agit d'une enceinte en inox, hermétique, remplie d'eau douce et supportant des pressions de 15 bars. Elle est reliée à un tableau de commande sur lequel les pressions données sont affichées. (Le rapport final comprendra une description détaillée de l'ensemble).

Les larves et les oeufs sont introduits dans des pilluliers remplis d'eau de mer, placés dans l'enceinte. Les capuchons qui les obturent transmettent intégralement les variations de pression enregistrées dans l'eau douce.

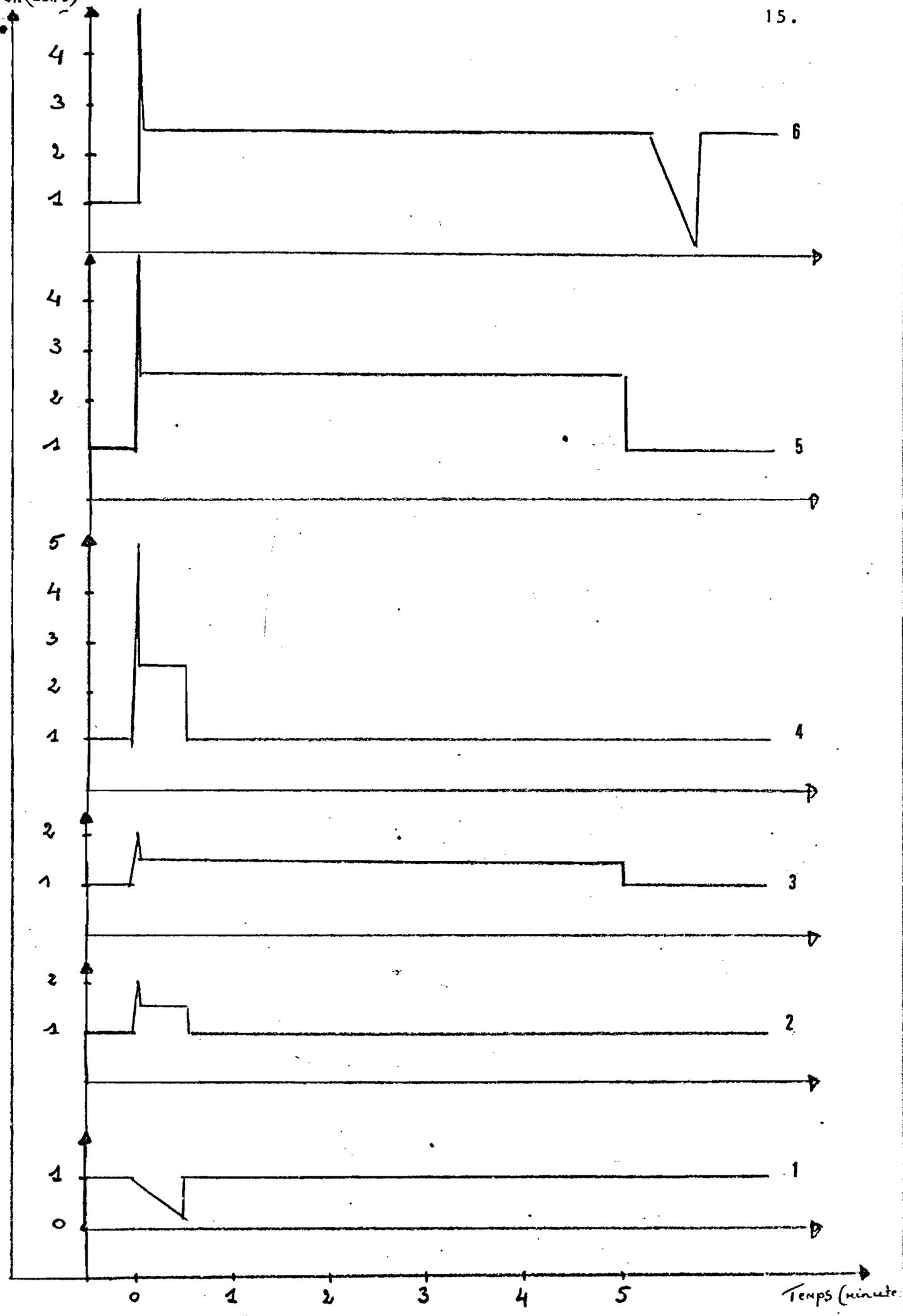


FIGURE 26 : Six situations auxquelles sont soumis les échantillons.

### 1.3. Résultats.

Six pontes de bar et six pontes de rouget sont testées.

Par contre la saison de reproduction de la sole se terminant au moment de l'expérimentation, 4 pontes seulement subissent les chocs mécaniques.

D'après les résultats consignés dans les tableaux 5 et 6, on s'aperçoit que les variations de pression n'ont pas entraîné de fortes mortalités ou anomalies et ce quelque soit l'espèce et le stade de développement considérés.

ESPECE	SOLE		BAR						ROUGET					
	20		66		80		82		24		28		30	
N° DE PONTE	TE	TA	TE	TA	TE	TA	TE	TA	TE	TA	TE	TA	TE	TA
Témoin 1	93	2	52	4	100	7	96	13	99	0	100	0	100	0
Témoin 2	83	3	62	6	99	5	90	16	98	0	100	0	99	0
Situation 1	92	0	61	1	87	8	95	10	100	0	99	0	100	0
Situation 2	91	0	66	8	97	4	92	16	100	0	100	0	100	0
Situation 3	85	0	60	6	84	4	96	11	99	0	99	0	100	0
Situation 4	74	2	49	15	94	4	95	25	100	0	100	0	100	0
Situation 5	83	0	44	14	92	3	95	18	99	0	100	0	100	0
Situation 6	91	2	66	5	88	9	91	10	100	0	99	0	100	0

TABLEAU 5 : Résultats de taux d'éclosion (TE) et de taux d'anomalies (TA) des témoins et échantillons expérimentaux relatifs aux chocs mécaniques sur des oeufs (stade neurula) de bar, sole et rouget.

ESPECE	SOLE						BAR						ROUGET					
	15		16		18		81		84		85		20		21		25	
N° DE PONTE	TS	TA	TS	TA	TS	TA	TS	TA	TS	TA	TS	TA	TS	TA	TS	TA	TS	TA
Témoin 1	96	0	95	0	99	0	99	16	99	11	100	0	100	0	89	0	92	15
Témoin 2	25	0	96	0	96	3	100	17	99	3	97	0	92	4	98	0	92	4
Situation 1	100	12	97	1	100	2	99	22	100	9	99	0	96	0	99	3	100	7
Situation 2	97	0	100	0	100	0	99	20	100	6	99	0	100	4	96	2	100	6
Situation 3	86	0	100	0	100	0	97	13	98	6	100	0	97	0	96	1	89	6
Situation 4	96	0	33	16	94	4	99	19	99	6	100	0	100	0	95	5	81	0
Situation 5	97	0	67	5	97	0	99	15	97	5	95	1	96	0	99	0	100	0
Situation 6	100	4	100	0	93	2	99	22	97	4	100	0	100	5	95	0	100	0

TABLEAU 6 : Résultats des taux de survie (TS) et de taux d'anomalies (TA) des témoins et échantillons expérimentaux relatifs aux chocs mécaniques sur des larves à l'éclosion de bar, sole et rouget.