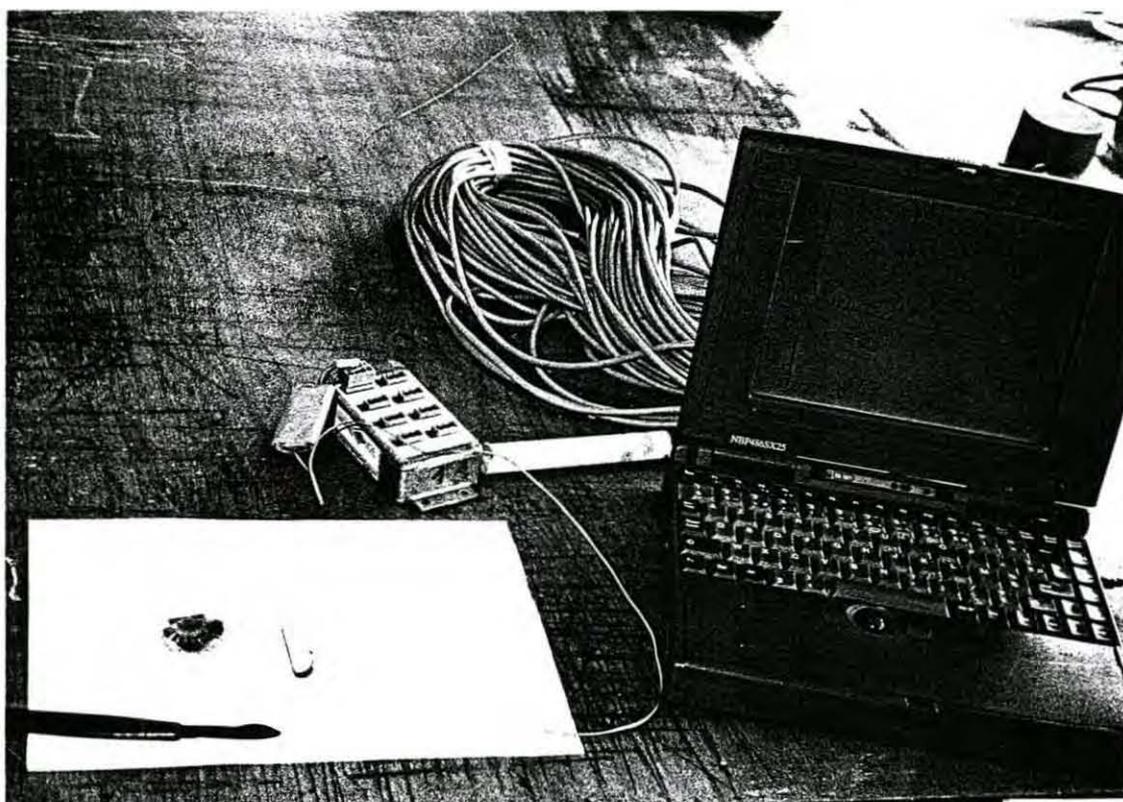


Le Musclomètre :
Mesure de la vitalité du muscle adducteur chez
les juvéniles de coquille Saint-Jacques.



Eric CROGUENNEC

Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes
Option : Milieu Marin

*Rapport du stage effectué à l'IFREMER pendant l'année universitaire 1995-1996
à la Direction des Ressources Vivantes, Laboratoire Mollusques*

Maître de stage : Monsieur Pierre-Gildas FLEURY
Professeur responsable à l'UBO : Monsieur Yves-Marie PAULET

REMERCIEMENTS

Je remercie mon professeur responsable à l'UBO :
Monsieur Yves-Marie PAULET pour m'avoir permis
d'effectuer mon stage dans le centre de l'IFREMER Brest.

Je remercie plus particulièrement mon maître de
stage : Monsieur Pierre-Gildas FLEURY de m'avoir pris
sous sa responsabilité pendant ce stage.

Je remercie également tout le personnel du service
qui a facilité le déroulement de ce stage.

SOMMAIRE

Introduction	1
1 - Biologie de la Coquille Saint-Jacques	
1.1 - Anatomie de la coquille Saint-Jacques	2
1.2 - Cycle biologique et phase d'élevage	3
1.3 - Caractéristiques morphologiques et physiologiques des juvéniles	5
2 - Le Dispositif expérimental = Le Musclomètre	
2.1 - Objectif	5
2.2 - Description du musclomètre	6
2.3 - Essais	7
3 - Les Références	
3.1 - Quel stress pour quelle qualité ?	9
3.2 - Forme des résultats	10
3.3 - Analyse qualitative	11
3.4 - Analyse quantitative	12
4 - Discussion	14
Conclusion	16
Bibliographie	

INTRODUCTION

Les eaux côtières françaises, depuis les années 60, ont vu les gisements de coquilles Saint-Jacques régresser jusqu'à atteindre un niveau moyen de 25 t environ en Rade de Brest alors que le tonnage débarqué était de 1520 tonnes en 1962-63.

Devant ce déclin, dans les années 80, un programme de repeuplement des gisements de coquilles St-Jacques en Rade a vu le jour. L'objectif principal de ce programme était de forcer le recrutement. C'est à dire, de remonter le stock reproducteur, par apport de juvéniles, à un niveau tel que la pêche pourrait redémarrer.

Ce premier programme a été réorienté fin des années 80 début des années 90 de tel sorte que l'on est passé d'un objectif de repeuplement (effet induit des géniteurs) à une aquaculture extensive par la technique de semis-recaptures en recapturant les animaux semés et non leurs enfants. Des coquilles de 30 mm sont donc semées puis récoltées environ trois ans plus tard quand elles ont atteint une taille minimale de pêche d'environ 102 mm.

Ce type d'aquaculture nécessite donc un semis des coquilles. Ce dernier entraîne un stress qui par voie de conséquence induit une réussite plus ou moins régulière des semis.

Plusieurs facteurs, biotiques ou abiotiques, comme, par exemple, le site, la saison du semis, peuvent contribuer à une meilleure réussite. Mais aussi et peut-être surtout le facteur Coquille, c'est à dire la taille, la qualité, la « santé » ou encore la « vitalité » des juvéniles semés.

Mais comment peut-on mesurer la qualité ou la vitalité des juvéniles avant le semis ? Parmi les nombreux indices de qualité ou de vitalité déjà expérimentés : Indices de condition (biométrie), charge énergétique adénylique (biochimie), l'étude suivante porte sur un nouvel indice physique, à savoir la force physique du muscle. Après avoir présenté la biologie de la coquille Saint-Jacques, ce rapport traitera des expériences que j'ai menées dans l'objectif de déterminer des références de vitalité des coquilles avec ce nouvel indice. Ces références sont destinées à pouvoir ultérieurement comparer ('noter') tout futur lot de juvéniles, en fonction de ces classes de référence.

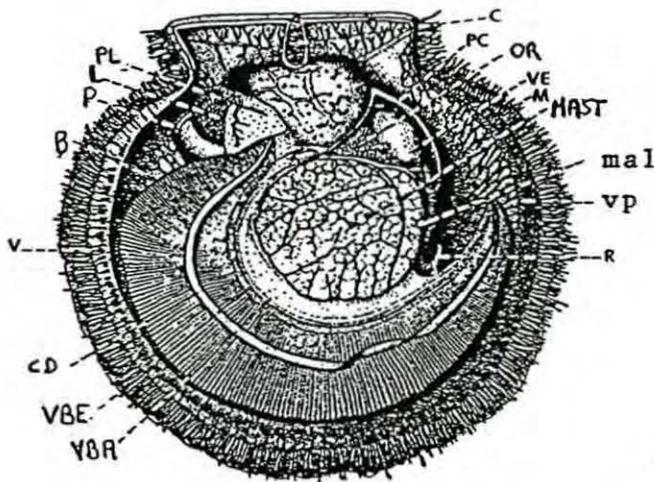
1 - BIOLOGIE DE LA COQUILLE SAINT - JACQUES

La coquille Saint-Jacques (*Pecten maximus*) fait partie de l'embranchement des mollusques et de la classe des bivalves. Cet invertébré marin plutôt sédentaire, ne se déplaçant par bonds saccadés que pour fuir devant un danger (un compétiteur, par exemple), chercher un site approprié ou pour s'enfouir, vit sur des fonds sablo-vaseux à sablo-graveleux le plus souvent entre -10 et -40 m de profondeur : il appartient de ce fait au monde benthique. Les microalgues (diatomées et dinoflagellées) constituent la principale source d'alimentation de ce mollusque filtreur, en effet grâce à ses filaments branchiaux, la coquille crée un léger courant d'eau à l'intérieur des deux valves, ce dernier lui permettant de filtrer suffisamment d'eau pour ses besoins alimentaires.

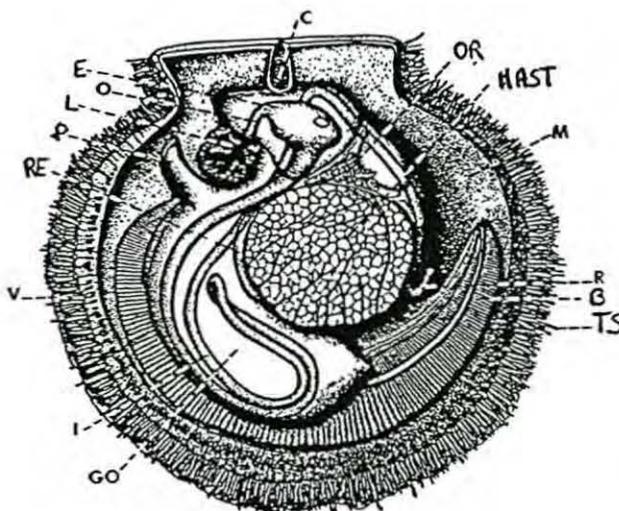
1.1. Anatomie de la coquille Saint - Jacques

D'un point de vu anatomique, on distingue différents organes : (cf. figure 1.1)

fig. 1.1 : Anatomie interne. fig. 1.11 : Coquille gauche (manteau retiré). fig. 1.12 : Coquille droite (manteau retiré) [BENINGER et LE PENNEC, 1991].



1



2

- B : branchie
- C : chondrophore
- CD : courbure dorsale du filament
- E : estomac
- GO : gonade
- I : intestin
- L : lèvres
- M : manteau
- MAL : muscle adducteur lisse
- MAST : muscle adducteur strié
- O : oesophage
- OR : oreillette
- P : pied
- PC : péricarde
- PL : palpe labial
- R : rectum
- RE : rein
- TS : tentacule sensorielle
- V : velum
- VBA : vaisseau branchial afférent
- VBE : vaisseau branchial efférent
- VE : ventricule
- VP : vaisseau palléal

- le manteau intervient dans de nombreuses fonctions aussi bien circulatoires que respiratoires, il est composé de deux lobes.

- relié à ce dernier on trouve un seul muscle adducteur [CHANTLER, 1991], cylindrique, lui-même étant formé de deux parties : un muscle strié (fibres longues) et un muscle lisse (fibres courtes). Ce muscle adducteur occupe la majorité du volume de la coquille et joue un rôle essentiel dans la locomotion, mais il permet également de stocker des réserves énergétiques, essentiellement dans le muscle strié [DERRIEN, 1995]. En effet, comme nous le confirmerons dans la seconde partie, le muscle lisse permet le maintien de la coquille fermée alors que le muscle strié permet d'effectuer des contractions rapides, utiles pour la fuite ou l'enfouissement.

- un système digestif simple avec une particularité : l'intestin forme un boucle dans la gonade.

- un système circulatoire clos comprenant des branchies, formées de deux lames, de chaque côté du corps, servant à l'oxygénation du sang apporté jusqu'au cœur par des vaisseaux. Elles permettent également la rétention des particules alimentaires.

- un système excréteur composé de deux reins ou néphridies s'ouvrant dans le péricarde et de glandes péricardiques.

- un système reproducteur hermaphrodite plus ou moins réduit en période de repos sexuel (en Rade de Brest) voir absent pendant cette période (en Baie de Saint Briec). La gonade comprend donc deux parties : une partie mâle, proximale et de couleur blanchâtre et une partie femelle, distale de couleur rouge orangée.

- un système nerveux constitué de trois paires de ganglions (cérébraux, pédieux et un ganglion pariétoviscéral). Parmi les organes des sens on trouve les yeux portés par des tentacules, des otocystes dans la masse pédieuse assurant l'ouïe, des tentacules palléales servant au toucher et les tentacules du manteau interviennent pour le goût [BRICELJ and SHUMWAY, 1991].

1.2. Cycle biologique et Phase d'élevage

La coquille Saint-Jacques est hermaphrodite, les gamètes mâles étant évacués avant les gamètes femelles, ceux-ci sont ainsi émis dans l'eau et la fécondation externe peut alors avoir lieu. Le cycle de développement comporte deux phases séparées par la métamorphose.

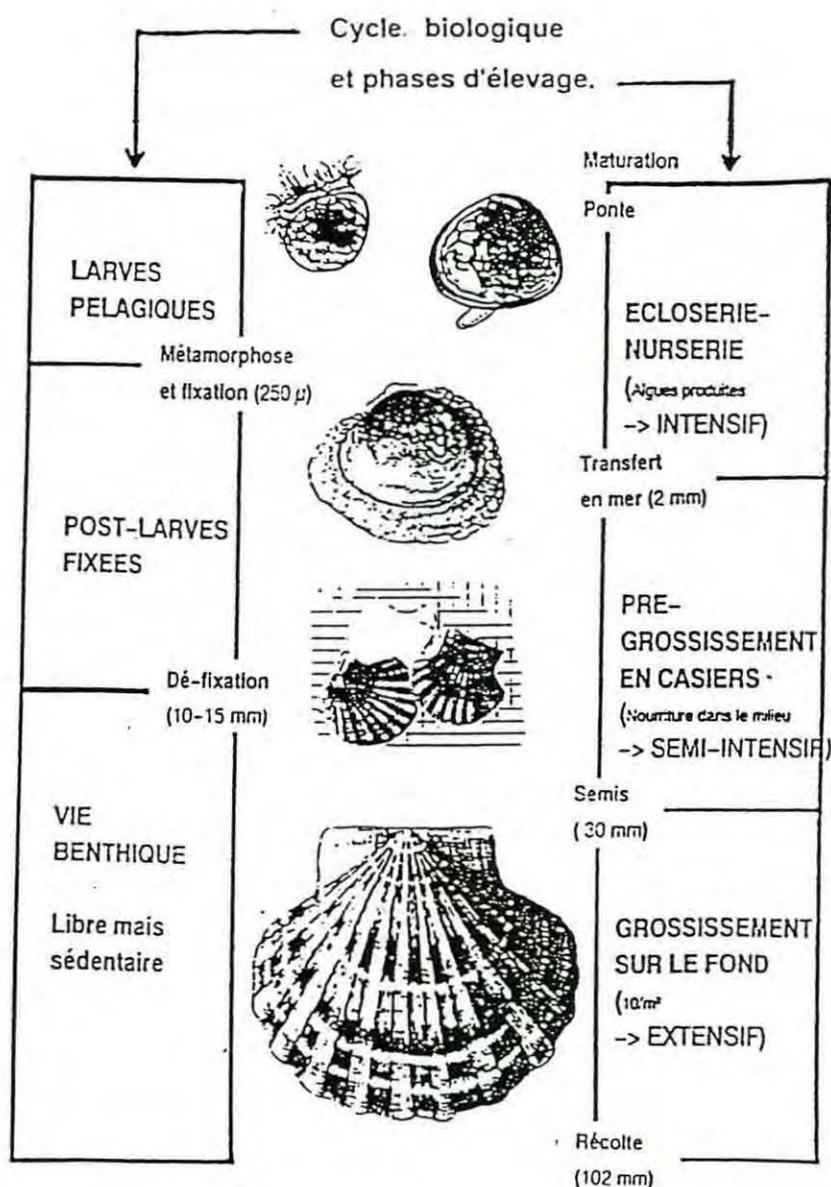
La phase planctonique, tout d'abord, a une durée qui dépend de la température de l'eau et de la qualité trophique du milieu. Elle correspond au développement du stade larvaire (cf. fig. 1.2)

La métamorphose, marquant la fin de cette phase, correspond à une modification successive de certains organes (régression du vélum, formation des yeux, apparition du pied).

La phase benthique commence ensuite avec un stade post-larvaire (fixation rendue possible grâce à un byssus), puis un stade juvénile libre (disparition du byssus) qui se termine avec la maturité sexuelle et donne ainsi naissance à une coquille adulte. Cette coquille adulte benthique peut nager mais présente une vie relativement sédentaire.

Cette dernière caractéristique, à savoir cette sédentarité relative, ainsi que la volonté de reconstituer un stock de géniteurs suffisant, en Rade de Brest en particulier, a conduit à l'élaboration d'une technique d'élevage de la coquille Saint-Jacques par l'IFREMER [FLEURY et DAO, 1992]. En effet, une technique d'élevage dite extensive a pu être élaborée (cf. fig. 1.2). Dans un premier temps intensif dans une éclosérie-nurserie (obtention d'oeufs grâce à des géniteurs, de larves puis de post larves de 2 mm), l'élevage devient semi-intensif lors de la période de pré-grossissement en mer dans des casiers jusqu'à l'obtention de coquille atteignant 30 mm. L'élevage devient ensuite extensif, c'est à dire que les coquilles sont « semées » et grossissent ainsi sur le fond en milieu naturel.

fig. 1.2 : Cycle biologique et phase d'élevage de la Coquille Saint-Jacques.
[FLEURY et DAO, 1992]



Cependant, il a été constaté que le semis entraîne de forts taux de mortalités. Les juvéniles semés, d'une taille voisine de 30 mm, subiraient donc un stress plus ou moins léthal auquel il faut ajouter de grosses dépenses d'énergie dues surtout à l'enfouissement assez rapide (1 à 2 jours) qui permet une meilleure prévention des prédateurs. Il est donc intéressant d'essayer de dresser un « bilan de santé » de ces juvéniles avant le semis. Grâce à un dispositif servant déjà pour les moules, mon travail sera d'essayer de quantifier la « santé générale » ainsi que « la vitalité » (ou aptitude à l'effort) des juvéniles pour en établir des références.

1.3. Caractéristiques morphologiques et physiologiques des juvéniles

L'étude suivante étant réalisée sur des juvéniles de coquilles Saint-Jacques, il me semble souhaitable de caractériser ces juvéniles par rapport aux autres stades de la vie d'une coquille.

Après la métamorphose, commence la phase benthique, celle-ci est divisée en trois stades.

Le premier stade correspond à la post-larve qui au bout de quelques jours cherche à se fixer par l'intermédiaire de son byssus.

Ensuite arrive le stade juvénile qui correspond à la phase de croissance du corps mais pendant laquelle les individus restent immatures. Il n'y a donc pas de dépense d'énergie due à l'effort de reproduction pendant ce stade. On distingue en fait deux types de juvéniles :

- les juvéniles I qui sont toujours fixés par leur byssus.
- les juvéniles II qui eux mènent une vie libre grâce à la disparition du byssus

Ce stade juvénile prend fin à la maturité sexuelle, maturité qui intervient souvent après le deuxième hiver.

Enfin, la coquille devient adulte.

2 - LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL = LE MUSCLOMETRE

2.1. Objectif

L'objectif de cette étude est de déterminer si le musclomètre est un outil fiable permettant de quantifier la qualité, ou vitalité, des juvéniles de coquille Saint-Jacques. Cet outil doit répondre à un certain nombre de conditions, en effet les résultats obtenus doivent être :

1) **reproductibles** : c'est à dire que pour des lots de juvéniles de même origine, ayant subit les mêmes contraintes, les conclusions de l'analyse doivent être identiques.

A y lots identiques = 1 réponse identique.

2) **significatifs** : pour des lots différents de juvéniles, n'ayant cette fois-ci pas subit les mêmes contraintes, les conclusions de l'analyse doivent être différentes.

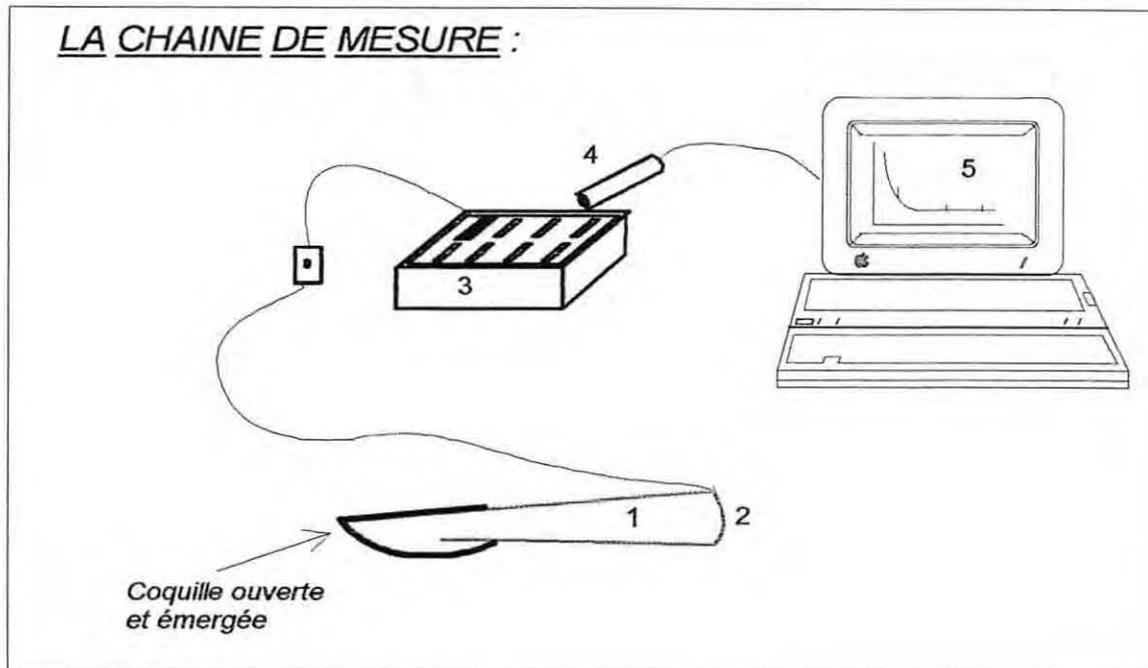
A x lots différents = x réponses différentes

De plus, il faut autant que possible que le test

- ne soit pas léthal pour les juvéniles.
- soit robuste.
- puisse être simple d'utilisation, à bord d'un bateau par exemple.
- et pour des questions de budget, il faut qu'il ne soit pas très onéreux.

2.2. Description du musclomètre

fig. 2.2 : Le dispositif expérimental



légende :

- 1 : Musclomètre (lame de métal recourbée)
- 2 : Jauge de contrainte (dans la courbure du musclomètre)
- 3 : Dispositif d'acquisition des données
- 4 : Crayon optique permettant de contrôler les mesures
- 5 : Micro-ordinateur pour le traitement des données

Comme le montre la figure 2.2, le dispositif peut se décomposer en trois parties majeures :

- le musclomètre, est en fait une lame de métal recourbée (en forme de U), courbure sur laquelle est fixée la jauge de contrainte. Cette jauge fonctionne comme un pont de Wheatstone et permet de mesurer la « force » produite lorsque l'on exerce une pression de fermeture sur l'extrémité de la tige de métal en transformant une pression physique en tension électrique. Sans aucune pression le « U » est ouvert et la force est nulle. Dans notre cas, cette jauge mesure la force que peut exercer un juvénile. En effet, la coquille est placée à l'extrémité du « U » à une distance fixe du bord hors de l'eau. En essayant de fermer ses valves, elle génère donc une force qui est proportionnelle à ses possibilités ou encore proportionnelle à sa vitalité.

- Un boîtier d'acquisition de données qui permet de recevoir et de mémoriser les signaux électriques créés par la jauge de contrainte. Sur les huit entrées possibles, une seule est nécessaire par musclomètre, ce dispositif électronique comprend donc une mémoire et une batterie lui permettant de fonctionner en autonome, in situ si besoin est.

- Un micro-ordinateur muni du logiciel *mémo* (SA Micrel, à Hennebont) permet de contrôler le boîtier d'acquisition de données (mise en route, réétalonnage, arrêt), mais également de traiter le signal reçu soit en continu ou de manière différée. Le logiciel nous permet également de visualiser sous forme de courbe le résultat de l'expérience, c'est à dire de tracer la force de pression (= force de fermeture des deux valves) exercée par la coquille Saint-Jacques en fonction du temps.

A ces trois parties principales, s'ajoutent :

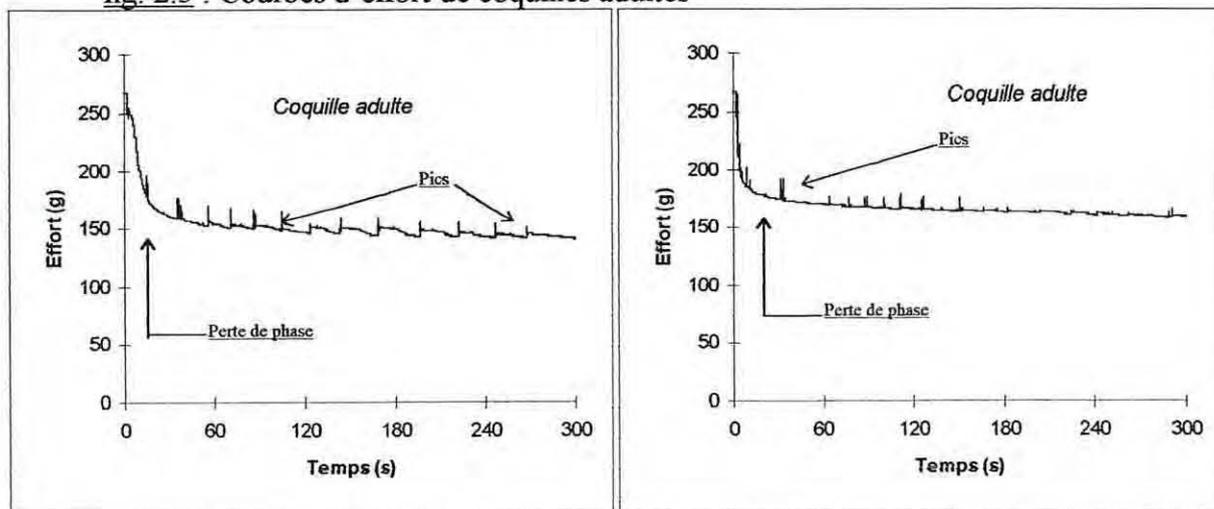
- Un potentiomètre permettant de calibrer la jauge de contrainte à un signal électrique minimal pouvant être mesuré.

- Un crayon optique qui permet de lire les données mémorisées dans le boîtier d'acquisition. Il permet ainsi d'effectuer la liaison entre l'ordinateur et le boîtier (pour la mise en route, par exemple) et, inversement, entre le boîtier et l'ordinateur pour le transfert des données.

2.3. Essais

Pour se familiariser avec ce dispositif nous avons dans un premier temps expérimenté le musclomètre sur des coquilles adultes (cf. fig 2.3.).

fig. 2.3 : Courbes d'effort de coquilles adultes



L'allure des courbes obtenues nous a permis de mettre en évidence deux phénomènes :

- d'une part la perte de phase ou de la force du muscle adducteur
- et d'autre part l'apparition de pics à intervalles plus ou moins réguliers.

Dans le but de déterminer plus précisément le rôle des deux muscles dans ces deux phénomènes nous avons décidé de sectionner l'un des deux muscles et d'analyser les courbes obtenues.

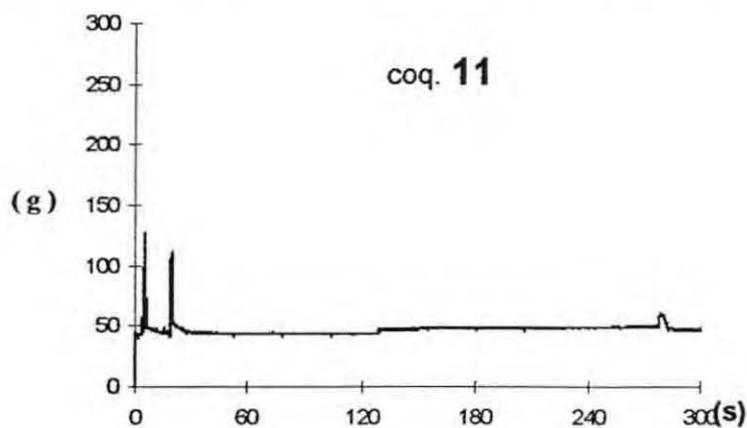
Les sectionnements étant réalisés un peu en aveugle, n'ont été conservés (après vérification à la fin de l'expérience) que les résultats pour lesquels un seul muscle est resté intact.

L'analyse de ces premiers résultats nous permet donc de déterminer la fonction des deux muscles chez la coquille St-Jacques.

En effet, lorsque l'on sectionne le muscle lisse (cf. fig. 2.31) on constate que la coquille continue à « clapper » mais elle ne peut plus se maintenir fermée.

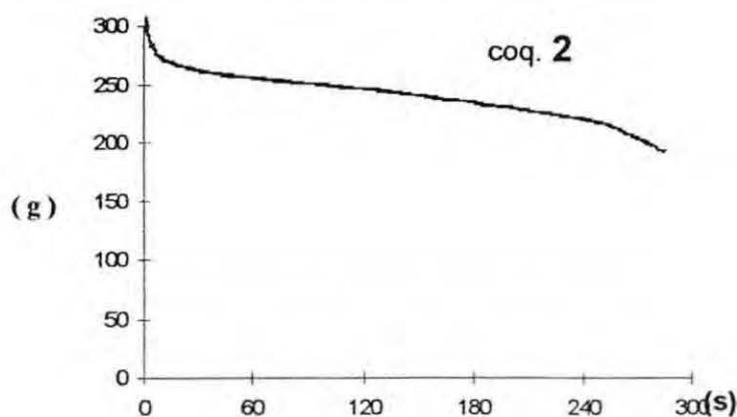
La courbe correspondante présente un plateau très bas (perte du tonus) ponctuée de quelques pics (contraction du muscle strié).

fig. 2.31 : Courbe d'effort du muscle strié seul (muscle lisse sectionné)



Par contre en sectionnant le muscle strié sans sectionner le muscle lisse (cf. fig.2.32), on remarque que la coquille peut se maintenir fermée (maintien d'un plateau) mais elle semble désormais incapable de clapper (plus d'obtention de pics).

fig. 2.32 : Courbe d'effort du muscle lisse (muscle strié sectionné)



Par conséquent, les deux muscles ont chacun un rôle bien différent et peuvent donc ainsi traduire deux aspects de la santé des coquilles :

- le muscle strié permet, grâce à ses possibilités de réactions rapides (clappements) de se déplacer rapidement et de fuir devant un prédateur, il stocke l'énergie rapidement disponible caractérisant la « vitalité » des coquilles.

- le muscle lisse permet donc de maintenir fermées ses deux valves, la protégeant ainsi contre la pénétration d'un bras d'échinoderme (étoile de mer) par exemple, c'est à dire de stocker de l'énergie lente phasique caractérisant cette fois la « santé générale ».

D'après ces expériences, on peut également bien préjuger de la fiabilité du musclomètre, les réponses obtenues étant bien :

- reproductibles : pour un même muscle sectionné les courbes obtenues sont comparables.

- significatives : quand on réalise une section de l'un des deux muscles on obtient une réponse particulière.

3 - CREATION D'UNE GAMME DE RÉFÉRENCE

Dans le but de quantifier la vitalité des coquilles avant le semis à l'aide du musclomètre, essayons de déterminer des réponses types générées par le muscle adducteur en fonction de quatre stress différents. On obtiendra ainsi quatre qualités A, B, C et D qu'il faudra ensuite analyser.

3.1. Quelles références de qualité ?

Pour obtenir différentes qualités standards, il faut un stress facilement reproductible, il a été décidé parmi les nombreux stress possibles (variation de la température, de la salinité de l'eau de mer...) d'utiliser l'émersion hors de l'eau [MAGUIRE, 1995].

En espérant, obtenir quatre réponses bien différentes les expériences s'effectueront avec des coquilles issues d'un même lot origine (lot réputé sain et sans problème) :

- sans temps d'émersion des coquilles = **qualité A**
- après 3 heures d'émersion = **qualité B**
- après 6 heures d'émersion = **qualité C**
- après 12 heures d'émersion = **qualité D**

Compte tenu des variations inter-individuelles, vingt coquilles ont été utilisées par qualité.

3.2. Forme des résultats

Les résultats que l'on obtient se présentent donc sous forme de graphe indiquant la force du muscle adducteur de la coquille étudiée en fonction du temps. Voici, par exemple la courbe obtenue pour la coquille 3 de la qualité A. (cf. fig. 3.2)

fig. 3.2 : Courbe obtenue avec le logiciel Mémo après expérience (Coquille n°3 q.A)

Paramètres 'Muscle Lisse' (maintien de la phase)

Force maximale

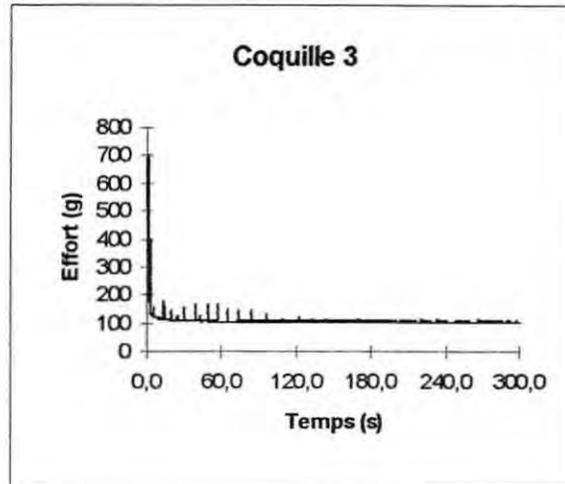
Force moyenne

T 90

Hauteur du plateau

Durée du plateau

Coefficient de fatigue



Paramètres 'Muscle Strié' (caractéristiques des pics)

Hauteur des 10 pics maxi

Nbre de pics en 1 minute

Nbre de pics en 5 minutes

Coefficient de fatigue

A l'aide de l'analyse de ces courbes (cf. Annexe 1), et des premiers essais réalisés avec le musclomètre, on a essayé de déterminer des indicateurs ou paramètres de santé des coquilles qualitatifs mais surtout quantitatifs. Nous en sommes arrivés à définir des paramètres spécifiques du maintien de la phase (muscle lisse) et d'autres plus spécifiques des pics (muscle strié).

Pour caractériser le muscle lisse, on utilise la force maximale, la force moyenne, le T90 (temps nécessaire pour perdre 90 % de la force initiale), ou encore la hauteur du plateau et sa durée.

En ce qui concerne le muscle strié, on a retenu, la hauteur des dix pics les plus importants, le nombre de pics en 1 minute, et en 5 minutes et un coefficient de fatigue représenté par la pente de la droite : Nbre cumulé de pics = f(temps).

Ces paramètres ont été répertoriés dans les annexes pour 20 coquilles dans chaque qualité A, B, C et D (cf. Annexe 2).

A partir des données expérimentales, on peut se demander s'il existe des différences notables entre nos 4 qualités et essayer de déterminer quel est le ou les paramètres montrant le mieux ces différences de « vitalité » des coquilles.

3.3. Analyse qualitative

Dans un premier temps, nous avons essayé de caractériser qualitativement les courbes d'effort obtenues après expérience. On a pour cela défini des types de tendances pour chacun des deux muscles. Voici un tableau synthèse de cette analyse par qualité :

Tableau 3.3 : Synthèse qualitative des résultats

		QUALITES			
		A	B	C	D
TONUS [1]					
A		19	1		
B					
C					
D		1	19	20	20
E					
PICS [2]					
0		2	2	10	1
PS		12	3		2
PM					
PD		1	3	4	13
PR		1	7	3	3
PS/PD		1	2	2	1
PS/PM				1	
PS/PR		1	3		
PD/PR		1			
PD/PR/PS		1			

← Nombre de coquilles

[1] Maintien du Tonus :

Type	Caractéristiques
A	maintien permanent
B	maintien long (> 1 mn)
C	maintien intermittent
D	maintien court (< 1 mn)
E	maintien nul (baisse +/- immédiate)

[2] Forme des pics :

Type	Caractéristiques
0	pas de pic
PS	pic simple (<i>m.strié</i>)
PM	pic multiple (<i>m.strié</i>)
PD	pic avec descente progressive (<i>légère synergie du m. lisse</i>)
PR	pic avec remontée et plateau (<i>reprise du tonus du m. lisse</i>)

En ce qui concerne le muscle lisse, on a étudié la forme générale de la courbe en caractérisant l'aspect du maintien du tonus.

Pour le muscle strié qui est responsable des clappements des valves, on a étudié qualitativement le nombre et la forme des pics obtenus.

* Muscle lisse :

L'analyse de ces données nous indique que les coquilles de la qualité A maintiennent de façon permanente un tonus d'environ 100g pendant la durée de l'expérience (19 coquilles sont caractérisées par le type A). Alors que les coquilles des autres qualités ont un tonus avoisinant les 20g (pour la qualité C et D, les 20 coquilles présentent le type D).

* Muscle strié :

Il est plus difficile de trouver des différences notables entre les qualités pour le muscle strié, le tableau 3.3 étant assez homogène. En effet, l'aspect des pics ne semble pas être différent pour les quatre qualités.

3.4. Analyse quantitative

Au delà des résultats obtenus de manière qualitative nous avons cherché à faire une analyse quantitative des informations données par les courbes.

Avec 20 coquilles par lots, ces derniers paraissent d'une taille suffisante pour un traitement statistique. Pour ce faire, on a utilisé le logiciel STATGRAPHICS (cf. Annexe 3).

Travaillant sur la distribution de valeurs biologiques autour d'une moyenne, on peut faire l'hypothèse d'une distribution normale pour les valeurs obtenues pour chaque paramètre.

Il faut dans un deuxième temps vérifier si les variances sont comparables (vérifier l'homocédasticité). On a donc réalisé un test de Hartley. Le résultat de ce test nous indique que l'on dispose bien d'une seule population de coquilles (cf. Annexe 3.A).

Grâce à cette hypothèse de normalité et à l'homocédasticité, on va pouvoir effectuer une analyse de variance et étudier ainsi l'impact du temps d'émersion, ou qualité, sur les différents paramètres (cf. Annexe 3.B). On a donc émis deux hypothèses pour chaque paramètre défini lors de l'analyse des courbes d'effort :

- H_0 : les lots de coquilles sont comparables (test non significatif).
- H_1 : les lots sont différents (test significatif) : la différence de durée d'émersion modifie significativement les résultats observés entre les qualités.

Les résultats de ces analyses de variances se trouvent synthétisés dans la tableau suivant :

Tableau 3.4 : Synthèse de l'analyse de variance entre les qualités :

Interactions entre les Qualités	Biométrie Index de condition [1]	Tonus (muscle lisse)						Pics (muscle strié)			
		Durée du plateau	Hauteur du plateau	Coef. fatigue	T 90	Force maximale	Force moyen.	Hauteur moyenne des 10 pics	Nombre de pics pdt la 1ère minute	Nombre de pics en 5 mn	Coef. de fatigue
A - B	NS	***	***	NS	***	***	***	***	NS	*	*
A - C	NS	***	***	NS	***	***	***	***	**	***	**
A - D	NS	***	***	NS	**	***	***	***	**	***	**
B - C	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
B - D	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	*	*
C - D	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	*	NS	NS	NS

NS = Test non significatif

* = Test significatif (95 %)

** = Test très significatif (99 %)

*** = Test hautement significatif (99,9 %)

[1] = Pour vérification : l'index de condition est bien indépendant des qualités

L'étoile indique qu'il existe une différence significative entre les résultats obtenus en comparant deux qualités. Par exemple, les résultats obtenus pour la durée du plateau diffèrent significativement (99,9 %) entre la qualité A et la qualité B ainsi qu'entre A et C et entre A et D mais pas entre B, C ou D. On peut donc ainsi en conclure qu'il existe une différence significative entre A et le groupe B, C et D (cf. Annexe 3.C).

L'analyse de variance effectuée pour l'index de condition a été réalisée dans le cadre d'une vérification d'homogénéité des 4 lots de coquille avant le stress.

En analysant ce tableau mais surtout les graphes des moyennes (cf. Annexe 3.D), on remarque bien qu'il existe des différences notables mais pas toujours significatives des résultats entre les qualités.

En ce qui concerne le muscle lisse, il est facile de constater que les coquilles n'ayant pas subi d'émersion (qualité A) se différencient très nettement de celles qui ont subi une émersion de 3 heures et plus. En effet, quelque soit le paramètre choisi (durée du plateau ou force moyenne, par exemple) une différence significative est observée entre la qualité A et les autres. Ces coquilles qui n'ont pas subi d'émersion semblent donc avoir une énergie lente (tonus) de leur muscle lisse nettement meilleur par rapport à celles qui ont subi une émersion (qualités B, C et D).

Il semble plus difficile de différencier significativement les trois autres qualités entre-elles. Cependant, en prenant comme exemple la force maximale, on peut remarquer une décroissance de celle-ci pour un temps d'émersion croissant (qualités décroissantes).

⇒ La force moyenne sur 5 minutes paraît donc le meilleur paramètre pour caractériser la santé générale des juvéniles, au niveau du muscle lisse particulièrement entre des coquilles vigoureuses (qualité A) et des animaux plus faibles (qualités B, C et D).

En analysant les résultats statistiques concernant les paramètres relatifs au muscle strié, on peut remarquer que ces derniers semblent être les mieux représentatifs de la « vitalité » des coquilles. En effet, les différents graphes des moyennes nous montrent, bien que les différences ne soient pas statistiquement significatives, une réelle décroissance dans les valeurs des paramètres (nombre de pics en 1 ou 5 minutes) quand le temps d'émersion augmente. Le nombre de pics semble donc être un bon paramètre déterminant la vitalité des coquilles. A l'aide de ce nombre cumulé de pics obtenu pendant les 5 minutes de l'expérience, on a effectué par coquille une ANOVA sur les pentes : Nombre cumulé de pics en fonction du temps. La pente obtenue pour chaque droite nous permet de quantifier plus ou moins précisément la fatigue du muscle strié. On constate très nettement une diminution de cette pente de la qualité A à la qualité D. Le fait qu'il y ait une décroissance dans le nombre de pics sur 5 minutes induit que les coquilles ayant subi une émersion de 12 heures ont un muscle strié très « fatigué » par rapport à celles qui n'ont pas subi d'émersion.

⇒ Pour caractériser cette fois-ci la vitalité des coquilles et plus particulièrement la vitalité du muscle strié, on peut retenir comme paramètre la pente de la droite de régression : Nombre cumulé de pics = fonction (temps) sur 5 minutes.

4 - DISCUSSION

A ce niveau de l'étude, quelques remarques peuvent être soulevées concernant l'utilisation d'un tel prototype pour qualifier mais surtout quantifier la vitalité des juvéniles de coquilles Saint-Jacques avant le semis.

En effet, dans un premier temps, on peut se demander dans quelle proportion le muscle adducteur représente-t-il la coquille ? Sachant que ce dernier occupe la majeure partie du volume de la coquille est-il un bon indicateur de vitalité ? Un début de réponse peut-être donné par le fait que ce muscle permet la nage et l'enfouissement des coquilles, il intervient également dans le stockage d'énergie. Il paraît donc actuellement jouer un rôle suffisamment prépondérant pour être utilisé comme étant le meilleur organe représentatif de cette vitalité.

Plus précisément, on peut se demander quelle est la part jouée par le muscle lisse par rapport au muscle strié dans la vitalité des juvéniles. L'un des deux aurait-il une plus grande importance ? Les quelques essais réalisés dans cet objectif nous ont permis de caractériser le muscle lisse par la décroissance générale de la courbe et le muscle strié par le nombre de pics. Le muscle lisse interviendrait donc lors d'un effort soutenu nécessitant de l'énergie lente contrairement au muscle strié qui serait adapté à un effort rapide nécessitant de l'énergie facilement disponible. Ce ne sont là que des hypothèses que nous avons émises mais elles restent néanmoins à l'état d'hypothèse.

Après ces quelques précisions sur le matériel biologique, venons en donc maintenant au musclomètre. Ce dispositif expérimental nous a permis d'étudier la réaction du muscle adducteur des juvéniles en fonction d'un stress bien spécifique. Ce prototype est relativement bien adapté à de telles études, en effet, la rigidité de la lame entraîne des réponses facilement analysables et surtout non atténuées. Un musclomètre plus souple serait sans doute plus facile à introduire dans la coquille mais fournirait-il des résultats aussi précis ?

En ce qui concerne maintenant l'étude des courbes et l'analyse statistique, les problèmes que nous avons rencontrés concernent la force initiale et le traitement des courbes.

En effet, il nous semble difficile de distinguer dans les premières secondes de l'expérience la force initiale vraiment exercée par la coquille de la force impliquée par la main du manipulateur lors de l'introduction du musclomètre dans la coquille. Un début d'enregistrement après introduction du musclomètre entre les valves induirait une perte d'information concernant la 'vitalité initiale' de la coquille. En revanche un début d'enregistrement avant l'introduction du musclomètre permet difficilement de faire la différence entre la force de la coquille et celle de la main.

Le traitement des courbes, bien que relativement simple nécessiterait quant-à lui, par gain de temps, un traitement automatique du signal. Ce traitement serait également facilité en ne conservant que les paramètres les plus intéressants pour mesurer la vitalité des juvéniles (force moyenne, par exemple).

L'étude statistique que nous avons réalisée par la suite à partir des différents paramètres nous a permis à l'aide de 20 coquilles étudiées de dissocier assez nettement la vitalité des coquilles de la qualité A (sans émergence) des coquilles ayant subi une émergence (qualité B, C et D). En revanche, il nous est plus difficile de séparer entre-elles les qualités B, C et D, néanmoins une décroissance non significative de la vitalité est observée. On peut cependant supposer que le traitement de 30 coquilles au lieu des 20 expérimentées nous aurait permis de distinguer significativement cette décroissance de vitalité quand le temps d'émergence augmente de la qualité B à la qualité D. En augmentant le nombre de coquilles analysées, on diminuerait ainsi l'écart type.

Il faut cependant souligner le fait que le musclomètre nous a permis de mettre en évidence une perte de vitalité dès que les juvéniles subissent une émergence. Il est donc conseillé au vu de ces expériences d'éviter avant le semis une émergence si l'on veut obtenir les meilleures chances de survie. La solution actuellement retenue, à savoir le transport des juvéniles de Saint-Brieuc à Brest avant le semis serait peut-être à revoir, d'autant plus qu'à l'émergence de 3 heures s'ajoutent un choc thermique et différents chocs occasionnés lors du transport.

CONCLUSION

Ces premiers essais du musclomètre, nous ont donc permis d'établir des réponses, plus ou moins identiques et spécifiques de chaque qualité déterminée.

Cet outil présente plusieurs avantages :

- il est assez sensible car on a réussi à mettre en évidence des différences significatives entre nos quatre lots de coquilles. Cependant, il ne faut pas oublier que l'on est en présence d'animaux, et que les lots ne sont pas homogènes. Les coquilles réagissent de façon individuelle.
- il est relativement simple d'utilisation, facilement transportable y compris en mer.
- il est non létal.
- et, mis à part le coût de la centrale d'acquisition de données (14 kF H.T.), il reste financièrement abordable.

Cependant, on pourrait encore l'améliorer. En effet, la cellule d'acquisition de données possède 8 possibilités de connexions : il serait donc possible d'y connecter plusieurs musclomètres. Le problème résiderait dans le fait qu'il faudrait étalonner chacun des musclomètres.

Parmi les améliorations, il serait également souhaitable d'effectuer un traitement automatisé des courbes sur seulement les critères les plus représentatifs de la santé générale (force moyenne) et de la vitalité (nombre de pics) des juvéniles avant le semis.

De plus, le musclomètre n'étant pas un outil létal, on pourrait envisager d'étudier la capacité de récupération des coquilles par traitements successifs après différents temps de récupération.

Dans une perspective d'avenir, l'utilisation d'un quartz grâce cette fois-ci à l'effet piézo-électrique ne serait-il pas plus fiable, plus précis, plus robuste que la jauge de contrainte que nous avons utilisée lors de ces expériences ?

BIBLIOGRAPHIE

BENINGER (P.G.), LE PENNEC (M.) .-1991,

Functionnal anatomy of Scallops

In : Scallops : Biology, ecology and aquaculture, éd par SHUMWAY (S.E.), ELSEVIR, USA,, p133-209.

BRICELJ (V.M.), SHUMWAY (S.) .-1991,

Physiology, energy acquisition and utilisation

In : Scallops : Biology, ecology and aquaculture, éd par SHUMWAY (S.E.), ELSEVIR, USA,, p305-347.

CHANTLER (P.D.) .-1991,

The structure and function of Scallop adductor muscle

In : Scallops : Biology, ecology and aquaculture, éd par SHUMWAY (S.E.), ELSEVIR, USA,, p225-304.

DERRIEN (A.) .-1995,

Utilisation d'un indice biochimique de vitalité au semis de juvéniles de coquilles Saint-Jacques

Rapport de stage de maîtrise de Chimie, 20p.

FLEURY (P.G.), DAO (J.C.) et coll. .-1992,

De la pêche à l'aquaculture : l'élevage de la coquille Saint-Jacques

Equinoxe n°38, mai 92.

MAGUIRE (J.) .-1995,

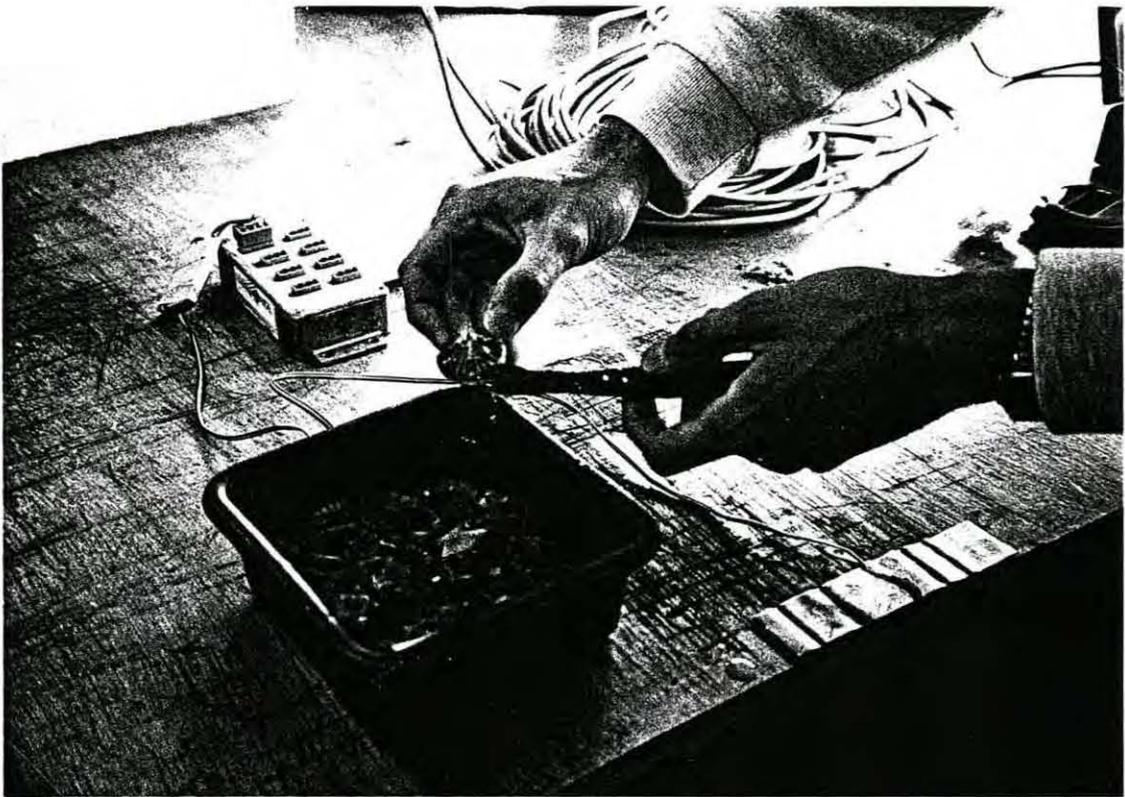
How to measure the quality of the juvenile Scallop *Pecten maximus* ?

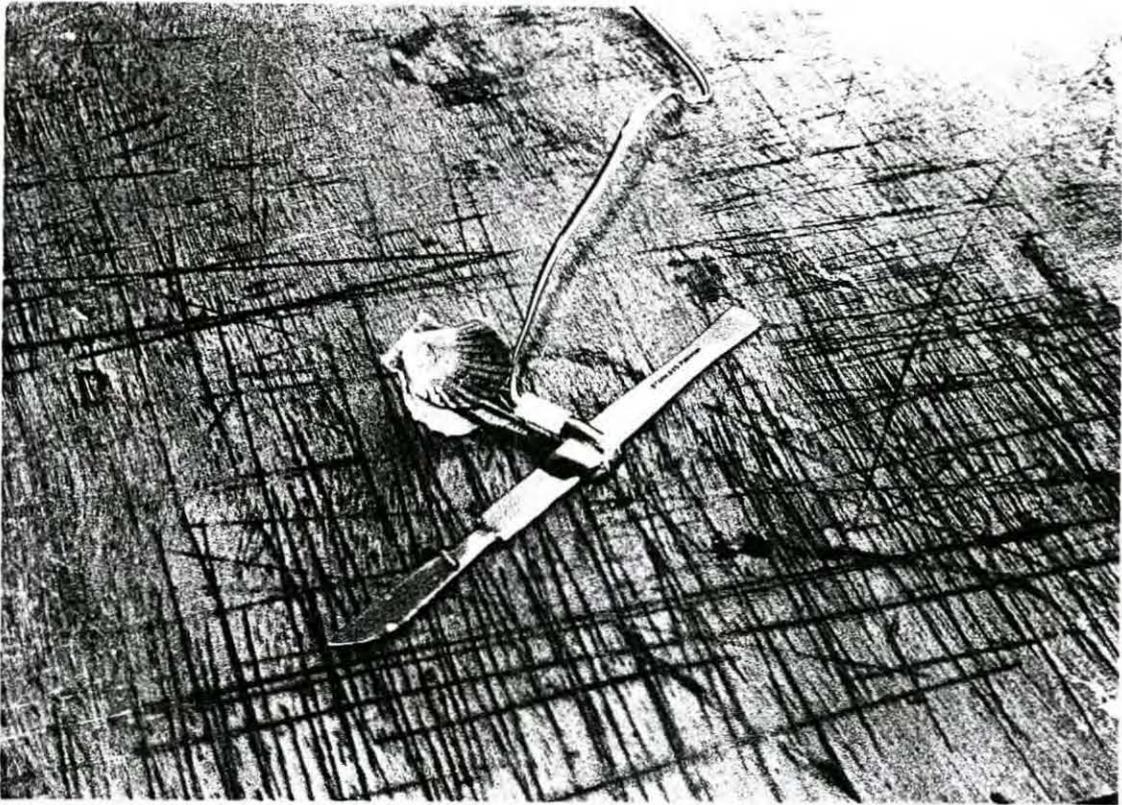
Rapport de stage.

Avant

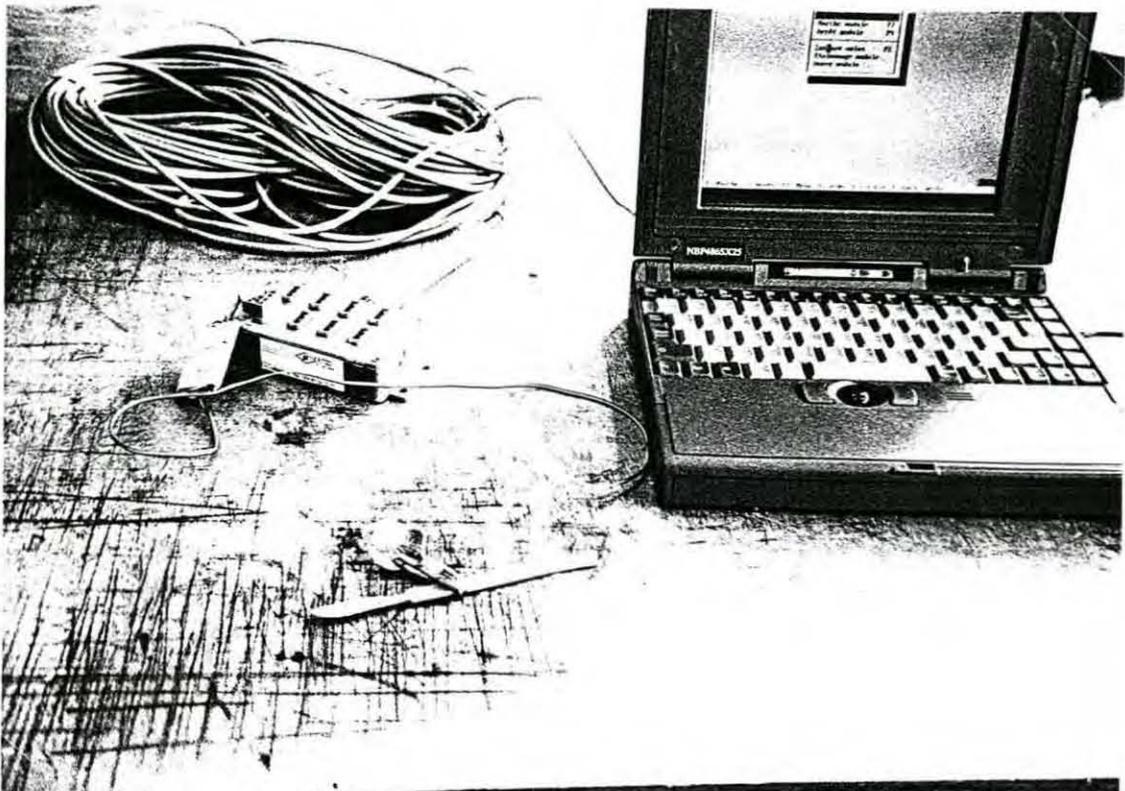
et

Après l'effort...





... Pendant l'effort.



**IFREMER Brest
Laboratoire Mollusques**

**Université de Bretagne Occidentale
UFR Sciences**

Eric CROGUENEC

MUSCLOMETRE

ANNEXES

Rapport de stage de Maîtrise du Milieu Marin (1995-1996)

SOMMAIRE

Annexe 1 : Résultats bruts ‘ Courbes d’effort des coquilles ’

<u>Annexe 1 A</u> : Qualité A	1
<u>Annexe 1 B</u> : Qualité B	4
<u>Annexe 1 C</u> : Qualité C	7
<u>Annexe 1 D</u> : Qualité D	10

Annexe 2 : Tableaux de synthèse ‘ Analyses des courbes ’

<u>Annexe 2 A</u> : Qualité A	13
<u>Annexe 2 B</u> : Qualité B	14
<u>Annexe 2 C</u> : Qualité C	15
<u>Annexe 2 D</u> : Qualité D	16

Annexe 3 : ‘ Analyse statistique des résultats ’

<u>Annexe 3 A</u> : Test de Hartley pour la biométrie	17
<u>Annexe 3 B</u> : Analyse de variance pour chaque paramètre	18
<u>Annexe 3 C</u> : Synthèse des interactions entre les 4 qualités	19
<u>Annexe 3 D</u> : Détail de l’analyse de variance par paramètre	20

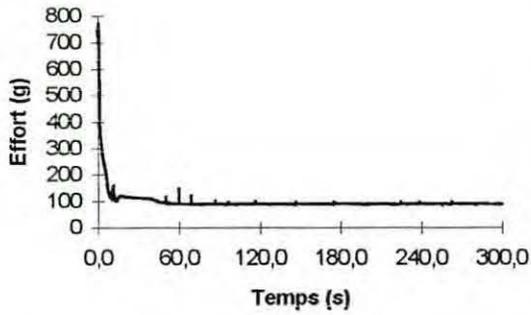
Annexe 1

Résultats bruts :

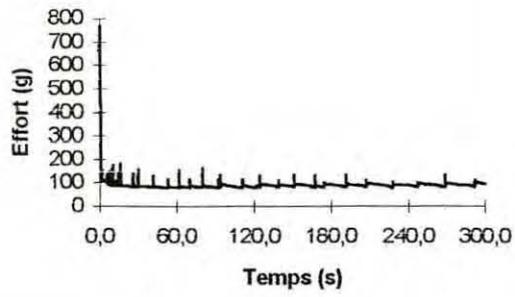
« Courbes d'effort des coquilles »

ANNEXE 1 A : 'Qualité A'

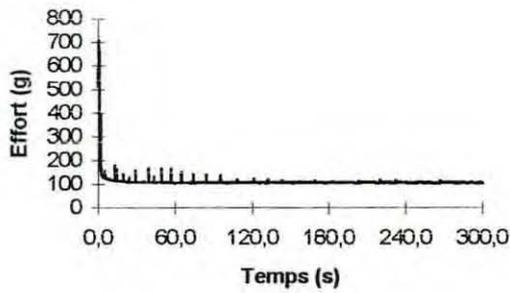
Coquille 1



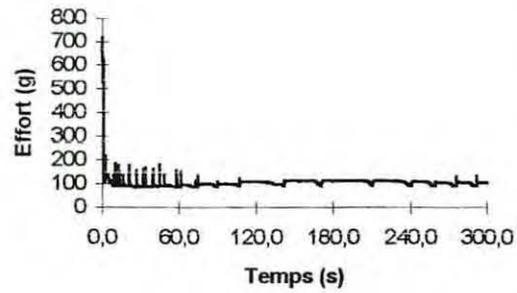
Coquille 2



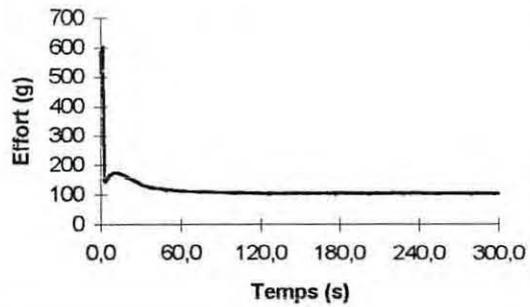
Coquille 3



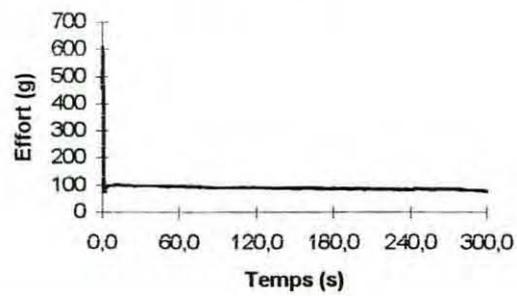
Coquille 4



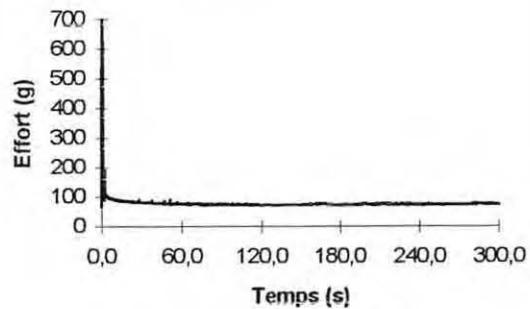
Coquille 5



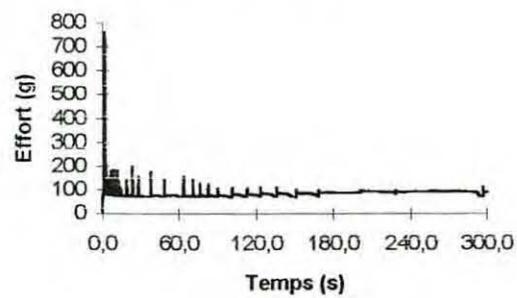
Coquille 6

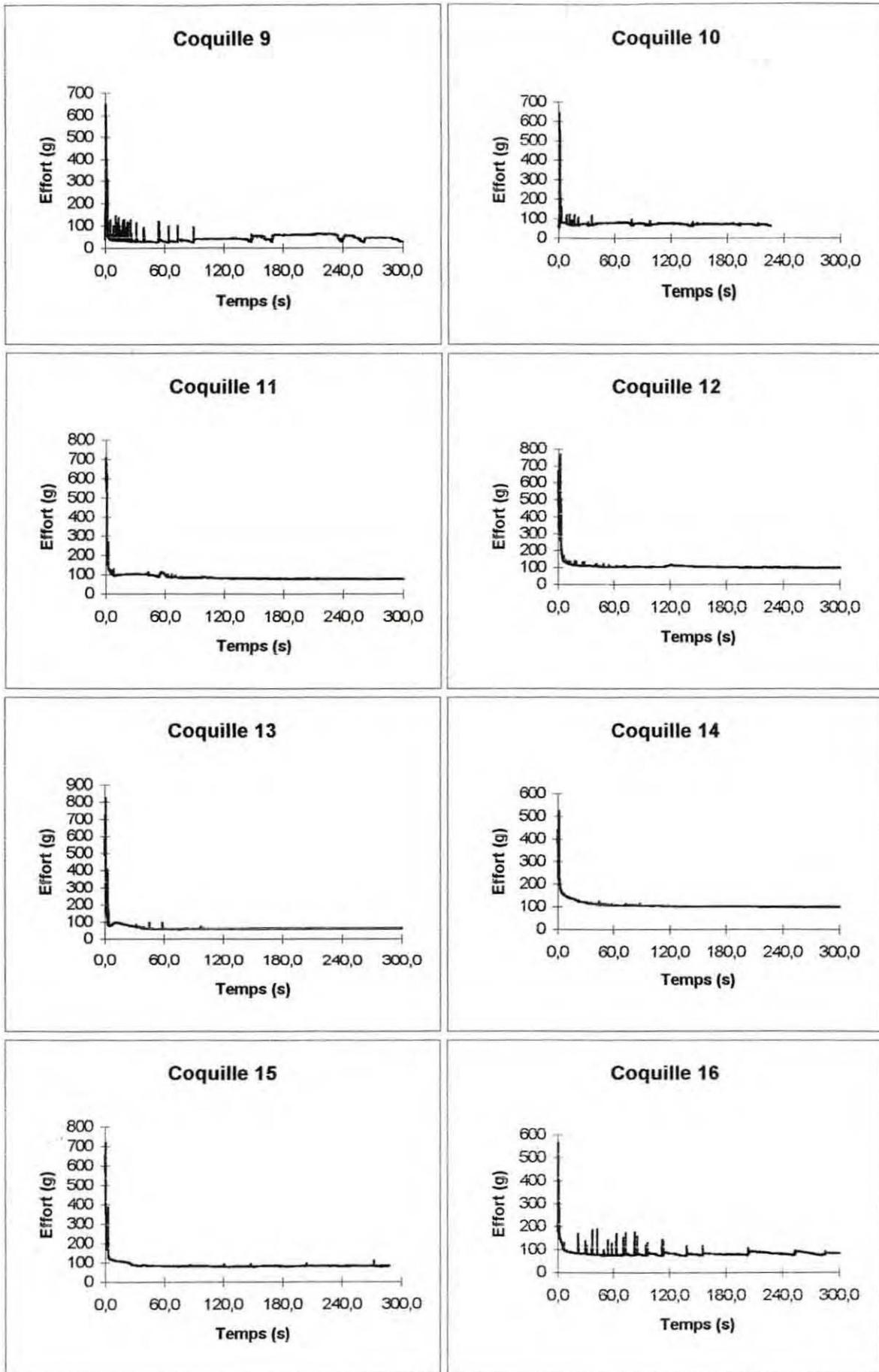


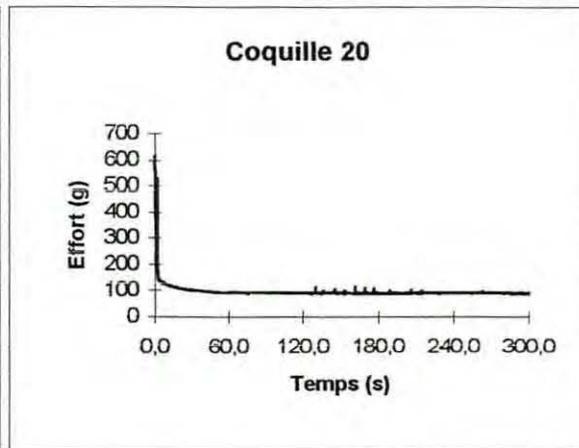
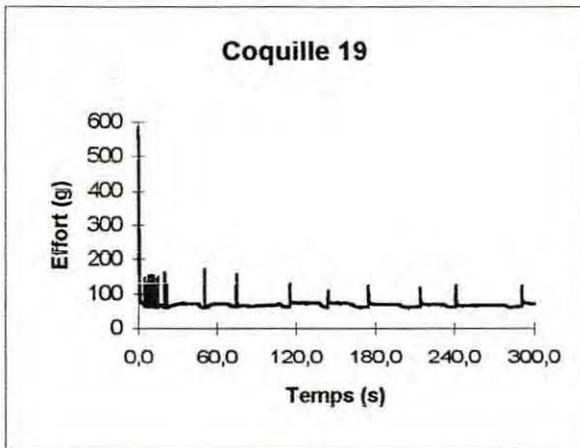
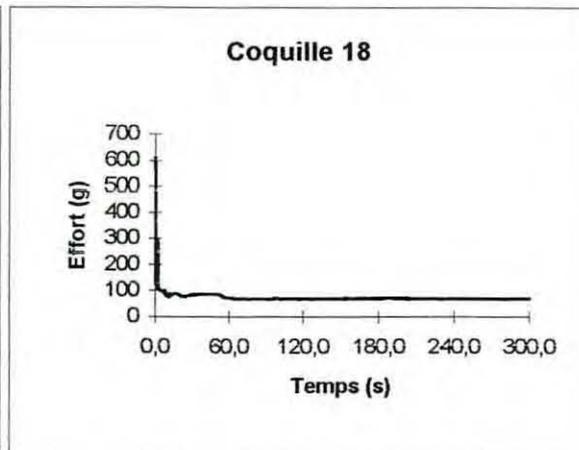
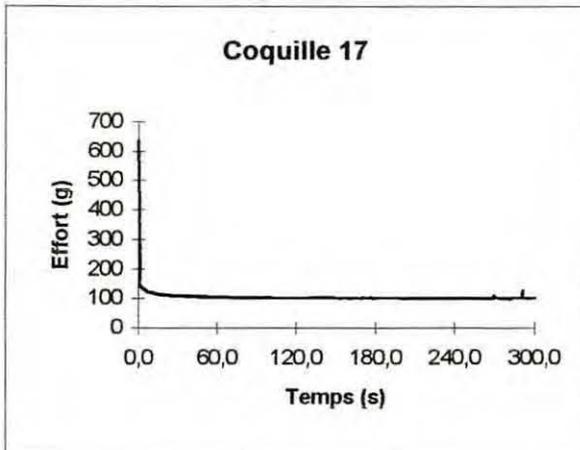
Coquille 7



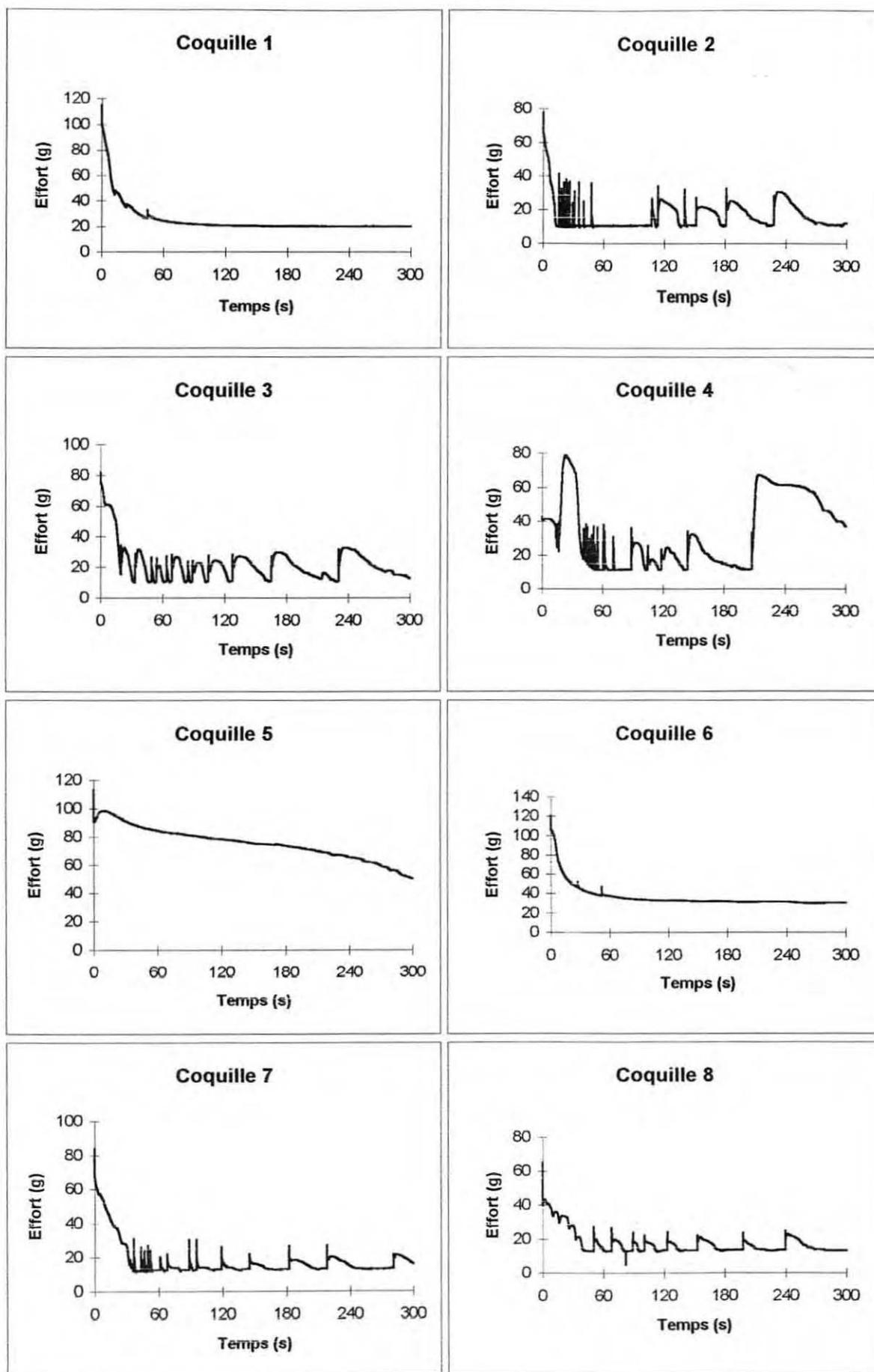
Coquille 8

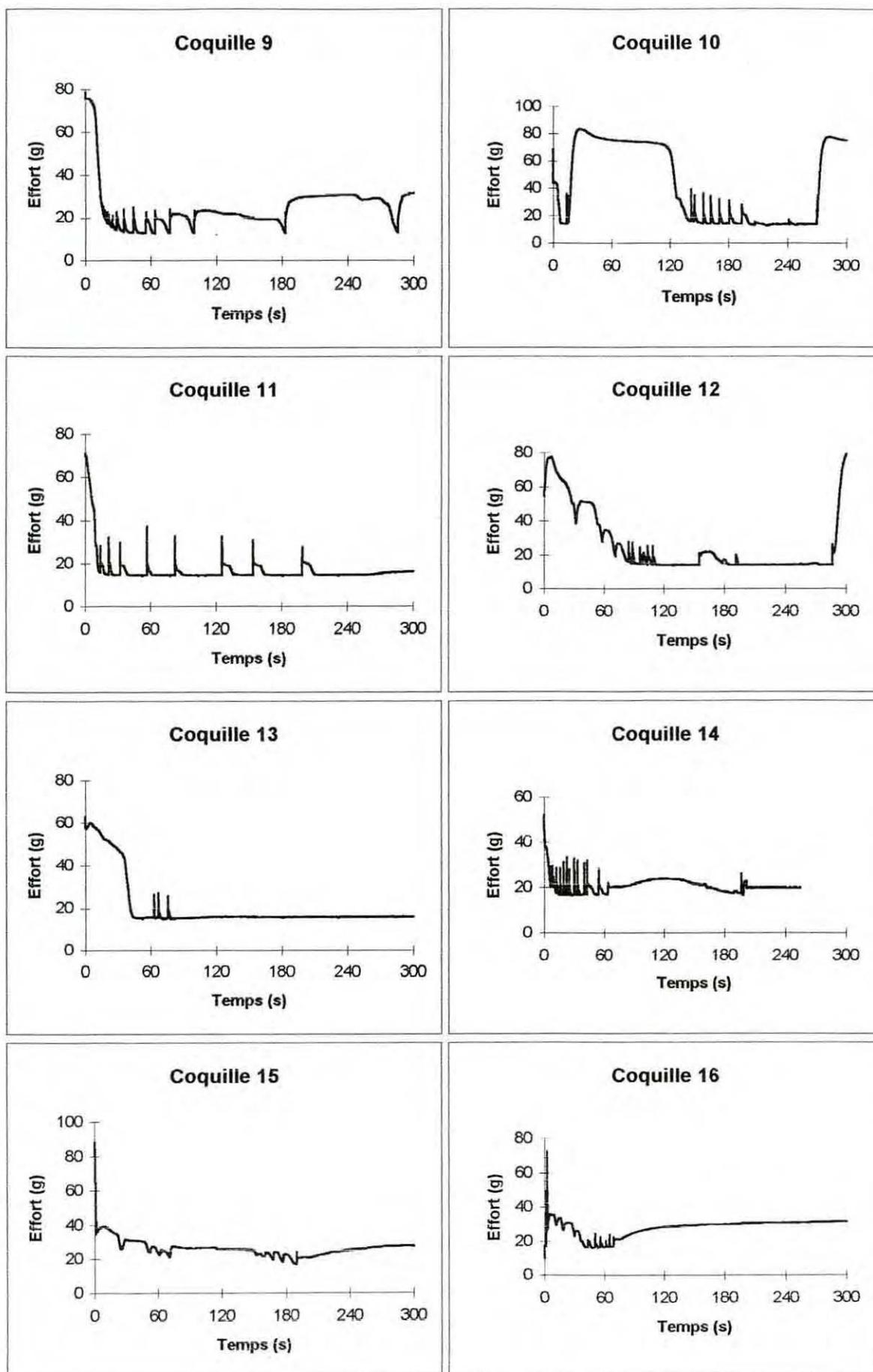


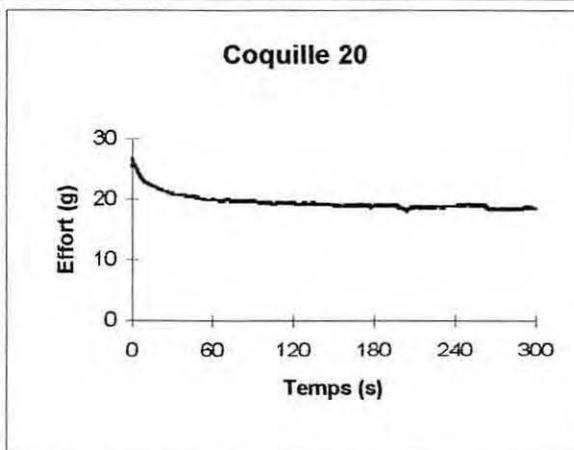
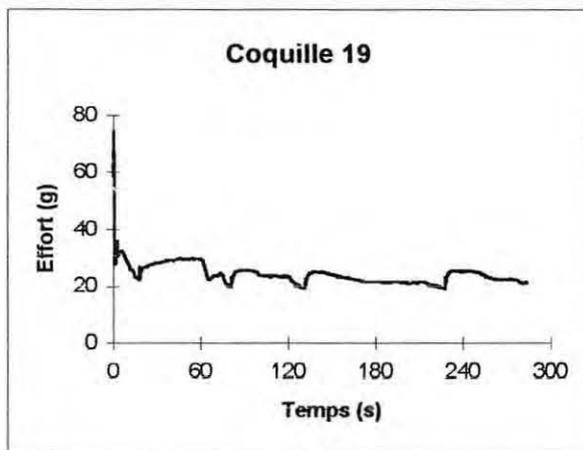
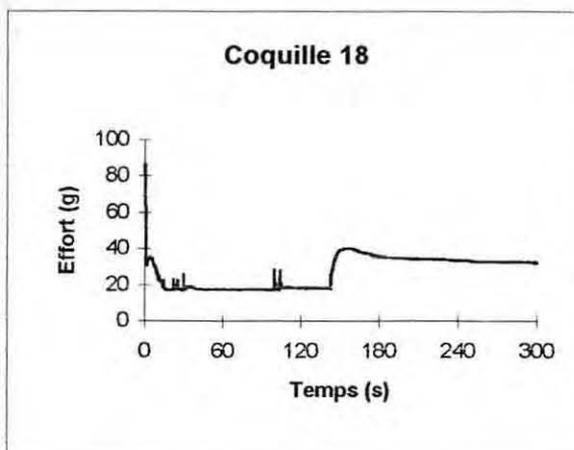
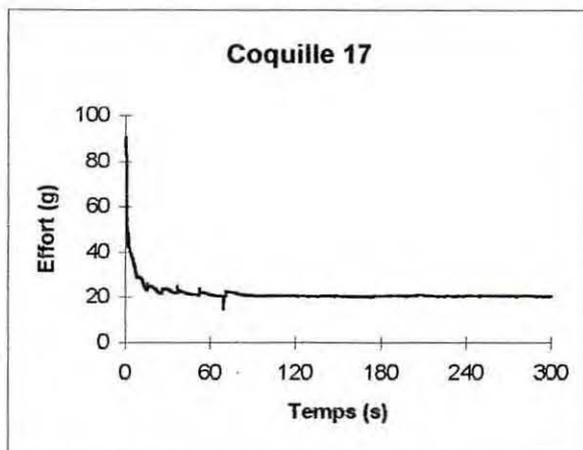




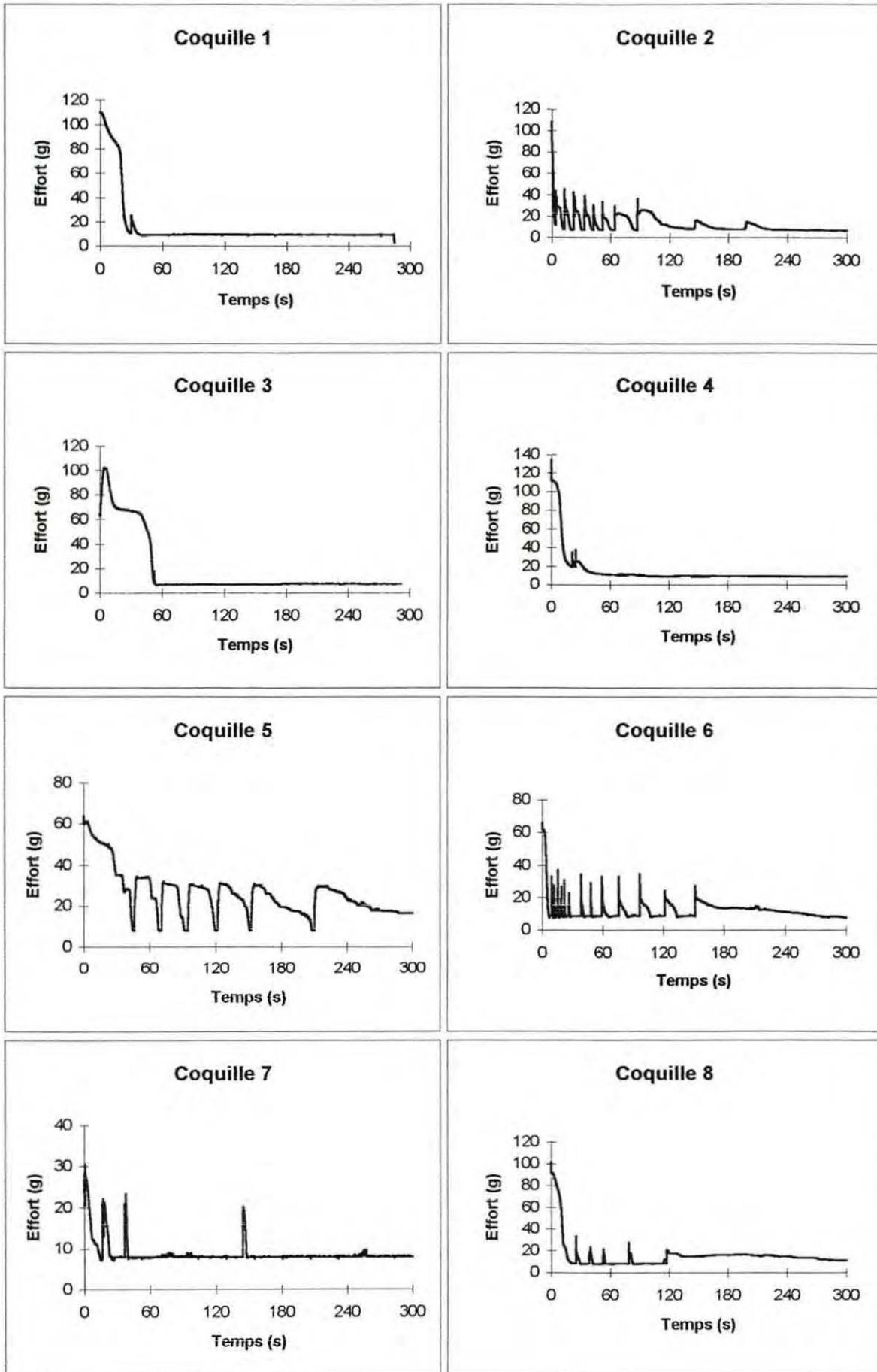
ANNEXE 1 B : 'Qualité B'

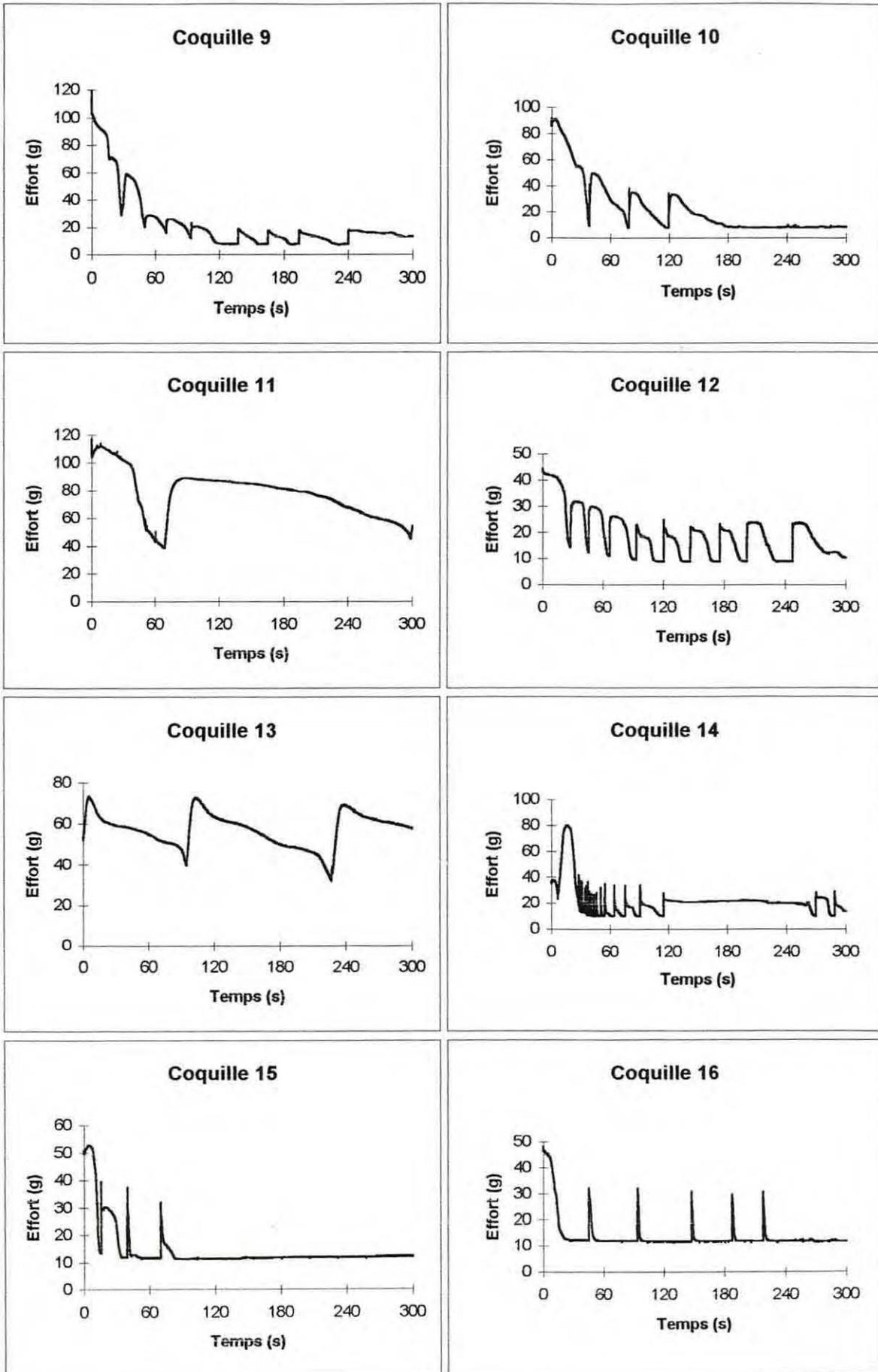


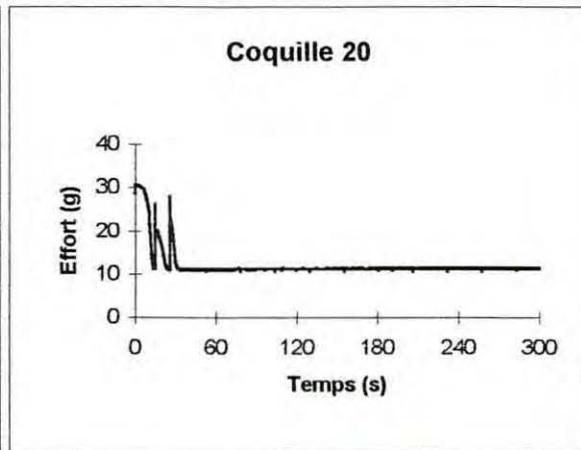
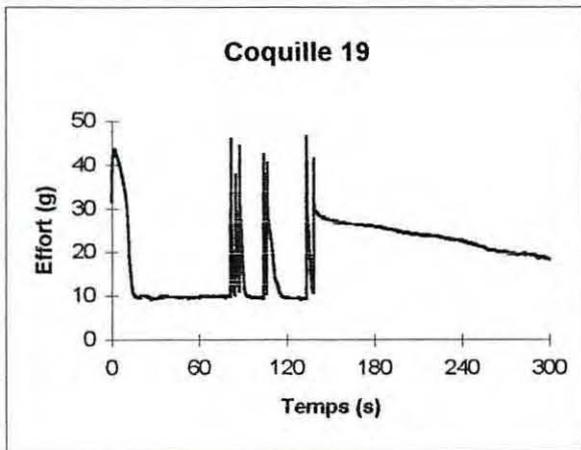
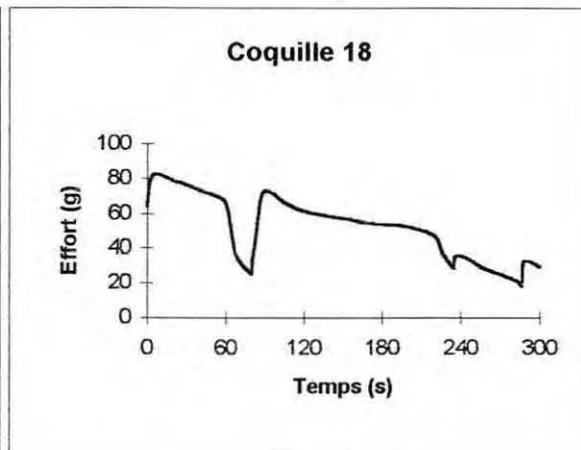
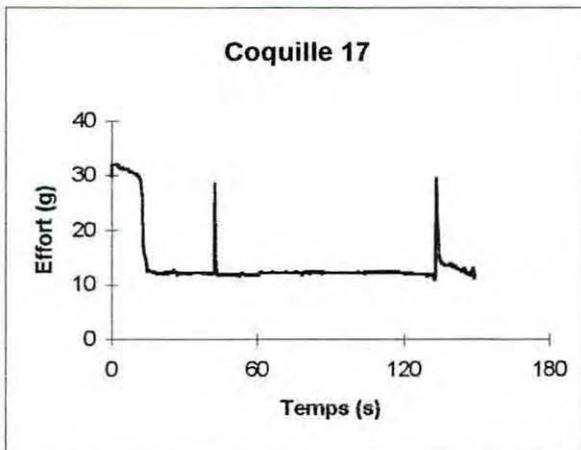




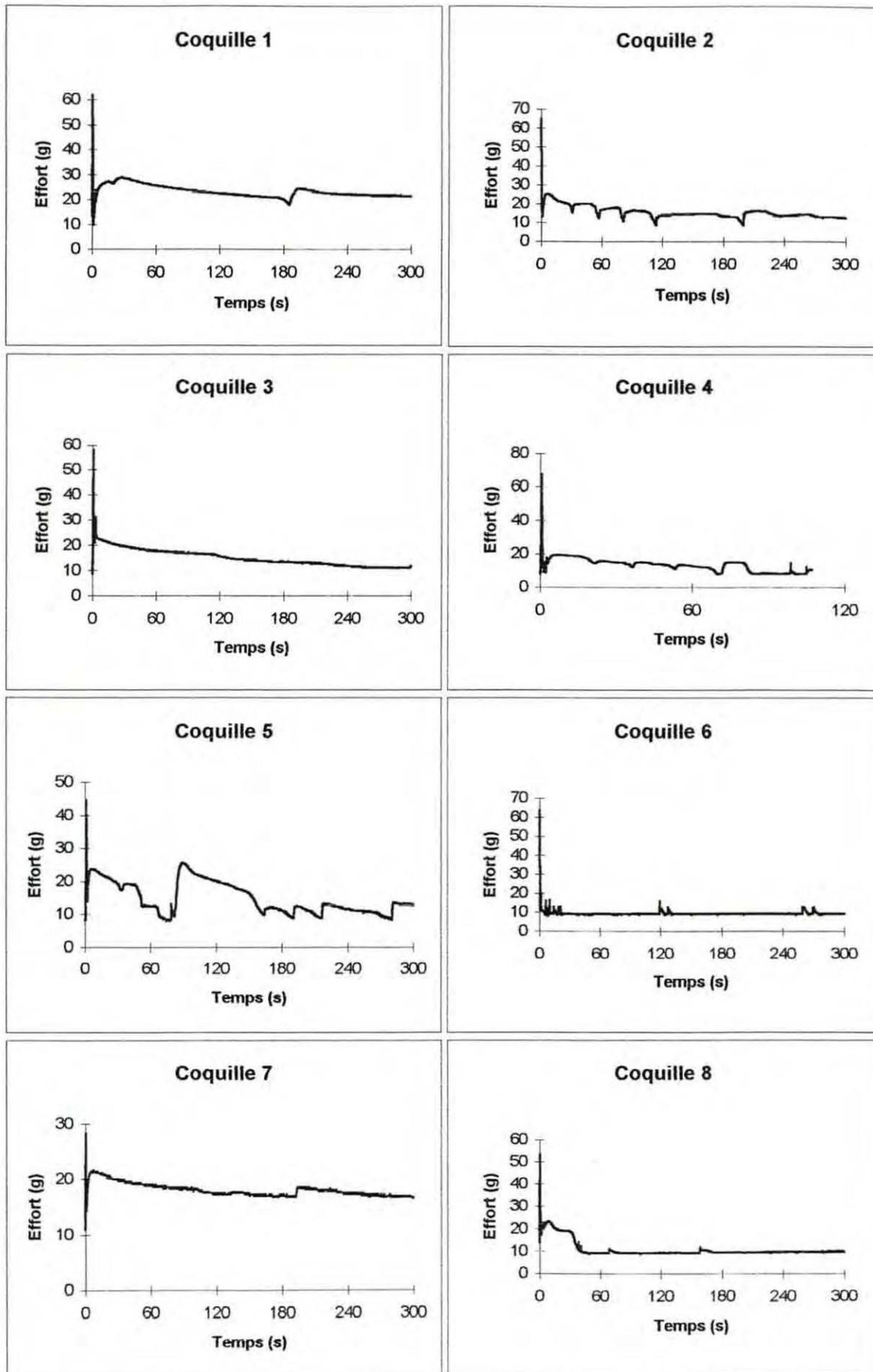
ANNEXE 1 C : 'Qualité C'

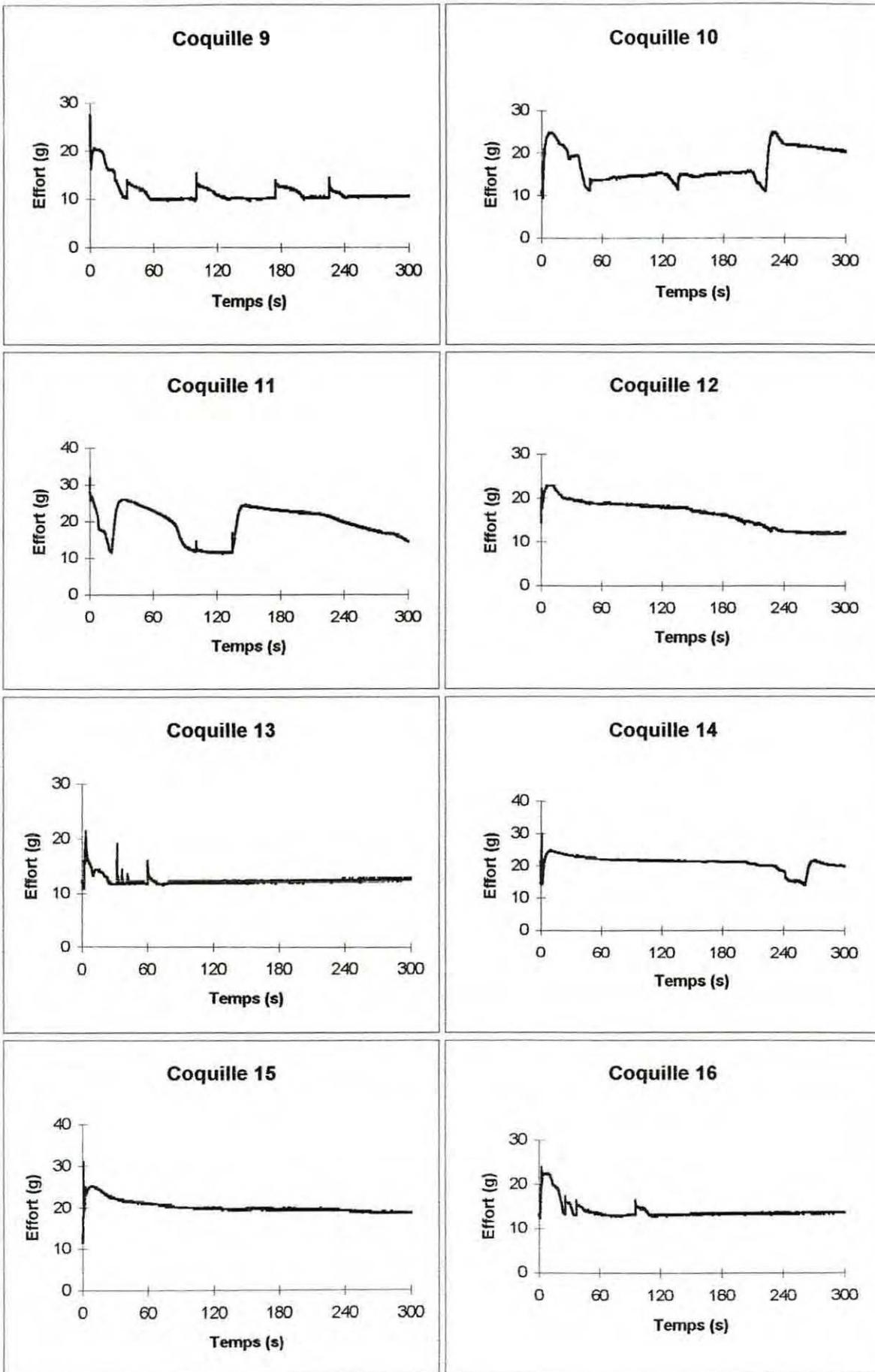


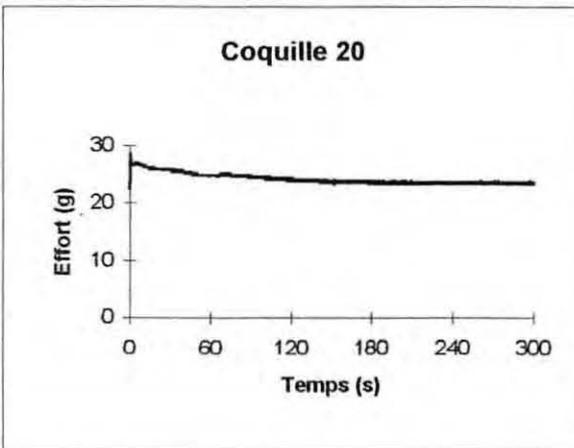
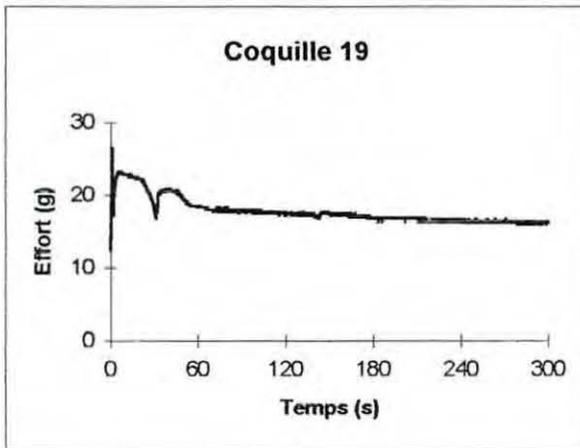
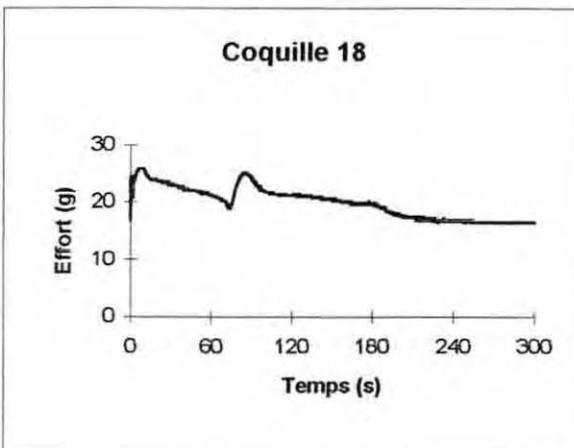
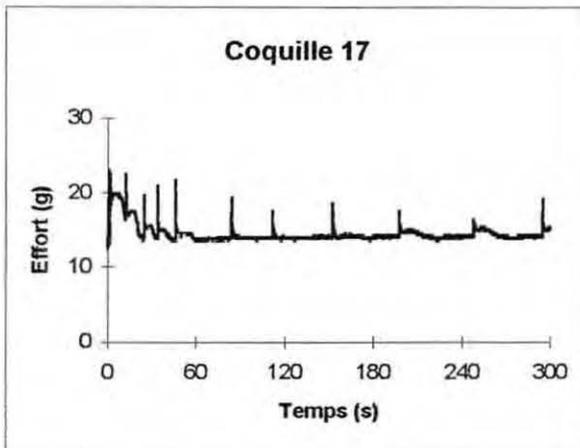




ANNEXE 1 D : 'Qualité D'







Annexe 2

Tableaux de synthèse :

« Analyses des courbes »

Annexe 3

« Analyse statistique des résultats »

ANNEXE 3 A : 'Test de Hartley pour la biométrie'

Dispositions nous d'une seule population initiale de coquille
avant le stress d'émersion pour la séparation
en 4 lots de différentes qualités ?
(vérification de l'homocédasticité)

	Index de condition
Paramètres	
Moyenne des carrés [1]	
A	0,322
B	0,341
C	0,321
D	0,290
Carré de la moyenne [2]	
A	0,320
B	0,339
C	0,319
D	0,289
Variance vraie [3]	
A	0,002
B	0,003
C	0,002
D	0,001
Test de Hartley	
F_{\max} [4]	2,495
$F_{\text{seuil}} = H_{0,005}^{ni-1=19}$ [5]	3,300
Bilan	$F_{\max} < F_{\text{seuil}}$
Résultat	*

* Test significatif = On ne dispose bien que d'une seule population de coquille

[1] = $(\text{Somme}(X^2)) / ni$

[2] = Moyenne ²

[3] = $((\text{Somme}(X^2)) / ni) - \text{Moyenne}^2$

[4] = Variance maximale / Variance minimale

[5] = Valeur critique du test de Hartley pour $\alpha = 0,05$ et 4 variances à comparer

" Les qualités influencent-elles les résultats ? "

Etude Statistique	Tonus (muscle lisse)						Pics (muscle strié)			
	Durée du plateau (s)	Hauteur plateau (g)	Force maximale (g)	Force moyenne (g)	T90 (s)	Coef, fatigue (10 ⁻³)	Hauteur moy, des 10 pics max, (g)	Nb pics pdt la 1ère mn	Nb pics en 5 mn	Coef. de fatigue (g)
SDC [1]										
Facteur	1281960,0	67389,9	5530861,3	70971,0	101131,3	25,5	13033,4	383,2	1288,2	38,9
Résiduelle	88920,0	10052,5	158443,8	12892,6	33105,3	671,4	23794,9	1914,7	4255,8	138,1
Total	1370880,0	77442,4	5689305,0	83863,6	43236,6	696,9	36828,3	2297,9	5544,0	177,0
ddl [2]										
Facteur : (K série - 1) (ici = 4 - 1)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Résiduelle : (N - K série) (ici = 80 - 4)	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0
Total : (N - 1) (ici = 80 - 1)	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0
Estimatⁿ de la variance (SDC/ddl)										
Variance factorielle	427320,0	22463,3	1843620,4	23657,0	33710,4	8,5	4344,5	127,7	429,4	13,0
Variance résiduelle	1170,0	132,3	2084,8	169,6	435,6	8,8	313,1	25,2	56,0	1,8
Test F [3]										
F calculé (Var fact. / Var résid.)	365,2	169,8	884,3	139,5	77,4	1,0	13,9	5,1	7,7	7,1
F table : $\alpha=0,05 = F_{0,05}^{3,76}$ [4]	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
F table : $\alpha=0,01 = F_{0,01}^{3,76}$ [4]	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
F table : $\alpha=0,001 = F_{0,001}^{3,76}$ [4]	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Résultat du TEST ($F_{calculé} > F_{table}$)	***	***	***	***	***	NS	***	**	***	***

NS Test non significatif

* Test significatif = le facteur (ici les qualités) induit les résultats observés

** Test très significatif

*** Test hautement significatif

[1] : SDC = somme des carrés

factorielle = $\text{Somme}((\text{Somme } X)^2/ni) - (\text{Somme}(\text{Somme } X)^2)/N$

résiduelle = $\text{Somme}(\text{Somme } X^2) - \text{Somme}((\text{Somme } X)^2/ni)$

total = $\text{Somme}(\text{Somme } X^2) - (\text{Somme}(\text{Somme } X)^2)/N$

[2] : ddl = degré de liberté

[3] : Test paramétrique

[4] : F donné par la table des distributions de Snedecor

" Peut-on utiliser tous les paramètres de vitalité pour différencier significativement les qualités ? "

Utilisation du logiciel STATGRAPHICS

Fonction : Multifactor ANOVA (multiple range tests)

Interactions entre les Qualités	Biométrie Index de condition [1]	Tonus (muscle lisse)						Pics (muscle strié)			
		Durée du plateau	Hauteur du plateau	Coef. fatigue	T 90	Force maximale	Force moyenne	Hauteur moyenne des 10 pics max.	Nombre de pics pdt la 1ère minute	Nombre de pics en 5 mn	Coef. de fatigue
A - B	NS	***	***	NS	***	***	***	***	NS	*	*
A - C	NS	***	***	NS	***	***	***	***	**	***	**
A - D	NS	***	***	NS	**	***	***	***	**	***	**
B - C	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
B - D	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	*	*
C - D	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	*	NS	NS	NS

- NS = Test non significatif
- * = Test significatif (95 %)
- ** = Test très significatif (99 %)
- *** = Test hautement significatif (99,9 %)

[1] Pour vérification : l'index de condition est bien indépendant des qualités

**ANNEXE 3 D : 'Détail de l'analyse de variance
pour chaque paramètre'**

- + Tableau de l'ANOVA**
- + Tests des étendues multiples**
- + Graphique des moyennes**

INDEX DE CONDITION

1 - Tableau de l'ANOVA pour index cond par qualite

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Niv. Sig.
Inter-groupes	112,618	3	37,5392	0,98	0,4085
Intra-groupes	2922,46	76	38,4534		
Total (Corr.)	3035,08	79			

La table de F (95 %) donne $F_t = 2,74$

CONCLUSION : $F < F_t$ IL n'y a pas de différence significative entre les 4 qualités

2 - Tests des étendues multiples pour index cond par qualite

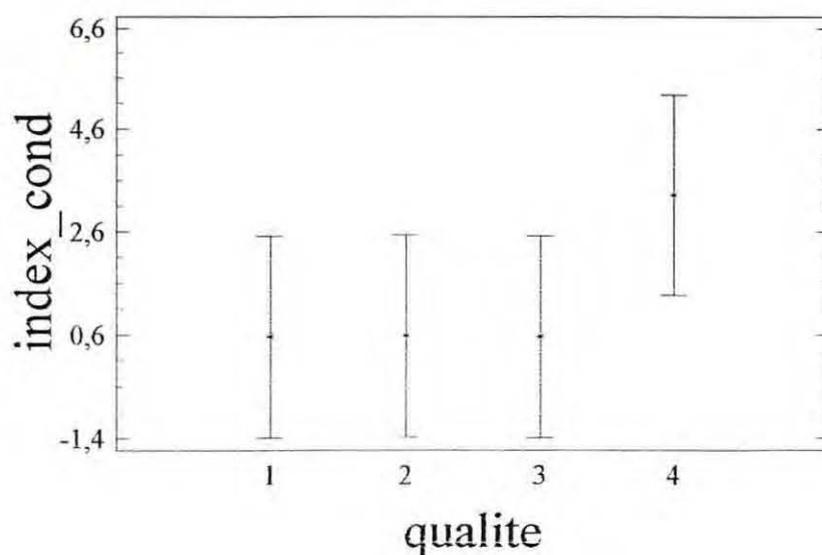
Méthode: 95,0 % LSD

qualite	Effectif	Moyenne	Groupes homogènes
1	20	0,565	X
3	20	0,565	X
2	20	0,5815	X
4	20	3,3105	X

Contraste	Différence	+/- limites
1 - 2	-0,0165	3,90559
1 - 3	0,0	3,90559
1 - 4	-2,7455	3,90559
2 - 3	0,0165	3,90559
2 - 4	-2,729	3,90559
3 - 4	-2,7455	3,90559

* indique une différence statistiquement significative. (95 %)

3 - Graphique des moyennes et intervalles de confiance (95 %)



CONCLUSION : On dispose bien d'une seule population de coquille.

FORCE MAXIMALE

1 - Tableau de l'ANOVA pour Force maxi par qualite

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Niv. Sig.
Inter-groupes	5,52721E6	3	1,8424E6	884,11	0,0000
Intra-groupes	158377,0	76	2083,91		
Total (Corr.)	5,68559E6	79			

La table de F (95 %) donne $F_t = 2,74$

CONCLUSION : $F > F_t$ Il y a une différence significative entre les qualités

2 - Tests des étendues multiples pour Force maxi par qualite

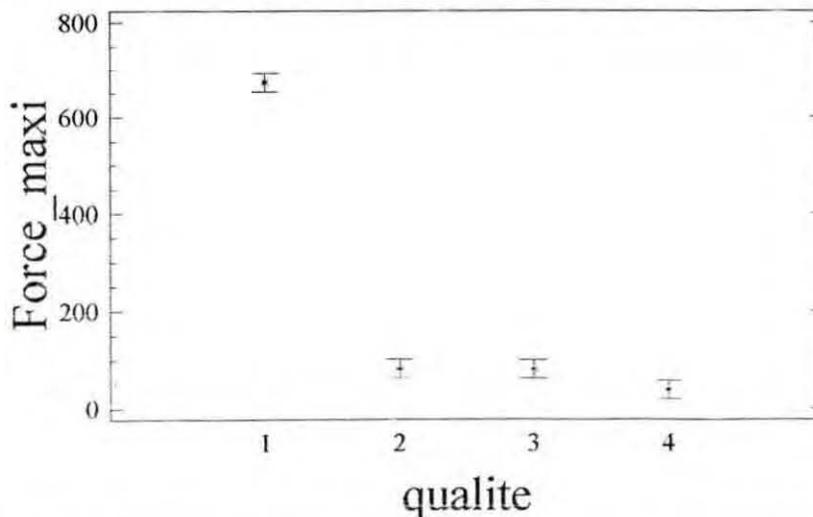
Méthode: 99,0 % LSD

qualite	Effectif	Moyenne	Groupes homogènes
4	20	38,15	X
3	20	80,15	X
2	20	81,2	X
1	20	672,2	X

Contraste	Différence	+/- limites
1 - 2	*591,0	38,1405
1 - 3	*592,05	38,1405
1 - 4	*634,05	38,1405
2 - 3	1,05	38,1405
2 - 4	*43,05	38,1405
3 - 4	*42,0	38,1405

* indique une différence statistiquement significative. (99 %)

3 - Graphique des moyennes et intervalles de confiance (99 %)



CONCLUSION : On peut donc séparer très significativement :

- la qualité A des qualités B, C et D
- la qualité D des qualités B et C
- mais pas la qualité B de la qualité C.

FORCE MOYENNE

1 - Tableau de l'ANOVA pour Force moyenne par qualité

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Niv. Sig.
Inter-groupes	71052,8	3	23684,3	139,29	0,0000
Intra-groupes	12923,1	76	170,04		
Total (Corr.)	83975,9	79			

La table de F (95 %) donne $F_t = 2,74$

CONCLUSION : $F > F_t$ Il y a une différence significative entre les qualités

2 - Tests des étendues multiples pour Force moyenne par qualité

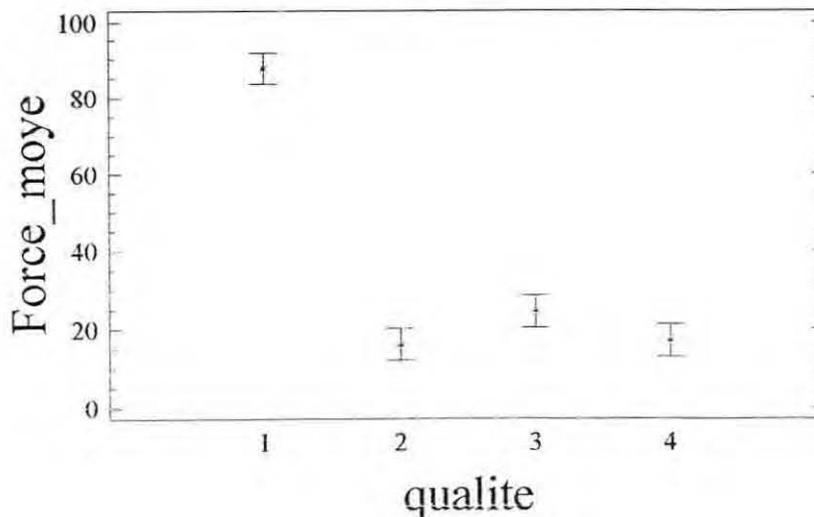
Méthode: 95,0 % LSD

qualite	Effectif	Moyenne	Groupes homogènes
2	20	16,15	X
4	20	17,05	XX
3	20	24,5	X
1	20	87,65	X

Contraste	Différence	+/- limites
1 - 2	*71,5	8,21286
1 - 3	*63,15	8,21286
1 - 4	*70,6	8,21286
2 - 3	*-8,35	8,21286
2 - 4	-0,9	8,21286
3 - 4	7,45	8,21286

* indique une différence statistiquement significative. (95 %)

3 - Graphique des moyennes et intervalles de confiance (95 %)



CONCLUSION : La différence significative s'observe entre - la qualité A et les qualités B, C et D
- la qualité B et C.

HAUTEUR DU PLATEAU

1 - Tableau de l'ANOVA pour Haut plate par qualite

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Niv. Sig.
Inter-groupes	67389,9	3	22463,3	169,83	0,0000
Intra-groupes	10052,5	76	132,269		
Total (Corr.)	77442,4	79			

La table de F (95 %) donne $F_t = 2,74$

CONCLUSION : $F > F_t$ Il y a une différence significative entre les qualités

2 - Tests des étendues multiples pour Haut plate par qualite

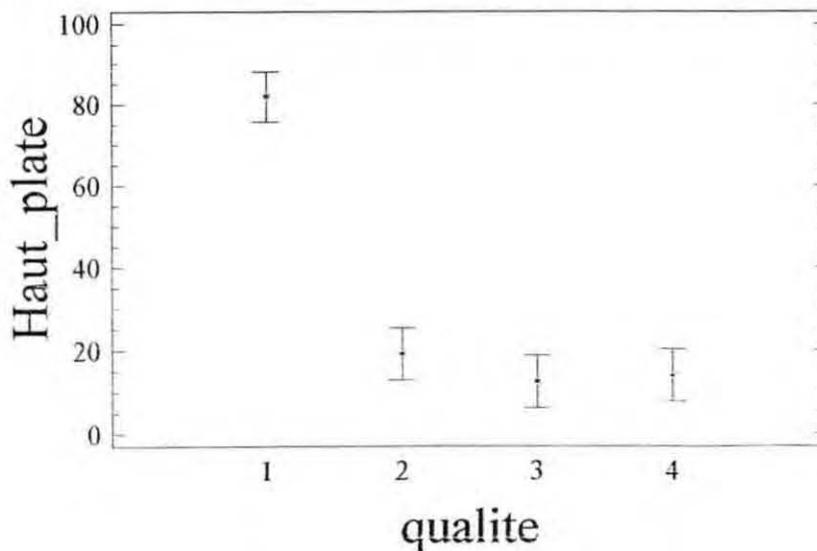
Méthode: 99,9 % LSD

qualite	Effectif	Moyenne	Groupes homogènes
3	20	12,45	X
4	20	14,05	X
2	20	19,15	X
1	20	82,0	X

Contraste	Différence	+/- limites
1 - 2	*62,85	12,4498
1 - 3	*69,55	12,4498
1 - 4	*67,95	12,4498
2 - 3	6,7	12,4498
2 - 4	5,1	12,4498
3 - 4	-1,6	12,4498

* indique une différence statistiquement significative. (99,9 %)

3 - Graphique des moyennes et intervalles de confiance (99,9 %)



CONCLUSION : La qualité A se différencie de manière hautement significative des qualités B, C et D.

DUREE DU PLATEAU

1 - Tableau de l'ANOVA pour Duree plat par qualite

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Niv. Sig.
Inter-groupes	1,28196E6	3	427320,0	365,23	0,0000
Intra-groupes	88920,0	76	1170,0		
Total (Corr.)	1,37088E6	79			

La table de F (95 %) donne $F_t = 2,74$

CONCLUSION : $F > F_t$ Il y a une différence significative entre les qualités

2 - Tests des étendues multiples pour Duree plat par qualite

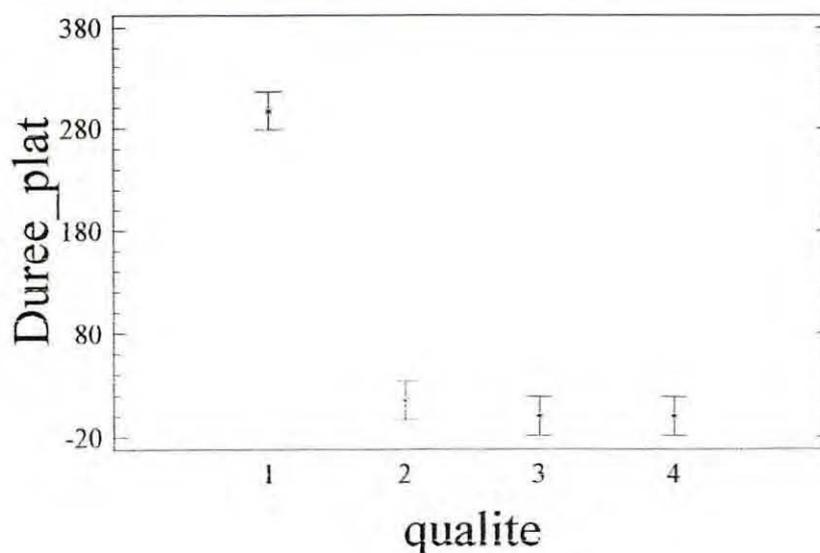
Méthode: 99,9 % LSD

qualite	Effectif	Moyenne	Groupes homogènes
4	20	0,0	X
3	20	0,0	X
2	20	15,0	X
1	20	297,0	X

Contraste	Différence	+/- limites
1 - 2	*282,0	37,0276
1 - 3	*297,0	37,0276
1 - 4	*297,0	37,0276
2 - 3	15,0	37,0276
2 - 4	15,0	37,0276
3 - 4	0,0	37,0276

* indique une différence statistiquement significative. (99,9 %)

3 - Graphique des moyennes et intervalles de confiance (99,9 %)



CONCLUSION : On peut donc séparer significativement (99,9 %) les coquilles de la qualité A des qualités B, C et D.

T90 (Temps nécessaire pour perdre 90 % de la force initiale)

1 - Tableau de l'ANOVA pour T90 par qualite

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Niv. Sig.
Inter-groupes	10146,0	3	3382,0	7,76	0,0001
Intra-groupes	33106,7	76	435,614		
Total (Corr.)	43252,7	79			

La table de F (95 %) donne $F_t = 2,74$

CONCLUSION : $F > F_t$ Il y a une différence significative entre les qualités

2 - Tests des étendues multiples pour T90 par qualite

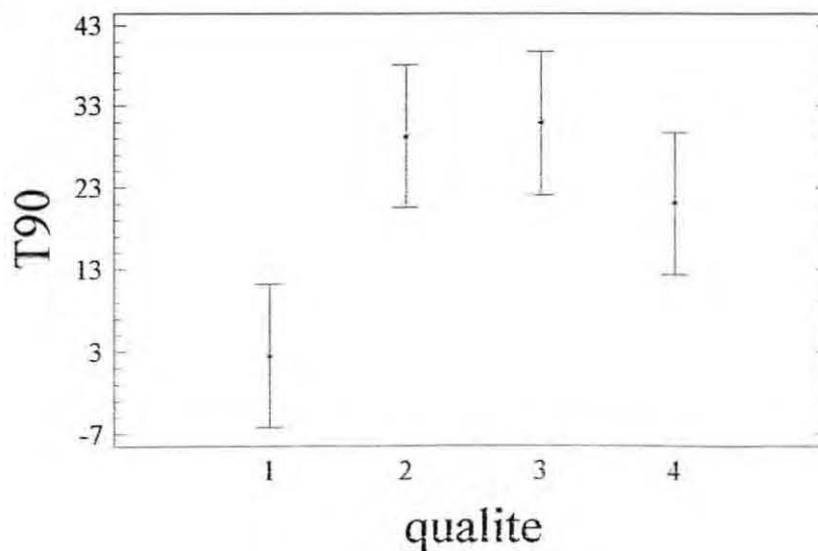
Méthode: 99,0 % LSD

qualite	Effectif	Moyenne	Groupes homogènes
1	20	2,49	X
4	20	21,02	X
2	20	29,21	X
3	20	30,865	X

Contraste	Différence	+/- limites
1 - 2	*-26,72	17,438
1 - 3	*-28,375	17,438
1 - 4	*-18,53	17,438
2 - 3	-1,655	17,438
2 - 4	8,19	17,438
3 - 4	9,845	17,438

* indique une différence statistiquement significative. (99 %)

3 - Graphique des moyennes et intervalles de confiance (99 %)



CONCLUSION : La différence très significative est observée entre la qualité A et les qualités B, C et D.

COEFFICIENT DE FATIGUE DU MUSCLE LISSE

1 - Tableau de l'ANOVA pour Coef fatML par qualite

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Niv. Sig.
Inter-groupes	25,4974	3	8,49912	0,96	0,4151
Intra-groupes	671,363	76	8,83372		
Total (Corr.)	696,86	79			

La table de F (95 %) donne $F_t = 2,74$

CONCLUSION : $F < F_t$ IL n'y a pas de différence significative entre les 4 qualités

2 - Tests des étendues multiples pour Coef fatML par qualite

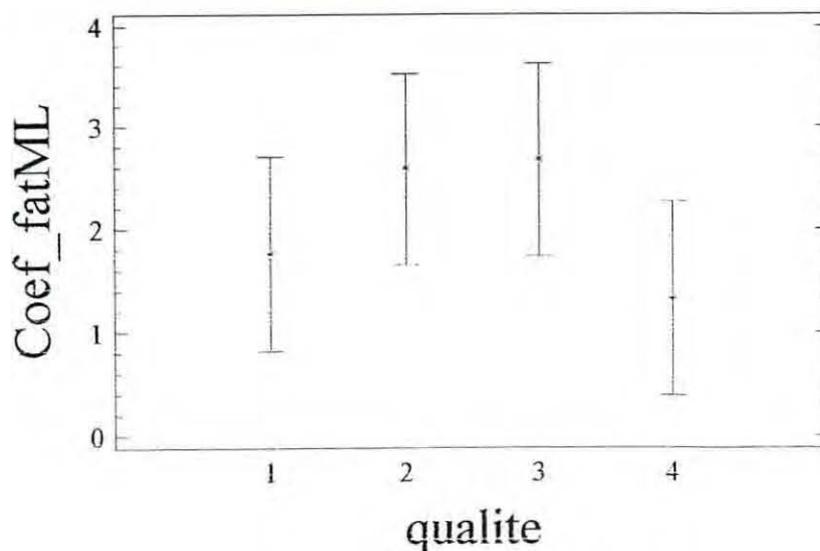
Méthode: 95,0 % LSD

qualite	Effectif	Moyenne	Groupes homogènes
4	20	1,325	X
1	20	1,77	X
2	20	2,585	X
3	20	2,675	X

Contraste	Différence	+/- limites
1 - 2	-0,815	1,87193
1 - 3	-0,905	1,87193
1 - 4	0,445	1,87193
2 - 3	-0,09	1,87193
2 - 4	1,26	1,87193
3 - 4	1,35	1,87193

* indique une différence statistiquement significative. (95 %)

3 - Graphique des moyennes et intervalles de confiance (95 %)



CONCLUSION : On ne peut donc pas différencier significativement les 4 qualités entre-elles.

HAUTEUR MOYENNE DES 10 PICS MAXIMUM

1 - Tableau de l'ANOVA pour Haut pics par qualite

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Niv. Sig.
Inter-groupes	13038,0	3	4346,02	13,86	0,0000
Intra-groupes	23824,7	76	313,483		
Total (Corr.)	36862,8	79			

La table de F (95 %) donne $F_t = 2,74$

CONCLUSION : $F > F_t$ Il y a une différence significative entre les qualités

2 - Tests des étendues multiples pour Haut pics par qualite

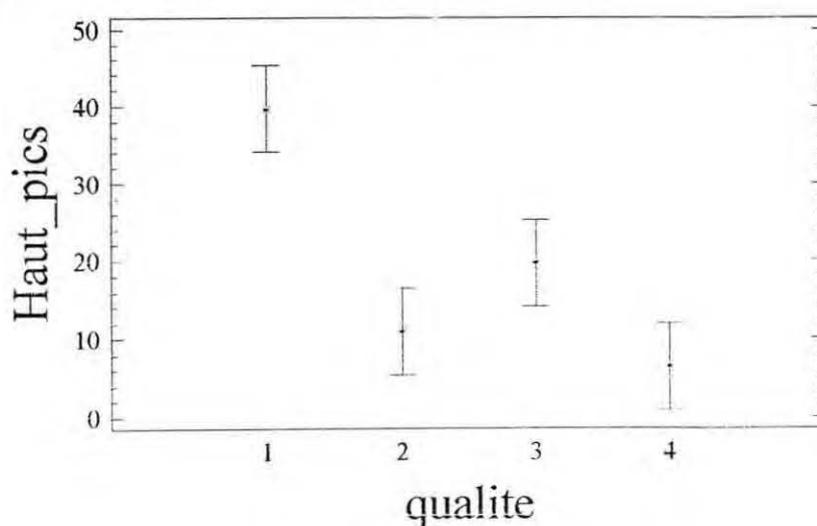
Méthode: 95,0 % LSD

qualite	Effectif	Moyenne	Groupes homogènes
4	20	6,4	X
2	20	10,85	XX
3	20	19,6	X
1	20	39,65	X

Contraste	Différence	+/- limites
1 - 2	*28,8	11,1513
1 - 3	*20,05	11,1513
1 - 4	*33,25	11,1513
2 - 3	-8,75	11,1513
2 - 4	4,45	11,1513
3 - 4	*13,2	11,1513

* indique une différence statistiquement significative. (95 %)

3 - Graphique des moyennes et intervalles de confiance (95 %)



CONCLUSION : On peut différencier significativement :
 - la qualité A des qualités B, C et D
 - la qualité C de la qualité D.

NOMBRE DE PICS PENDANT LA 1^{ère} MINUTE

1 - Tableau de l'ANOVA pour Nbre_pics1 par qualite

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Niv. Sig.
Inter-groupes	383,237	3	127,746	5,07	0,0030
Intra-groupes	1914,65	76	25,1928		
Total (Corr.)	2297,89	79			

La table de F (95 %) donne $F_t = 2,74$

CONCLUSION : $F > F_t$ Il y a une différence significative entre les qualités

2 - Tests des étendues multiples pour Nbre_pics1 par qualite

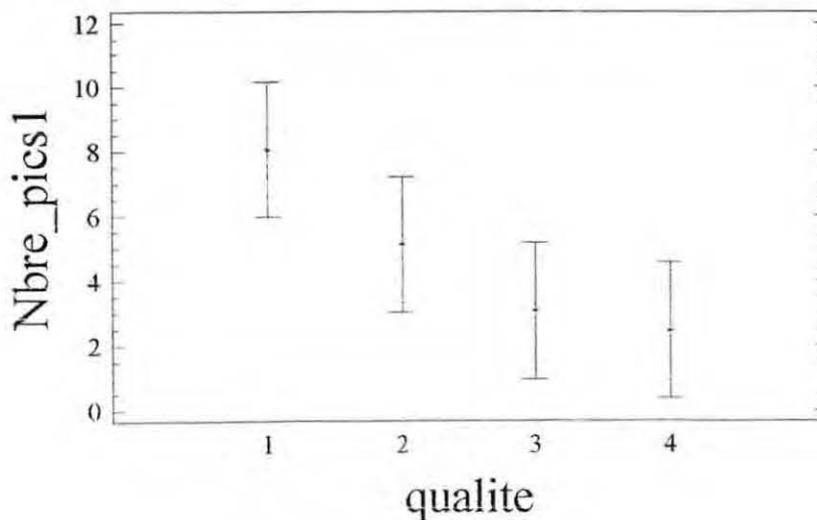
Méthode: 99,0 % LSD

qualite	Effectif	Moyenne	Groupes homogènes
4	20	2,45	X
3	20	3,05	X
2	20	5,1	XX
1	20	8,05	X

Contraste	Différence	+/- limites
1 - 2	2,95	4,19358
1 - 3	*5,0	4,19358
1 - 4	*5,6	4,19358
2 - 3	2,05	4,19358
2 - 4	2,65	4,19358
3 - 4	0,6	4,19358

* indique une différence statistiquement significative. (99 %)

3 - Graphique des moyennes et intervalles de confiance (99 %)



CONCLUSION : La différence significative s'observe entre la qualité A et C et entre A et D. Néanmoins on peut souligner une décroissance du nombre de pics quand le temps d'émersion augmente.

NOMBRE DE PICS PENDANT LES 5^{èmes} MINUTES

1 - Tableau de l'ANOVA pour Nbre_pics5 par qualite

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Niv. Sig.
Inter-groupes	1205,05	3	401,683	7,49	0,0002
Intra-groupes	4078,5	76	53,6645		
Total (Corr.)	5283,55	79			

La table de F (95 %) donne $F_t = 2,74$

CONCLUSION : $F > F_t$ Il y a une différence significative entre les qualités

2 - Tests des étendues multiples pour Nbre_pics5 par qualite

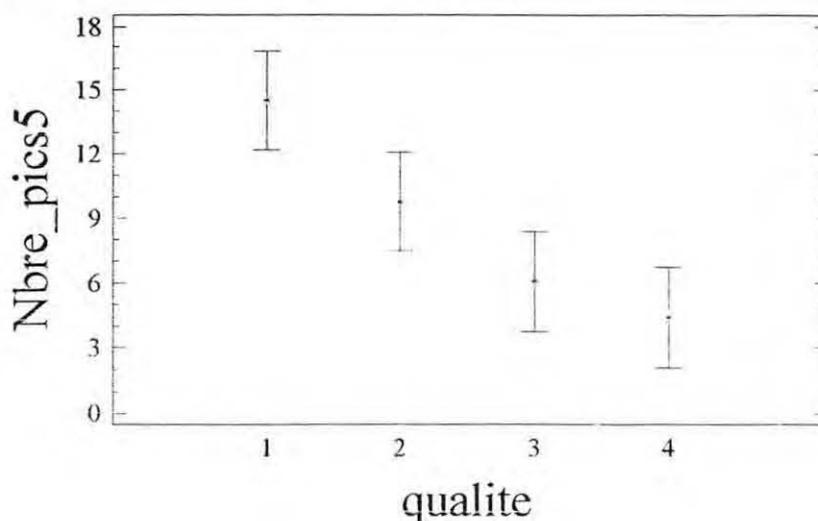
Méthode: 95,0 % LSD

qualite	Effectif	Moyenne	Groupes homogènes
4	20	4,4	X
3	20	6,05	XX
2	20	9,75	X
1	20	14,5	X

Contraste	Différence	+/- limites
1 - 2	*4,75	4,61384
1 - 3	*8,45	4,61384
1 - 4	*10,1	4,61384
2 - 3	3,7	4,61384
2 - 4	*5,35	4,61384
3 - 4	1,65	4,61384

* indique une différence statistiquement significative. (95 %)

3 - Graphique des moyennes et intervalles de confiance (95 %)



CONCLUSION : On observe une différence significative entre la qualité A et les 3 autres ainsi qu'entre B et D. Il faut également noter une décroissance du nombre de pics pour un temps croissant d'émerison.

COEFFICIENT DE FATIGUE DU MUSCLE STRIE

1 - Tableau de l'ANOVA pour coef_fatMS par qualite

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Niv. Sig.
Inter-groupes	38,8375	3	12,9458	7,12	0,0003
Intra-groupes	138,15	76	1,81776		
Total (Corr.)	176,988	79			

La table de F (95 %) donne $F_t = 2,74$

CONCLUSION : $F > F_t$ Il y a une différence significative entre les qualités

2 - Tests des étendues multiples pour coef_fatMS par qualite

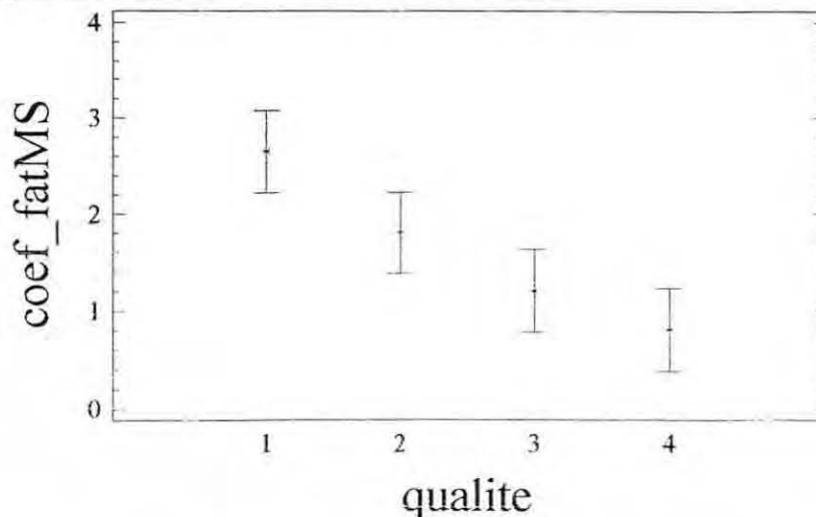
Méthode: 95,0 % LSD

qualite	Effectif	Moyenne	Groupes homogènes
4	20	0,8	X
3	20	1,2	XX
2	20	1,8	X
1	20	2,65	X

Contraste	Différence	+/- limites
1 - 2	*0,85	0,849156
1 - 3	*1,45	0,849156
1 - 4	*1,85	0,849156
2 - 3	0,6	0,849156
2 - 4	*1,0	0,849156
3 - 4	0,4	0,849156

* indique une différence statistiquement significative. (95 %)

3 - Graphique des moyennes et intervalles de confiance (95 %)



CONCLUSION : Cette différence significative s'observe entre la qualité A et les 3 autres et entre la qualité B et la qualité D. Tout comme le nombre de pics en 1 et 5 minutes, une décroissance est observable quand le temps d'émersion augmente.