

Caractérisation sur estran et en laboratoire des 3 séries produites en troisième génération : G3SD - G3C1 - G3C2

MOREST 2003



Version provisoire

Remerciements

La réalisation de ce travail a nécessité l'intervention de nombreuses personnes aussi bien lors des phases de production que lors des suivis de la croissance et de la survie des cheptels. C'est pourquoi nous souhaitons sincèrement remercier tous les intervenants ayant contribué à la réalisation et aux suivis des séries produites dans le cadre de la troisième génération. La liste des personnes participantes étant trop longue et afin de n'oublier personne, nous souhaitons plutôt remercier les différents laboratoires qui ont participé aux différentes phases de production à savoir :

Stockage des géniteurs en claire : LGP La Tremblade,

Maturation : LGP La Tremblade,

Reproduction : LGP, LCPC & DEL La Tremblade,

Elevage larvaire : LGP La Tremblade,

Micronurserie : LGP La Tremblade,

Nurserie : LCPL Bouin, LGP La Tremblade,

Mise en poche : LCPL Bouin, LCB La Trinité, LGP, LCPC & DEL La Tremblade,

Mise sur site : LGP & LCPC La Tremblade, LCB La Trinité,

Caractérisation sur estran : LGP & LCPC La Tremblade, LCB La Trinité,

Caractérisation en laboratoire : LGP La Tremblade,

Stockage des géniteurs indemnes des mortalités à Bouin : LCPL Bouin,

Stockage des géniteurs indemnes des mortalités à La Mortane : LGP et LCPL La Tremblade.

Un spécial remerciement à toute l'équipe éclosion du LGP La Tremblade, et à toute l'équipe de la nurserie du LCPL de Bouin du fait des suivis et de l'entretien des cheptels beaucoup plus important lors des phases précoces.

Sommaire

I. « Caractérisation sur estran » des 3 séries produites en troisième génération	4
1. Introduction	4
2. Matériel et méthodes	4
2.1. Série 1 : G3SD	5
2.1.1. Plans de croisements	5
2.1.2. Parcours zootechnique	7
2.2. Série 2 : G3C1	9
2.2.1. Plans de croisements	9
2.2.2. Parcours zootechnique	9
2.3. Série 3 : G3C2	10
2.3.1. Plans de croisements	10
2.3.2. Parcours zootechnique	11
2.4. Analyses statistiques	11
2.4.1. Série 1 : G3SD	11
2.4.2. Série 2 : G3C1	11
2.4.3. Série 3 : G3C2	12
3. Résultats	13
3.1. Série 1 : G3SD	13
3.1.1. Survie	13
3.1.2. Poids individuel	15
3.1.3. Rendement	16
3.2. Série 2 : G3C1	17
3.2.1. Survie	17
3.2.2. Poids individuel	19
3.2.3. Rendement	20
3.3. Série 3 : G3C2	21
3.3.1. Survie	21
3.3.2. Poids individuel	21
3.3.3. Rendement	23

4. Discussion	24
4.1. Témoins diploïdes	24
4.2. Série 1 : G3SD	25
4.2.1. Survie	25
4.2.2. Poids individuel	27
4.2.3. Rendement	27
4.3. Série 2 : G3C1	28
4.3.1. Survie	28
4.3.2. Poids individuel	29
4.3.3. Rendement	30
4.4. Série 3 : G3C2	31
4.4.1. Survie	31
4.4.2. Poids individuel	31
4.4.3. Rendement	32

II. « Caractérisation en laboratoire » des 3 séries produites en troisième génération

1. Introduction	33
2. Matériel et méthodes	33
2.1. Série 1 : G3SD	33
2.2. Série 2 : G3C1	34
2.3. Série 3 : G3C2	34
2.4. Analyses statistiques	34
3. Résultats	36
3.1. Température	36
3.2. Série 1 : G3SD	36
3.3. Série 2 : G3C1	38
3.4. Série 3 : G3C2	39
4. Discussion	41

Références bibliographiques

I. « Caractérisation sur estran » des 3 séries produites en troisième génération

1. Introduction

Dans le cadre du programme MOREST, une première génération d'huître creuse *Crassostrea gigas* (G1) a été réalisée en 2001 à partir d'un plan de croisement hiérarchisé par les mâles. La caractérisation sur estran de 44 familles de plein-frères réparties en 17 familles de demi-frères a permis d'estimer l'héritabilité de la survie des naissains en période estivale. La valeur obtenue ($h^2 = 0,81 \pm 0,29$) indique que la majorité de la variance phénotypique est d'origine génétique.

A partir de familles G1 sélectionnées pour les performances de survies, une sélection divergente visant à améliorer ou diminuer la survie du naissain en période estivale a été réalisée en 2002 et constitue la seconde génération (G2). La sélection divergente comprend deux séries de croisements faisant intervenir ou non le facteur consanguinité et nommées respectivement G2C1 et G2SD (Dégremont, 2003). Après la période estivale, des différences significatives de survie entre les descendants des groupes sélectionnés 'résistants' et 'sensibles' ont été observées pour les deux séries en laboratoire et *in situ*. La G2 confirme les résultats obtenus en G1 avec une réponse positive à la sélection et une forte héritabilité réalisée indiquant qu'une amélioration de la survie des juvéniles chez *C. gigas* est réalisable par la mise en place de programme de sélection.

En 2003, une troisième génération (G3) a été réalisée comprenant 3 séries de croisements. La première série (G3SD) a pour but de reconstituer la G2SD à partir des lots produits en G2C1. La seconde série (G3C1) et la troisième série (G3C2) de la G3 ont pour principaux objectifs de conserver les génotypes 'Résistant' et 'Sensibles' des lots respectifs de la G2C1 et de la G2SD en croisant les individus en intra-lots.

2. Matériel et méthodes

En 2002, une partie de chaque lot produit en seconde génération a été conservée indemnes de mortalités à la nurserie de Bouin. Ces animaux ont ensuite été transférés en octobre 2002 sur le site de La Mortane (bassin de Marennes-Oléron) jusqu'à leur entrée en maturation à l'écloserie Ifremer du Laboratoire de Génétique et Pathologie de La Tremblade.

2.1. Série 1 : G3SD

2.1.1. Plans de croisements

A partir des lots de la G2C1, la reconstitution de la G2SD a été entreprise en troisième génération afin de confirmer les résultats obtenus en 2002. Cette première série de croisements de la troisième génération est appelée G3SD. Les plans de croisements de la G2C1 sont rappelés en tableaux 1 et 2. Les lots de la G2C1 utilisés pour la réalisation de la G3SD correspondent à ceux ayant un coefficient de consanguinité de 0,25. Les lots 13 et 24 étant morts en élevage larvaire, ils ont été remplacés respectivement par les lots 15 (= B2) et 22 (= P2). La G3SD est donc constituée de 12 lots pour la lignée haute (tableau 3) et 12 lots pour la lignée basse (tableau 4). De façon similaire aux croisements de la G2SD, les croisements ont été réalisés dans les 2 sens possibles afin d'éviter les effets maternels (exemple : lot AJ2 : femelles A2 * mâles J2 et femelles J2 * mâles A2, puis mélange des 2 sous-lots 30 minutes après la fécondation). De même, chaque croisement a utilisé en moyenne 23 mâles et 23 femelles afin de représenter au mieux chaque lot (fonction des sex-ratios des lots de géniteurs de la G2C1).

Un témoin diploïde (T2N) a également été produit pour servir de contrôle par rapport à la sélection pour la survie mais également de contrôle non consanguin. Enfin, 3 lots triploïdes ont été produits à partir de croisements faisant intervenir 3 mâles tétraploïdes croisés avec 3 stocks différents de femelles (figure 1). Le premier est issu des femelles non sélectionnées utilisées pour la constitution du témoin diploïde. Le second est issu des femelles sélectionnées provenant des 6 lots 'résistants' de la G2C1, et le dernier est issu des femelles sélectionnées provenant des 6 lots 'sensibles' de la G2C1. Dans la suite de cette partie, les 3 lots de triploïdes sont dénommés T3N, T3NR et T3NS respectivement pour les lots issus des femelles non sélectionnées, des femelles 'résistantes' et 'sensibles' aux mortalités estivales.

Tableau 1 : Plan de croisement pour l'obtention de la lignée consanguine haute G2C1-CH. Les numéros correspondent à la nomenclature utilisée en élevage larvaire, micronurserie et nurserie, les lettres correspondent à la nomenclature des lots sur estran.

Mâle			2		9		15	
Famille G1			F2-5	F2-8	F9-35	F9-36	F15-57	F15-58
Sexe			Mâle	Mâle	Mâle	Mâle	Mâle	Mâle
2	F2-5	Femelle	1 (A2)	2 (C2)				
	F2-8	Femelle	3 (F2)	4 (G2)				
9	F9-35	Femelle			5 (J2)	6 (K2)		
	F9-36	Femelle			7 (N2)	8 (O2)		
15	F15-57	Femelle					9 (R2)	10 (S2)
	F15-58	Femelle					11 (V2)	12 (W2)

Tableau 2 : Plan de croisement pour l'obtention de la lignée consanguine basse G2C1-CH. Les numéros correspondent à la nomenclature utilisée en élevage larvaire, micronurserie et nurserie, les lettres correspondent à la nomenclature des lots sur estran.

Mâle			4		7		14	
Famille G1			F4-15	F4-16	F7-25	F7-26	F14-54	F14-55
Sexe			Mâle	Mâle	Mâle	Mâle	Mâle	Mâle
4	F4-15	Femelle	13	14 (Y2)				
	F4-16	Femelle	15 (B2)	16 (D2)				
7	F7-25	Femelle			17 (E2)	18 (H2)		
	F7-26	Femelle			19 (I2)	20 (L2)		
14	F14-54	Femelle					21 (M2)	22 (P2)
	F14-55	Femelle					23 (Q2)	24

Tableau 3 : Plan de croisement pour l'obtention de la lignée haute G3SD.

Mâle			9		15	
Lot G2C1			J2	O2	R2	W2
Sexe			Mâle	Mâle	Mâle	Mâle
2	A2	Femelle	AJ2	AO2	AR2	AW2
	G2	Femelle	GJ2	GO2	GR2	GW2
9	J2	Femelle			JR2	JW2
	O2	Femelle			OR2	OW2

Tableau 4 : Plan de croisement pour l'obtention de la lignée basse G3SD.

Mâle		7			14	
Lot G2C1		E2	L2	M2	P2	
Sexe		Mâle	Mâle	Mâle	Mâle	
4	B2	Femelle	BE2	BL2	BM2	BP2
	D2	Femelle	DE2	DL2	DM2	DP2
7	E2	Femelle			EM2	EP2
	L2	Femelle			LM2	LP2

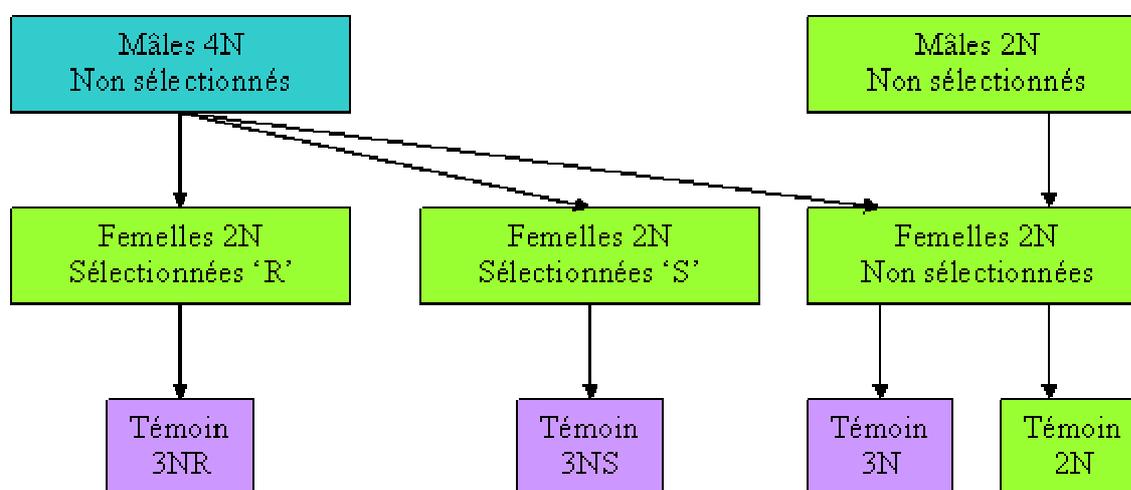


Figure 1 : Schéma de croisements pour l'obtention des témoins. Les fonds bleu, mauve et vert indiquent respectivement des ploïdies tétra-, tri- et diploïdes.

2.1.2. Parcours zootechnique

Les lots ont été créés à l'écloserie du Laboratoire de Génétique et Pathologie le 17/02/03. Le protocole zootechnique de l'élevage larvaire à la nurserie est identique à celui utilisé pour les séries de la seconde génération (Dégremont, 2003). Aucun lot n'a été perdu pendant la phase d'élevage larvaire. Comme pour la G2SD mais avec un nombre plus important de lot, un pool des 12 lots 'résistants' et un pool des 12 lots 'sensibles' ont été constitués en micronurserie avec des contributions identiques entre les lots. Au final, 13 lots 'résistants', 13 lots 'sensibles', 1 témoin diploïde et 3 témoins triploïdes ont été transférés à la nurserie Ifremer du Laboratoire Conchylicole des Pays de Loire à Bouin le 10/04/03 soit 52 jours après la fécondation. Après la période de pré grossissement, les cheptels ont été mis en poche de 7 mm à raison de 3 poches par lots et 150 individus par poche. La biomasse initiale

des 150 individus par poche a été enregistrée et des pesées individuelles de 200 individus par famille ont été effectuées pour l'analyse du rendement et de la croissance. Les lots ont été mis en élevage le 01/07/03 sur le site expérimental de la rivière d'Auray pour la caractérisation sur estran des cheptels (J133). A la fin de la période estivale 2003 (08/10/03)(J234), les nombres des mortes et des vivantes, la biomasse finale des vivantes et des pesées individuelles de 35 individus par poche ont été relevés pour la détermination de la survie, du rendement et de la croissance.

2.2. Série 2 : G3C1

2.2.1. Plans de croisements

A partir de 12 familles G1 sélectionnées pour leur performance de survie, une sélection divergente a été réalisée en G2 en faisant intervenir le facteur consanguinité (G2C1). Les plans de croisements des 2 lignées de la G2C1 sont rappelés en tableaux 1 et 2.

Afin de conserver ces lignées consanguines en troisième génération, des croisements ont été réalisés constituant une des 3 séries produites en 2003. Cette série (G3C1) correspond à la seconde génération en consanguinité des 12 familles de la G1. Les mâles et les femelles de chaque lot de la G2C1 ont donc été croisé en intra-lot (exemple : *femelle G2C1 A2 * mâle G2C1 A2* = lot G3C1 AA2). Pour remplacer les lots 13 et 24 de la lignée consanguine G2C1 basse morts en élevage larvaire, deux autres lots ont été créés en G3C1 en croisant les lots Y2 par B2 et les lots P2 par Q2. Au final, la G3C1 est composée de 12 lots pour la lignée consanguine haute CH, et de 12 lots pour la lignée consanguine basse CB. En moyenne, 12 mâles et 13 femelles ont été utilisées pour chaque croisement. Un témoin diploïde (Di1) également été produit pour servir de contrôle par rapport à la sélection pour la survie mais également de contrôle non consanguin.

2.2.2. Parcours zootechnique

Les lots ont été créés à l'écloserie du Laboratoire de Génétique et Pathologie le 24/03/03. Pendant la phase d'élevage larvaire, seul le lot DD2 de la lignée consanguine basse est mort. Les lots ont été ensuite transférés à la nurserie Ifremer du Laboratoire Conchylicole des Pays de Loire à Bouin le 15/05/03 soit 52 jours après la fécondation. Après la période de pré grossissement, les cheptels ont été mis en poche de 7 mm à raison de 3 poches par lots et 150 individus par poche. La biomasse initiale des 150 individus par poche a été enregistrée et des pesées individuelles de 200 individus par famille ont été effectuées pour l'analyse du rendement et de la croissance. Les lots ont été disposés le 16/07/03 sur le site expérimental de Ronce-Perquis dans le bassin de Marennes-Oléron pour la caractérisation sur estran des cheptels (J114). A la fin de la période estivale 2003 (08/10/03)(J198), les nombres des mortes et des vivantes, la biomasse finale des vivantes et des pesées individuelles de 35 individus par poche ont été relevées pour la détermination de la survie, du rendement et de la croissance.

2.3. Série 3 : G3C2

2.3.1. Plans de croisements

Les plans de croisement de la G2SD sont rappelés en tableaux 5 et 6. A partir des 22 lots de la G2SD préservés indemnes de mortalités en 2002, des croisements intra-lots ont été effectués (exemple : *femelles G2SD A * mâles G2SD A* = lot G3C1 AA). Au total, 22 lots consanguins ont été obtenus pour la 3^{ème} série de la 3^{ème} génération (G3C2) dont 11 constituent la lignée consanguine haute CH, et 11 constituent la lignée consanguine basse CB. En supplément, pour remplacer le lot DD2 de la G3C1 mort en élevage larvaire, et de reconstituer le lot GG2 de la G3C1 présentant des effectifs très faibles, ces 2 lots ont été de nouveau produits en G3C2. Chaque croisement a utilisé en moyenne 12 mâles et 12 femelles. Comme pour la G3C1, un nouveau témoin diploïde (Di2) a été produit pour servir de contrôle par rapport à la sélection pour la survie et de contrôle non consanguin.

Tableau 5 : Plan de croisement pour l'obtention de la sélection divergente lignée haute G2SD. Les numéros correspondent à la nomenclature utilisée en élevage larvaire, micronurserie et nurserie, les lettres correspondent à la nomenclature des lots sur estran.

Mâle		9		15	
	Famille	F9-35	F9-36	F15-57	F15-58
2	F2-5	1 (A)	2 (D)	5 (I)	6 (K)
	F2-8	3 (E)	4 (H)	7	8 (N)
9	F9-35			9 (O)	10 (R)
	F9-36			11 (S)	12 (V)

2.3.2. Parcours zootechnique

Les lots ont été produits le 28/04/03 à l'écloserie du Laboratoire de Génétique et Pathologie de la station Ifremer de La Tremblade. Aucun des lots produits n'est mort pendant les phases précoces. Les naissains ont été transférés à la nurserie Ifremer du Laboratoire Conchylicole des Pays de Loire à Bouin le 11/06/03 pour prégressissement. La mise en élevage a été effectuée le 31/07/03 selon le même protocole que celui utilisé en G3C1. Les lots de la G3C2 n'ont donc été disposés que sur le site de Ronce, et seul un suivi de la

mortalité, de la croissance et du rendement a été réalisé le 08/10/03, soit après 70 jours de caractérisation sur estran de ces cheptels.

Tableau 6 : Plan de croisement pour l'obtention de la sélection divergente lignée basse G2SD. Les numéros correspondent à la nomenclature utilisée en élevage larvaire, micronurserie et nurserie, les lettres correspondent à la nomenclature des lots sur estran.

Mâle		7		14	
	Famille	F7-25	F7-26	F14-54	F14-55
4	F4-15	13	14 (W)	17 (B)	18 (C)
	F4-16	15 (Z)	16 (AB)	19 (F)	20 (G)
7	F7-25			21 (J)	22 (L)
	F7-26			23 (M)	24 (P)

2.4. Analyses statistiques

2.4.1. Série 1 : G3SD

Les probabilités de la survie ont donc été traitées par une régression logistique par la procédure GENMOD, la croissance par une ANCOVA et le rendement journalier par une ANOVA en utilisant la procédure GLM du logiciel SAS® (SAS Institute Inc., 1989, 1995). Les analyses ont été effectuées entre les lignées haute et basse, et entre les 2 lignées, le témoin 2N et les témoins 3N (les 3 lots étant regroupés). Les classements entre les cheptels ont été effectués par les options lsmeans et means des procédures utilisées (Littell *et al.*, 2002).

En supplément de ces analyses, les performances de survies entre les lignées haute et basse et les témoins T2N, T3N, T3NR et T3NS, et entre les 3 cheptels triploïdes ont également été analysées par une régression logistique via la procédure GENMOD. Les comparaisons des performances de survies ont été effectuées par l'intermédiaire de l'option lsmeans de la procédure.

2.4.2. Série 2 : G3C1

Les analyses statistiques ont été effectuées par les mêmes modèles que ceux utilisés en sélection divergente faisant intervenir le facteur consanguinité (Dégremont, 2003). Les probabilités de la survie ont donc été traitées par une régression logistique par la procédure

GENMOD, la croissance par une ANCOVA et le rendement journalier par une ANOVA en utilisant la procédure GLM du logiciel SAS[®] (SAS Institute Inc., 1989, 1995).

En supplément, les données de survies ont été analysées entre les descendants des 6 mâles sélectionnés en G0, entre les descendants des 6 mâles sélectionnés en G0 et le témoin, entre les 3 mâles sélectionnés comme 'résistant', et entre les 3 mâles sélectionnés comme 'sensibles'.

2.4.3. Série 3 : G3C2

Les analyses statistiques ont été effectuées par les mêmes modèles que ceux utilisés en sélection divergente faisant intervenir le facteur consanguinité (Dégremont, 2003). Les probabilités de la survie ont donc été traitées par une régression logistique par la procédure GENMOD, la croissance par une ANCOVA et le rendement journalier par une ANOVA en utilisant la procédure GLM du logiciel SAS[®] (SAS Institute Inc., 1989, 1995).

3. Résultats

3.1. Série 1 : G3SD

3.1.1. Survie

Les mortalités obtenues le 08 octobre 2003 sur le site de la rivière d'Auray sont représentées pour tous les lots de la G3SD en figure 2.

Comparaison lignées haute et basse :

Les mortalités estivales sont comprises entre 10,6 % pour le lot GJ2 et 92 % pour le lot BM2 (figure 2). Les mortalités moyennes étaient de $27,1 \pm 13,1$ % et $72,5 \pm 13,4$ % respectivement pour la lignée haute et la lignée basse (tableau 7). Une différence significative de mortalité entre les 2 lignées a été obtenue avec les mortalités les plus importantes pour les lots de la lignée basse ($\chi^2 = 552,56$; $p < 0,0001$).

Comparaison témoins 3N, 3NR et 3NS :

Les mortalités après la période estivale sur le site de la rivière d'Auray sont comprises entre $35,6 \pm 7,7$ % pour le témoin triploïde issu des femelles sélectionnées 'résistantes' et $58,2 \pm 4,2$ % pour le témoin triploïde issu des femelles sélectionnées 'sensibles' (tableau 7). Une différence significative de mortalité entre les 3 lots triploïdes a été obtenue ($\chi^2 = 20,86$; $p < 0,0001$). Le lot T3NR a montré une survie significativement plus importante comparée à celles des lots T3N et T3NS ($p < 0,01$). La mortalité obtenue pour le lot T3NS a été plus importante comparée à celle du lot T3N mais aucune différence significative de survie entre ces 2 lots n'a été mise en évidence ($p = 0,15$).

Comparaison lignées haute et basse, témoins 2N et 3N :

Les mortalités moyennes des cheptels des lignées haute et basse, et du témoin diploïde sont indiquées en tableau 7. La mortalité moyenne des 3 lots triploïdes est de $48,1 \pm 11,5$ %.

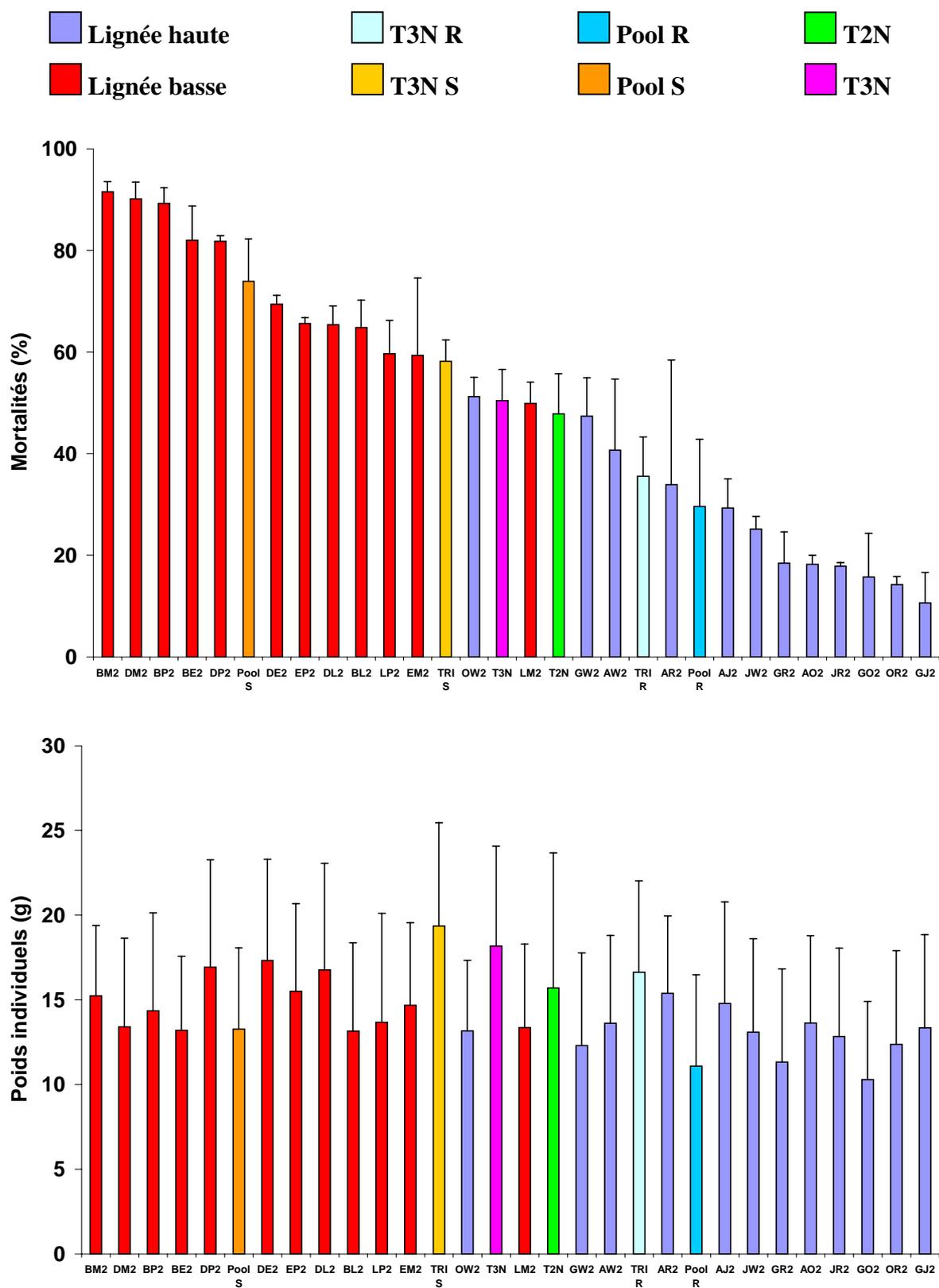


Figure 2 : Mortalité moyenne (%) et poids individuel moyen (g) des lots produits en G3SD et écart-types au 08 octobre 2003 sur le site de la rivière d'Auray.

Une différence significative de survie entre les 4 cheptels a été mise en évidence ($\chi^2 = 589,49$; $p < 0,0001$). La comparaison 2 à 2 des différents cheptels montrent des différences significatives entre tous les cheptels ($p < 0,0001$) excepté entre les témoins 2N et 3N ($p = 0,97$). La lignée haute a présenté des performances de survie significativement plus importantes comparées à celles des 3 autres cheptels (tableau 7). Les plus faibles survies ont été obtenues pour la lignée basse. Enfin, les témoins ont montré des survies intermédiaires à celles des 2 lignées.

Comparaison lignées haute et basse, témoin 2N, témoins 3N, 3NR et 3NS :

De nouveau, une différence significative de survie entre les 6 cheptels a été obtenue ($\chi^2 = 600,45$; $p < 0,0001$). Le classement entre les différents cheptels est indiqué en tableau 7 avec les meilleures performances de survie pour les lots de lignée haute (groupe a) et les plus mauvaises performances de survies pour les lots de la lignée basse (groupe d).

Tableau 7 : Mortalité moyenne (%), poids individuel moyen (g) et rendement journalier moyen (%.j⁻¹) des cheptels produits en G3SD au 08/10/03 sur le site de la rivière d’Auray et poids individuel moyen (g) à la mise en élevage (les lettres représentent le classement entre les groupes avec des différences significatives entre chaque lettre).

Qualité des cheptels	Mortalité (%)	Poids individuels (g)		Rendement (%.j ⁻¹)
		Initial (01/07/03)	Final (08/10/03)	
Lignée haute	27,1 ± 13,1 ^a	2,1 ± 0,3	12,9 ± 1,4	3,3 ± 0,7
Lignée basse	72,5 ± 13,4 ^d	2,3 ± 0,5	14,7 ± 1,5	0,8 ± 1,0
T2N	47,8 ± 7,9 ^{bc}	2,3 ± 1,6	15,7 ± 8,0	1,8 ± 0,7
T3NR	35,6 ± 7,7 ^b	3,1 ± 1,3	16,6 ± 5,4	2,6 ± 0,3
T3NS	58,2 ± 4,2 ^c	2,9 ± 1,1	19,4 ± 6,1	2,1 ± 0,4
T3N	50,4 ± 6,1 ^c	2,9 ± 1,3	18,2 ± 5,9	2,0 ± 0,2
Moyenne	49,6 ± 24,8	2,3 ± 0,5	14,3 ± 2,1	2,1 ± 1,4

3.1.2. Poids individuel

Les poids individuels moyens à la mise en élevage sont indiqués pour chaque catégorie de cheptels en tableau 7. Aucune différence significative de poids individuel entre

les 2 lignées, et entre les 2 lignées et les témoins 2N et 3N n'a été mise en évidence à la mise en élevage des cheptels ($p = 0,68$) (tableau 8). A la fin de la période estivale, les poids individuels moyens de tous les lots produits en G3SD sont compris entre 10,3 g pour le lot GO2 et 19,4 g pour le lot T3NS (figure 2) indiquant des différences significatives de croissance entre les lots (temps *lot(qualité) (tableau 8). Les poids individuels moyens des 6 cheptels étudiés sont indiqués en tableau 7. Même si les triploïdes présentent un poids individuel plus important par rapport aux lignées haute et basse et au témoin 2N, aucune différence significative de croissance n'a été mise en évidence au 08/10/03 (temps*qualité) (tableau 8).

Tableau 8 : ANCOVA du poids individuel entre les 2 lignées, et entre les lignées haute et basse, et les témoins 2N et 3N pour la période comprise entre le 16/07/03 et le 08/10/03 sur le site de la rivière d'Auray (le facteur temps n'est pas indiqué).

Source	Lignées haute et basse			Lignées haute et basse, témoins 2N et 3N		
	ddl	F	p	ddl	F	p
Qualité	1	0,18	0,6784	3	0,82	0,4961
Lot(qualité)	24	22,25	<0,0001	26	21,10	<0,0001
Temps*qualité	1	1,28	0,2694	3	0,55	0,6534
Temps*lot(qualité)	24	12,50	<0,0001	26	11,97	<0,0001
Erreur	7626			8838		

3.1.3. Rendement

Les rendements moyens des différents cheptels sont indiqués en tableau 7. Une différence significative de rendement a été obtenue entre les lignées haute et basse ($F = 55,19$; $p < 0,0001$), et entre les 2 lignées et les témoins 2N et 3N ($F = 19,76$; $p < 0,0001$). Dans les 2 cas, la lignée haute a présenté un rendement journalier moyen significativement plus important que celui de la lignée basse. Les témoins ont montré des rendements similaires et intermédiaires à ceux des 2 lignées. Ils sont également significativement différents des rendements des 2 lignées.

3.2. Série 2 : G3C1

3.2.1. Survie

Les mortalités obtenues le 08 octobre 2003 pour tous les lots de la G3C1 sont représentées en figure 3. Les mortalités sont comprises entre 6 % pour le lot AA2 et 92 % pour le lot VV2. Les mortalités moyennes des lignées CH et CB et du témoin sont indiquées en tableau 9. Une différence significative de mortalité entre les lignées CH et CB a été obtenue avec les meilleures survies pour la lignée CH ($\chi^2 = 396,45$; $p < 0,0001$). De même, la comparaison des performances de survies entre les 2 lignées et le témoin a montré une différence significative de survie entre les 3 cheptels ($\chi^2 = 333,01$; $p < 0,0001$). Les lots de lignée CH ont montré des performances de survies significativement plus élevées que les lots des deux autres cheptels. Les moins bonnes performances de survie ont été obtenues pour les lots de la lignée CB, et le témoin a présenté des survies intermédiaires et significativement différentes des lots des deux lignées consanguines.

Les mortalités moyennes des lots descendants des 6 mâles sélectionnés pour leur performance de survie en période estivale sont comprises entre $12,2 \pm 7,2$ % pour les descendants du mâle 2 et $88,4 \pm 4,8$ % pour les descendants du mâle 4 (figure 4) Une différence significative de survie entre les descendants des 6 mâles sélectionnés a été trouvée ($\chi^2 = 1113,07$; $p < 0,0001$). De même, des différences significatives de survie entre les descendants des 3 mâles sélectionnés 'résistants' ($\chi^2 = 313,64$; $p < 0,0001$) et entre les 3 mâles sélectionnés 'sensibles' ($\chi^2 = 294,48$; $p < 0,0001$) ont été obtenues, les descendants de chaque mâle sélectionné montrant des différences significatives de survie par rapport aux descendants des autres mâles.

Une différence significative de survie entre les descendants des 6 mâles et le témoin a été observée ($\chi^2 = 936,25$; $p < 0,0001$). La comparaison 2 à 2 des lots montre des différences significatives pour tous les cas ($p < 0,0001$) excepté entre les descendants du mâle 15 et le témoin ($p = 0,16$). De même, les probabilités ne sont pas toutes inférieures à 0,0001 mais elles sont égales à 0,0387 et 0,0465 respectivement entre les descendants des mâles 4 et 14, et entre les descendants du mâle 7 et le témoin.

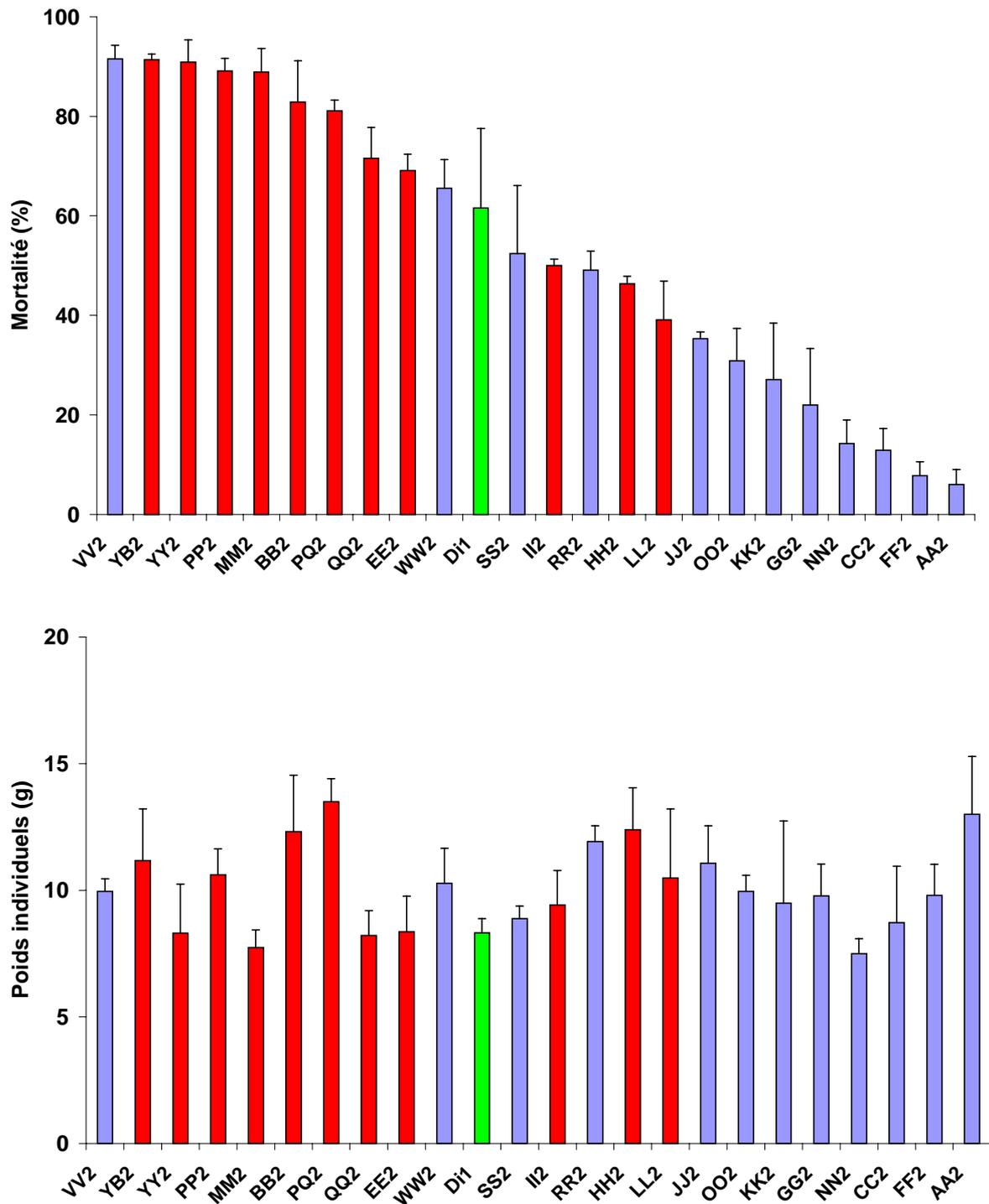


Figure 3 : Mortalité moyenne (%) et poids individuel moyen (g) des lots produits en G3C1 et écart-types le 08 octobre 2003 sur le site de Ronce. (deuxième génération de consanguinité) (en rouge : descendants issus de lots ‘sensibles’, en bleue : descendants issus de lots ‘résistant’, vert : témoin diploïde).

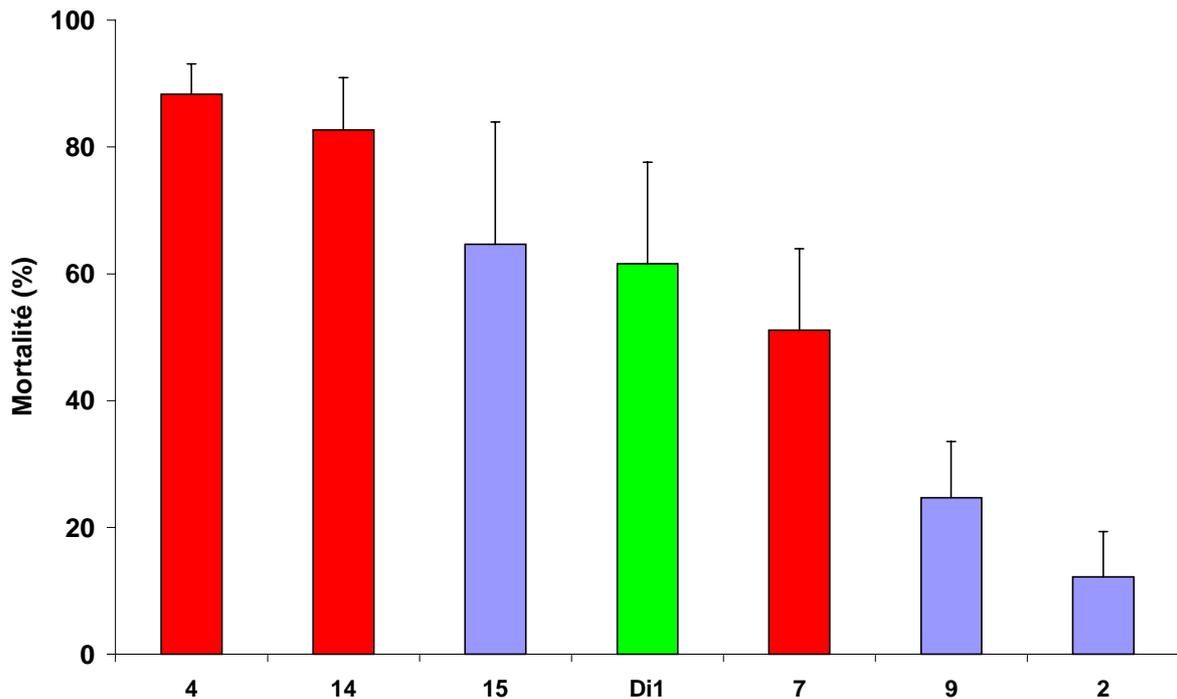


Figure 4 : Mortalité moyenne (%) et écart-types des lots produits en G3C1 en fonction des mâles G0 sélectionnés pour leur performance de survie en période estivale le 08 octobre 2003 sur le site de Ronce (en rouge : mâles G0 sélectionnés ‘sensibles’ ; en bleu : mâles G0 sélectionnés ‘résistants’, en vert : témoin).

Tableau 9 : Mortalité moyenne (%), poids individuel moyen (g) et rendement journalier moyen (%.j⁻¹) des cheptels produits en G3C1 le 08 octobre 2003 sur le site de Ronce (deuxième génération de consanguinité).

Qualité des cheptels	Mortalité (%)	Poids individuels (g)	Rendement (%.j ⁻¹)
CH	34,6 ± 25,9	10,0 ± 1,5	2,0 ± 1,3
CB	72,8 ± 19,3	10,2 ± 2,0	0,3 ± 1,1
Témoin 2N	61,6 ± 16,0	8,3 ± 0,6	1,1 ± 0,9
Moyenne	53,2 ± 29,2	10,0 ± 1,7	1,2 ± 1,5

3.2.2. Poids individuel

A la mise en élevage, les poids individuels étaient respectivement de $2,0 \pm 0,5$ g pour la lignée CH, $2,0 \pm 0,6$ g pour la lignée CB et $1,4 \pm 0,7$ g pour le témoin. Aucune différence significative de poids individuel entre les 2 lignées, et entre les 2 lignées et le témoin n’a été mise en évidence le 15/07/03 (tableau 10). A la fin de la période estivale, les poids individuels

moyens des lots de la G3C1 sont compris entre 7,5 g pour le lot NN2 et 13,5 g pour le lot PQ2 (figure 3), pour une moyenne de $10,0 \pm 1,5$ g pour les lots de la lignée CH, $10,2 \pm 2,0$ g pour les lots de la lignée CB et $8,3 \pm 0,6$ g le témoin (tableau 9). Aucune différence significative de croissance entre les cheptels n'a été observée entre les 2 lignées consanguines et entre les 2 lignées et le témoin (temps*qualité) (tableau 10).

Tableau 10 : ANCOVA du poids individuel entre les 2 lignées, et entre les lignées CH, CB et les témoins pour la période comprise entre le 16/07/03 et le 08/10/03 sur le site de Ronce (le facteur temps n'est pas indiqué).

Source	Lignée CH et CB			Lignée CH et CB, témoin 2N		
	ddl	F	p	ddl	F	p
Qualité	1	0	0,9475	2	0,62	0,5495
Lot(qualité)	21	19,17	<0,0001	21	19,28	<0,0001
Temps*qualité	1	0,01	0,9268	2	0,34	0,7188
Temps*lot(qualité)	21	8,79	<0,0001	21	8,83	<0,0001
Erreur	6564			6861		

3.2.3. Rendement

Le rendement moyen des 3 catégories de cheptels est indiqué en tableau 9. Une différence significative de rendement a été obtenue entre les 2 lignées consanguines ($F = 11,66$; $p = 0,0026$) et entre les 2 lignées et le témoin ($F = 5,83$; $p = 0,0097$). Dans les 2 cas, la lignée CH a présenté un rendement journalier moyen significativement plus important que celui de la lignée CB. Le témoin a montré un rendement intermédiaire et significativement différent de ceux des 2 lignées consanguines.

3.3. Série 3 : G3C2

3.3.1. Survie

Après la période estivale, les mortalités ont été comprises entre 78 % pour le lot CC et 20 % pour le lot HH (figure 5). Les mortalités moyennes des lignées CH et CB, et du témoin sont indiquées en tableau 11. Des différences significatives de survie ont été observées entre les lignées CH et CB ($\chi^2 = 268,06$; $p < 0,0001$), et entre les 2 lignées consanguines et le témoin ($\chi^2 = 292,41$; $p < 0,0001$). Dans les 2 cas, la lignée CB a présenté des survies significativement plus faibles comparées à la lignée CH et au témoin. Concernant la comparaison des performances de survie entre le témoin et la lignée CH, aucune différence significative de survie n'a été obtenue entre ces 2 cheptels ($\chi^2 = 1,00$; $p = 0,32$).

Tableau 11 : Mortalité moyenne (%), poids individuel moyen (g) et rendement journalier moyen (%.j⁻¹) des cheptels produits en G3C2 le 08 octobre 2003 sur le site de Ronce (première génération de consanguinité).

Qualité des cheptels	Mortalité (%)	Poids individuels (g)	Rendement (%.j ⁻¹)
CH	29,1 ± 7,5	6,9 ± 0,4	3,0 ± 0,6
CB	61,8 ± 11,2	7,1 ± 0,5	1,0 ± 0,7
Témoin 2N	24,0 ± 5,2	8,3 ± 1,0	4,5 ± 1,1
Moyenne	44,6 ± 19,2	7,1 ± 0,5	2,1 ± 1,3

3.3.2. Poids individuels

A la mise en élevage, les poids individuels étaient en moyenne de $1,52 \pm 0,73$ g pour la lignée CH, $1,57 \pm 0,75$ g pour la lignée CB et $1,38 \pm 0,65$ g pour le témoin. Aucune différence significative de poids individuel entre les 2 lignées consanguines, et entre les 3 cheptels n'a été observée à la mise en élevage (qualité) (tableau 12). La figure 5 montre le poids individuel moyen obtenu pour tous les lots produits dans le cadre de la G3C2 le 08/10/03. Les poids moyens à la fin de la période estivale sont indiqués en tableau 11. Aucune différence significative de croissance n'a été obtenue entre les lignées CH et CB, et entre les 2 lignées consanguines et le témoin (temps*qualité) (tableau 12).

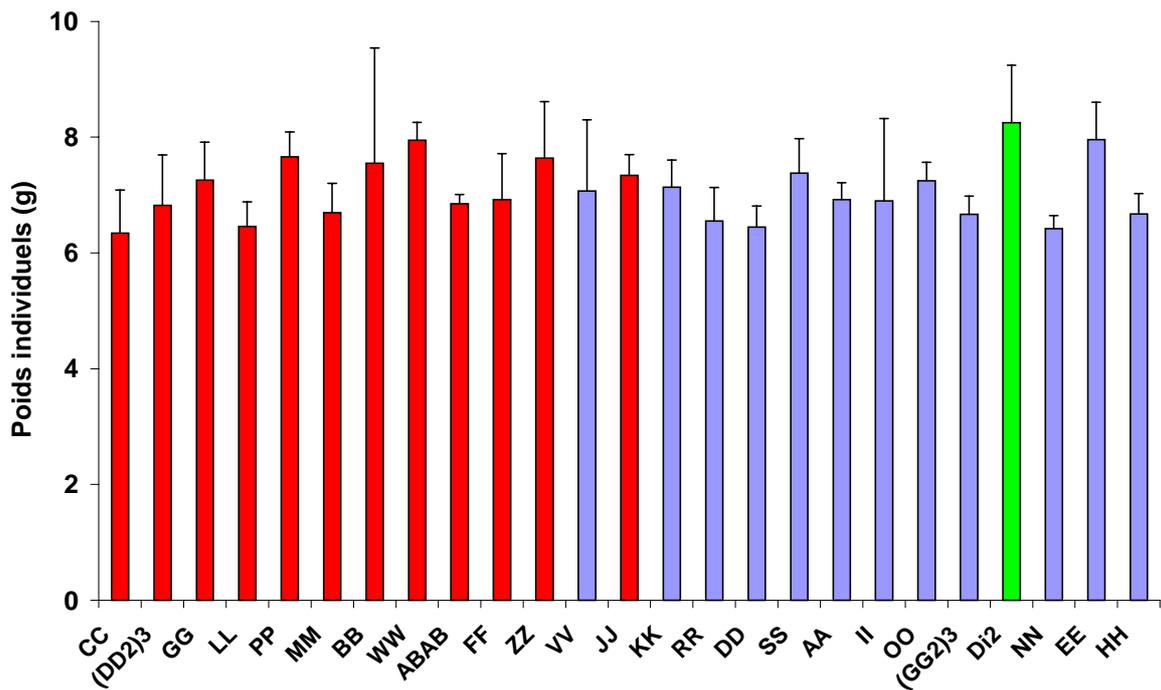
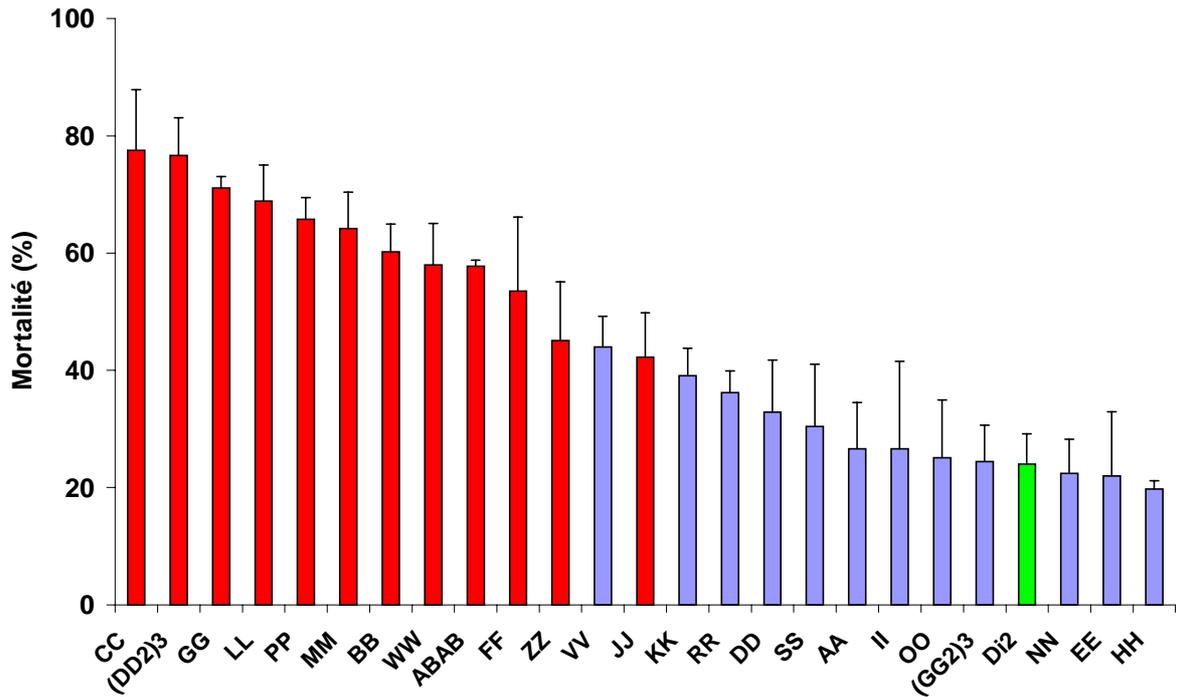


Figure 5 : Mortalité moyenne (%) et poids individuel moyen (g) des lots produits en G3C2 et écart-types le 08 octobre 2003 sur le site de Ronce (première génération de consanguinité) (en rouge : descendants issus de lots ‘sensibles’, en bleu : descendants issus de lots ‘résistant’, vert : témoin diploïde).

Tableau 12 : ANCOVA du poids individuel entre les 2 lignées, et entre les lignées CH, CB et le témoin pour la G3C2 pour la période comprise entre le 11/06/03 et le 08/10/03 sur le site de Ronce (le facteur temps n'est pas indiqué).

Source	Lignée CH et CB			Lignée CH et CB, témoin 2N		
	ddl	F	p	ddl	F	p
Qualité	1	0,22	0,6405	2	1,63	0,2196
Lot(qualité)	22	7,52	<0,0001	22	7,57	<0,0001
Temps*qualité	1	0,04	0,8445	2	2,11	0,1451
Temps*lot(qualité)	22	5,78	<0,0001	22	5,82	<0,0001
Erreur	7277			7582		

3.3.3. Rendement

Les rendements journaliers moyens des 3 catégories de cheptels sont indiqués en tableau 11 pour une moyenne de $2,1 \pm 1,3 \text{ \%} \cdot \text{j}^{-1}$. Des différences significatives de rendement ont été obtenues entre les lignées CH et CB ($F = 59,58$; $p < 0,0001$) et entre les 2 lignées et le témoin ($F = 36,84$; $p < 0,0001$). La comparaison des rendements journaliers entre les 2 lignées a montré que les lots de la lignée CH ont présenté des performances significativement plus importantes comparées à celles des lots de la lignée CB. De même, le témoin a montré des rendements significativement plus important comparé à ceux des 2 lignées.

4. Discussion

4.1. Témoins diploïdes

Pour les 3 séries de croisements réalisés en 2003, des témoins diploïdes ont été réalisés à partir de géniteurs issus d'une même population. A la fin de la période estivale, les taux de mortalité relevés pour ces témoins étaient de 48 % en G3SD, 62 % en G3C1 et 24 % en G3C2. La date de mise sur site pendant la période estivale et la durée d'élevage *in situ* n'ont pas d'influence sur les mortalités estivales pour le naissain d'écloserie âgé de moins d'une année ce qui exclue ces facteurs comme pouvant expliquer la grande variabilité des mortalités observées pour les témoins diploïdes en 2003 (Dégremont, 2003). Même si les trois témoins n'ont pas été testés dans les mêmes sites d'élevage (G3SD testé en rivière d'Auray - G3C1 et G3C2 testés à Ronce), il a été montré en première et seconde génération que les performances de survie étaient similaires pour les sites de Ronce et la rivière d'Auray même si ce dernier montrait des mortalités plus importantes pour les lots ayant un génotype 'sensible' (Dégremont, 2003). Nos résultats montrent que les mortalités les plus importantes ont été obtenues sur le site de Ronce pour le témoin produit en G3C1. De plus, dans un environnement commun, les mortalités du témoin d'écloserie ont été de 62 % en G3C1 et 24 % en G3C2. Par conséquent, le facteur environnemental ne peut expliquer la totalité de la variabilité des mortalités observées pour les témoins d'écloserie. A l'inverse, le facteur génétique pourrait le mieux expliquer les résultats obtenus qui seraient la conséquence du choix aléatoire des parents au sein de la population naturelle. Cette hypothèse est renforcée par le fait que pour des raisons zootechniques, un faible nombre de géniteurs (10 à 20) a été utilisé pour la constitution de ces témoins. **A l'avenir, il est donc nécessaire d'utiliser un nombre plus important de géniteurs (environ 50) pour la constitution des lots témoins non sélectionnés afin de limiter la variabilité des mortalités estivales du naissain de moins d'une année.**

4.2. Série 1 : G3SD

4.2.1. Survie

Survies des lignées haute et basse, et du témoin 2N :

Les mortalités estivales observées pour les lots de la G3SD en 2003 ont été plus importantes en comparaison à celles obtenues pour les lots de la G2SD en 2002 sur le site de la rivière d'Auray. Le témoin diploïde non sélectionnée a montré ainsi une mortalité de 47,8 % en 2003 contre 23,7 % en 2002 (Dégremont, 2003). Les mêmes constats ont été obtenus pour les 2 lignées de la sélection divergente avec des mortalités moyennes de 7,2 % et 43,3 % en 2002 respectivement pour la lignée haute et la lignée basse contre 27,1 % et 72,5 % en 2003. **L'intensification des mortalités estivales en 2003 pour ces cheptels produits en éclosion et âgées de moins 8 mois en octobre, est estimée à environ 20 à 30 % sur le site de la rivière d'Auray.**

Cette « sur-mortalité » est probablement la conséquence des températures élevées en 2003 sur le site de la rivière d'Auray. Ce facteur est en effet souvent associé à des épisodes de mortalités estivales chez *C. gigas* (Glude, 1975 ; Koganezawa, 1975 ; Ventilla, 1984 ; Maurer *et al.*, 1986 ; Gouletquer *et al.*, 1998 ; Cheney *et al.*, 2000) notamment en France lorsque la température de l'eau excède les 19°C (Moal *et al.*, 2003 ; Soletchnik *et al.*, 2003). En 2003, les températures de l'eau de mer enregistrées sur le site de la rivière d'Auray dépassaient les 19°C dès la mise en élevage le 01/07/03. Elles ont ensuite atteint les 24 °C début août avant de redescendre sous les 19°C uniquement après la première semaine de septembre (Ropert, 2003). **Les températures élevées en 2003 peuvent alors expliquer l'intensité plus importante des mortalités estivales pour les juvéniles issus d'éclosion.**

Les lots de la lignée haute ont montré une mortalité inférieure de 43,3 % en comparaison à la mortalité du témoin diploïde non sélectionné. Pour les lots de la lignée basse, la mortalité moyenne était supérieure de 51,7 % par rapport au témoin diploïde non sélectionné. **Des mortalités différentielles entre les lignées haute et basse et les témoins ont de nouveau été observées indiquant une réponse positive forte à la sélection de la survie** confirmant les résultats obtenus en 2002 pour la G2SD (Dégremont, 2003).

Survies des témoins 3N :

En 2002 sur le site de la rivière d'Auray, le témoin triploïde produit a montré des survies équivalentes aux lots issus de la lignée haute. De même, la survie du lot triploïde a été significativement plus importante comparée à celle du témoin diploïde non sélectionné et à celle des lots de la lignée basse (Dégremont, 2003). Aucune conclusion sur l'effet de la triploïdie sur les performances de survies en période estivale n'avait été émise à cause de l'absence de réplicat triploïde malgré des survies équivalentes à celles de la lignée haute. Pour la G3SD, aucune différence de survie n'a été mise en évidence entre les témoins 2N et 3N. De même, les lots triploïdes ont montré des mortalités significativement plus importantes en comparaison des lots de la lignée haute. **Ces résultats permettent d'affirmer que la triploïdie ne permet pas une amélioration significative de la survie en période estivale pour des juvéniles de *C. gigas* âgés de moins d'une année dans le cas de notre expérience.**

Par contre, l'importance du stock de femelles utilisées pour l'obtention des triploïdes permet d'obtenir une amélioration ou une diminution des performances de survies des descendants. L'utilisation de femelles diploïdes sélectionnées pour leurs résistances aux épisodes de mortalités estivales pour la constitution des triploïdes a permis une diminution significative de la mortalité avec des mortalités inférieures de 30 % en comparaison du lot de triploïde issu de femelles non sélectionnées. De même, l'utilisation de femelles sélectionnées comme 'sensibles' aux mortalités estivales a entraîné une augmentation de la mortalité estivale du lot triploïde de 15 % par rapport au lot triploïde issu de femelles non sélectionnées. **La composante génétique de la survie intervient donc de manière significative sur les performances de survies des triploïdes par l'intermédiaire de la sélection des femelles diploïdes. Ces résultats montrent également que la survie est un caractère fortement héritable.** A partir des résultats obtenus en seconde génération, l'amélioration génétique de la survie en période estivale par l'intermédiaire de programme de sélection permet une amélioration significative de la survie des cheptels diploïdes produits en éclosion (Dégremont, 2003). La même conclusion est donc obtenue pour les triploïdes de part l'utilisation de femelles diploïdes sélectionnées comme résistantes. L'amélioration significative de la survie pour les triploïdes issus des femelles sélectionnées permet également d'envisager un gain encore plus important en utilisant des mâles tétraploïdes 'résistant' aux mortalités estivales. En effet, les chromosomes des triploïdes proviennent pour 2/3 du matériel paternel contre 1/3 du matériel maternel. **Il serait donc intéressant de produire des souches de tétraploïdes issues des lots sélectionnés comme 'résistant' pour définir le gain**

de survie. Pour cela, il est nécessaire de comparer les performances de survies de triploïdes issus de mâles tétraploïdes sélectionnés et non sélectionnés croisés avec des femelles non sélectionnées et des femelles sélectionnées ‘résistantes’ et ‘sensibles’ aux mortalités estivales. Ces 6 cheptels de triploïdes seraient ensuite comparés à des diploïdes non sélectionnés et sélectionnés ‘résistant’ ou ‘sensibles’. Ainsi, cette expérience devrait permettre de conclure (1) du gain de la survie des triploïdes par l’intermédiaire de la sélection via les femelles et les mâles, (2) de l’effet de la ploïdie sur les performances de survie des juvéniles en période estivale lors de leur première année sur estran.

4.2.2. Poids individuel

Aucune différence significative de croissance n’a été obtenue entre les 2 lignées et entre les 2 lignées et les témoins 2N et 3N, confirmant les résultats obtenus en G2SD (Dégremont, 2003). La sélection de la survie en période estivale n’a donc pas d’effet sur la croissance des juvéniles de *C. gigas* contrairement aux observations de Beattie (1985).

4.2.3. Rendement

Les rendements journaliers des lots de lignée haute sont en moyenne 4 fois plus importants que ceux des lots de la lignée basse (tableau 7). De même, la lignée haute présente des rendements significativement plus importants en comparaison des témoins et de la lignée basse. **Ces différences de rendement sont uniquement la résultante des survies puisque les croissances entre les 4 cheptels ont été identiques.** Les rendements journaliers de la G2SD ont été jusqu’à 5 fois plus importants en comparaison de ceux obtenus pour la G3SD (Dégremont, 2003). Le rendement dépendant à plus de 80 % de la survie sur le site de la rivière d’Auray (Dégremont, 2003), les faibles rendements de la G3SD sont la conséquence des fortes mortalités observées en 2003.

4.3. Série 2 : G3C1

4.3.1. Survie

En 2003, les mortalités des cheptels de la G3C1 étaient de 34,6 %, pour la lignée CH, 72,8 % pour la lignée CB, et 61,6 % pour le témoin non sélectionné. En 2002, les mortalités des cheptels de la G2C1 sur le site de Ronce ont atteint 3,8 %, 43,4 % et 3,7 % respectivement pour la lignée CH, la lignée CB et le témoin. L'intensification des mortalités en 2003 comparées à l'année précédente provient vraisemblablement des conditions environnementales différentes notamment vis à vis de la température de l'eau de mer. En 2002, les températures de l'eau de mer n'ont jamais excédé les 22°C à Ronce (Dégremont, 2003) alors qu'en 2003, les températures dépassaient les 22°C dès la mise en élevage pour atteindre un pic à 26°C au 10 août. Les températures de l'eau de mer ont ensuite diminué progressivement pour redescendre sous les 22°C après le 1^{er} septembre (Ropert, 2003). Des températures de l'eau de mer sont depuis longtemps associées à des épisodes de mortalités estivales chez *Crassostrea gigas* (Glude, 1975 ; Koganezawa, 1975 ; Ventilla, 1984 ; Maurer *et al.*, 1986 ; Gouletquer *et al.*, 1998 ; Cheney *et al.*, 2000). Les températures de l'eau de mer très élevées en 2003 peuvent être alors responsables des mortalités enregistrées pour les lots de la G3C1.

Comme pour la G2C1, des mortalités différentielles entre les lignées CH et CB ont de nouveau été observées indiquant une réponse positive à la sélection. La comparaison des performances de survie des 3 catégories de cheptels montre que la survie ne serait pas un caractère soumis à la dépression de consanguinité après deux générations de sélection.

L'analyse en détail de la mortalité des différents lots a montré une mortalité estivale de 91,6 % pour le VV2. Ce lot est issu des familles sélectionnées pour leur résistance aux mortalités, et il descend du croisement de la seconde génération entre les femelles de la famille F15-58 et les mâles de la famille F15-57 et ayant donné le lot V2 (tableau 1). En 2002, ce lot n'a montré que 0,7 % de mortalité après la période estivale lors de la caractérisation sur estran (Dégremont, 2003). Il est également à noter que 3 autres lots de la G3C1 ayant pour ancêtre commun le mâle 15 (WW2, SS2 et RR2) ont montré des mortalités importantes, comprises entre 49,1 % et 65,6 %, comparées aux descendants des autres mâles sélectionnés pour leur phénotype 'résistant' aux phénomènes des mortalités estivales (6,0 % à 35,3 %) (figure 3). Même si les mortalités estivales étaient beaucoup plus faibles en 2002, le même

constat a été obtenu en G2C1 avec des mortalités comprises entre 7,9 % et 12,1 % pour les lots W2, S2 et R2 contre moins de 3,5 % pour les autres lots descendants des familles sélectionnées ‘résistantes’. Pour les lots ayant pour ancêtre commun le mâle 7, les mortalités estivales ont été plus faibles comparées aux descendants des autres mâles sélectionnés comme ‘sensibles’, confirmant les résultats obtenus en 2002 pour les lots de la lignée CB de la G2C1 (Dégremont, 2003). Ces résultats suggèrent que la résistance ou la sensibilité des huîtres aux phénomènes des mortalités estivales puisse rapidement devenir nulle avec des mortalités équivalentes à celles obtenues pour le témoin contrôle non sélectionné. **La consanguinité a donc un effet sur les performances de survies observées entraînant une réponse à la sélection négative pour les descendants des mâles 7 et 15.** La sélection de la survie en période estivale peut donc s’avérer inutile après deux générations de sélection faisant intervenir de la consanguinité. Ce constat n’est toutefois pas valable pour tous les lots avec un maintien de bonnes performances de survie pour les descendants des mâles 2 et 9 et un maintien des mauvaises performances de survies pour les descendants des mâles 4 et 14..

4.3.2. Poids individuel

Dans le cadre du programme ‘Morest’ et pour la G2C1 en 2002, les lots de la lignée CH ont montré une croissance significativement plus importante par rapport aux lots de la lignée CB et le témoin après les caractérisations sur estran et en laboratoire (Dégremont, 2003), ce qui est à l’opposé des résultats obtenus aux Etats-Unis par Beattie (1985). En effet, il a observé une diminution de la croissance pour les descendants des huîtres sélectionnées pour leur résistance aux mortalités estivales par rapport aux contrôles. Dans le cadre de notre étude, la sélection de la survie en période estivale chez les juvéniles n’a entraîné aucune différence significative de croissance entre les 2 lignées, et entre les 2 lignées et le témoin. **La sélection de la survie n’a donc aucun effet sur les performances de croissance des juvéniles de l’huître creuse** confirmant les observations des lots de la G2SD en 2002 (Dégremont, 2003). Les lignées CH et CB ont montré respectivement un poids individuel moyen supérieur de 20 % et 23 % en comparaison au témoin non consanguin. **La croissance des juvéniles pendant la période estivale n’est donc pas soumise à la dépression de consanguinité** confirmant les résultats de la G2C1 en 2002 (Dégremont, 2003).

4.3.3. Rendement

Comme pour la G2SD et la G2C1, des différences significatives de rendement ont été obtenues entre les 2 lignées et entre les 2 lignées et le témoin (Dégremont, 2003). **Ces différences de rendement sont uniquement la résultante des survies puisque les croissances entre les 3 cheptels ont été identiques.** Les rendements journaliers de la G3C1 ont été 4 fois plus faibles pour la lignée CH, 18 fois plus faibles pour la lignée CB et 7 fois plus faibles pour le témoin comparé à ceux obtenus en G2SD pour des dates d'introduction similaires. Le rendement dépendant à plus de 80 % de la survie sur le site de Ronce, les faibles rendements de la G3C1 sont la conséquence des fortes mortalités observées en 2003 (Dégremont, 2003).

4.4. Série 3 : G3C2

4.4.1. Survie

Des mortalités différentielles entre les lignées consanguines CH et CB ont de nouveau été obtenues confirmant **la réponse positive à la sélection pour la survie chez les juvéniles de l'huître *Crassostrea gigas***. L'absence de différence significative de survie entre la lignée CH et le témoin indique **qu'il n'existe pas de dépression de consanguinité pour la survie en période estivale après une génération de sélection faisant intervenir le facteur consanguinité**, confirmant les résultats obtenus pour la G2C1 (Dégremont, 2003).

En 2002, les mortalités après la période estivale obtenues pour la G2SD étaient de 5,0 %, 33,1 % et 7,9 % respectivement pour la lignée CH, la lignée CB et le témoin (Dégremont, 2003). Comme pour la G3C1 comparé à la G2C1, les mortalités de la G3C2 sont plus importantes comparées à celles obtenues pour la G2SD en 2002. Les températures élevées de l'eau de mer seraient une des causes responsables des fortes mortalités en 2003 pour des naissains issus d'écloserie.

4.4.2. Poids individuels

Comme pour la G3C1 et la G2SD, aucune différence significative de croissance n'a été obtenue entre les 2 lignées et entre les 2 lignées et le témoin (Dégremont, 2003). Ce résultat confirme que **la sélection de la survie pour des juvéniles de *C. gigas* en période estivale n'entraîne pas d'effet négatif sur la croissance des lots sélectionnés** contrairement aux observations de Beattie (1985). A la fin de la période estivale, les lignées CH et CB de la G3C1 ont montré respectivement un poids individuel moyen supérieur de 20 % et 23 % en comparaison au témoin. Pour la G3C2, le résultat inverse a été obtenu avec le témoin qui a présenté un poids individuel moyen supérieur de 20 % et 17 % respectivement en comparaison aux lignées CH et CB. La dépression de consanguinité pourrait expliquer ce résultat mettant en évidence pour la première fois cet effet dans le cadre du programme Morest. Il est à rappeler que le témoin d'écloserie a été produit à partir d'individus non sélectionnés. Compte tenu que pour la G2C1 après une génération en consanguinité et que pour la G3C1 après deux générations en consanguinité, les témoins produits ont présenté des poids individuels inférieurs à ceux des lignées consanguines (Dégremont, 2003), il semblerait

que les résultats obtenus pour la G3C2 résulteraient plus d'effet parentaux qu'à une réelle influence de la dépression de consanguinité.

4.4.3. Rendement

De nouveau, les différences de rendement obtenues entre les cheptels résultent des survies compte tenu que les croissances ont été identiques confirmant les résultats de la G3C1. En 2002, les lots de la G2C1 ont montré des rendements journaliers supérieurs de 39 % pour la lignée CH, 86 % pour la lignée CB et 22 % pour le témoin en comparaison des lots de la G3C2. Comme pour la G3C1, ce résultat est la conséquence des mortalités plus importantes observées en 2003 du fait de la forte contribution de la survie (80 %) dans l'explication du rendement sur le site de Ronce (Dégremont, 2003).

II. « Caractérisation en laboratoire » des 3 séries produites en troisième génération

1. Introduction

En 2002, 4 expériences de caractérisations en laboratoire ont été réalisées montrant dans tous les cas des différences significatives entre les lignées descendants des familles sélectionnées pour leurs 'résistances' ou leurs 'sensibilités' aux épisodes de mortalités estivales (Dégremont, 2003). L'environnement du laboratoire a donc permis d'obtenir une réponse positive à la sélection confirmant les résultats obtenus sur estran. De plus, il a été montré qu'en laboratoire, les mortalités se produisaient plus rapidement et à des intensités plus importantes en comparaison à ce qui est observé sur estran. Afin de confirmer ces les résultats obtenus en 2002, les lots des 3 séries produits en troisième génération ont été de nouveau suivi en laboratoire en supplément de la caractérisation sur estran.

2. Matériel et méthodes

Les trois séries produites en troisième génération dans le cadre du programme 'Morest' ont été suivies en laboratoire dans des bassins en béton de 15 m³ au Laboratoire de Génétique et Pathologie de la station Ifremer de La Tremblade. Comme pour la caractérisation sur estran, les naissains ont été mis dans des demi-poches de maille 7 mm. Les lots ont ensuite été testés sur des tables en surélevées disposées dans les bassins. Chaque série a été mise dans des bassins indépendants. Deux sondes de température (« Thermo Track Pcpro ») ont été déposées dans chacun des bacs. Ces thermoboutons ont été calibrés pour prendre une mesure toutes les quinze minutes. Un système d'aération a également été installé dans chacun des bassins. Les bassins ont été nettoyés toutes les semaines, et un contrôle visuel de la présence ou de l'absence de mortalité a été effectué lors du nettoyage. A l'apparition des mortalités, deux comptages ont été réalisés le 26 août et le 04 septembre date de la fin de l'expérience des caractérisations en laboratoire.

2.1. Série 1 : G3SD

Les lots de la G3SD ont été transférés de la nurserie du Laboratoire Conchylicole des Pays de Loire au Laboratoire de Génétique et Pathologie de la station Ifremer de La

Tremblade le 25 juin 2003, soit 128 jours après la fécondation. Les lots testés pour cette caractérisation en laboratoire sont indiqués en tableau 1. Chaque lot est constitué de trois réplicats de 75 individus.

2.2. Série 2 : G3C1

Les lots de la G3C1 ont été transférés le 9 juillet 2003 soit 108 jours après la fécondation, à raison de trois réplicats de 150 individus par lot. Les lots suivis pour chaque catégorie de cheptel sont indiqués en tableau 1.

2.3. Série 3 : G3C2

Les lots de la G3C2 ont été transférés le 24 juillet 2003 soit 87 jours après la fécondation, à raison de trois réplicats de 150 individus par lot. Les lots testés sont indiqués en tableau 13.

Tableau 13 : Lots suivis pour les caractérisations en laboratoire.

Cheptels	G3SD	G3C1	G3C2
Lignée haute	AJ2-AO2-AR2-AW2	AA2-CC2-FF2-GG2	AA-DD-EE-HH
	GJ2-GO2-GR2-GW2	JJ2-KK2-NN2-OO2	II-KK-NN- OO-
	JR2-JW2-OR2-OW2	RR2-SS2-VV2-WW2	RR-SS-VV-(GG2)3
Lignée basse	BE2-BL2-BM2-BP2	YY2-YB2-BB2	WW-ZZ-ABAB
	DE2-DL2-DM2-DP2	EE2-HH2-II2-LL2	BB-CC-FF-GG- JJ
	EM2-EP2-LM2-LP2	MM2-PP2-PQ2-QQ2	LL-MM-PP-(DD2)3
Témoin	T2N-T3N	Di1	Di2
	T3NR-T3NS		

2.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées pour les 3 séries de la troisième génération pour le comptage final du 4 septembre 2003. Les probabilités de survie ont été analysées en utilisant une régression logistique pour des données binomiales et l'option "logit" par l'intermédiaire de la procédure GENMOD du logiciel SAS (Littell *et al.*, 2002). Un test de

comparaison entre les différents cheptels (lignées haute et basse, T2N, T3N, T3NR et T3NS)
a été effectué par l'option "lsmeans" de la procédure.

3. Résultats

3.1. Température

L'évolution de la température au cours de l'expérience est représentée sur la figure 6. Les températures moyennes de l'eau de mer étaient de $22,1 \pm 1,4^{\circ}\text{C}$, $23,0 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ et $23,4 \pm 1,9^{\circ}\text{C}$ respectivement pour les séries G3SD, G3C1 et G3C2.

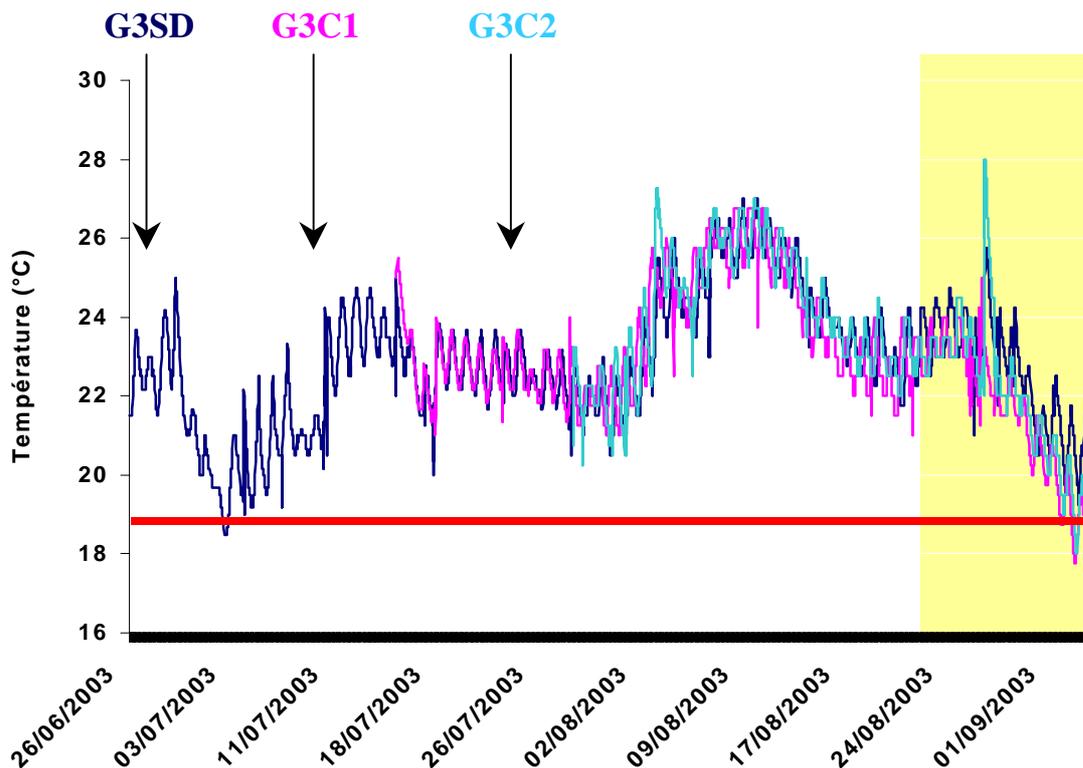


Figure 6 : Evolution de la température de l'eau de mer pendant la caractérisation en laboratoire. Les flèches indiquent le début des caractérisations en laboratoire pour les 3 séries. La partie jaune du graphique correspond à l'apparition des mortalités. Les courbes bleu foncée, mauve et bleu claire représentent les évolutions des températures de l'eau de mer respectivement pour les séries G3SD, G3C1 et G3C2. La droite rouge représente la température de 19°C .

3.2. Série 1 : G3SD

Du 25 juin au 22 août 2003, les mortalités sont restées inférieures à 5 %. Par contre, un épisode de mortalité important s'est produit pour l'ensemble des lots de la G3SD entre le 22

août et le 04 septembre. A cette date, les mortalités moyennes obtenues pour les différents lots de la G3SD sont comprises entre 19,3 % pour le lot GJ2 et 66,6 % pour le lot BP2 (figure 7).

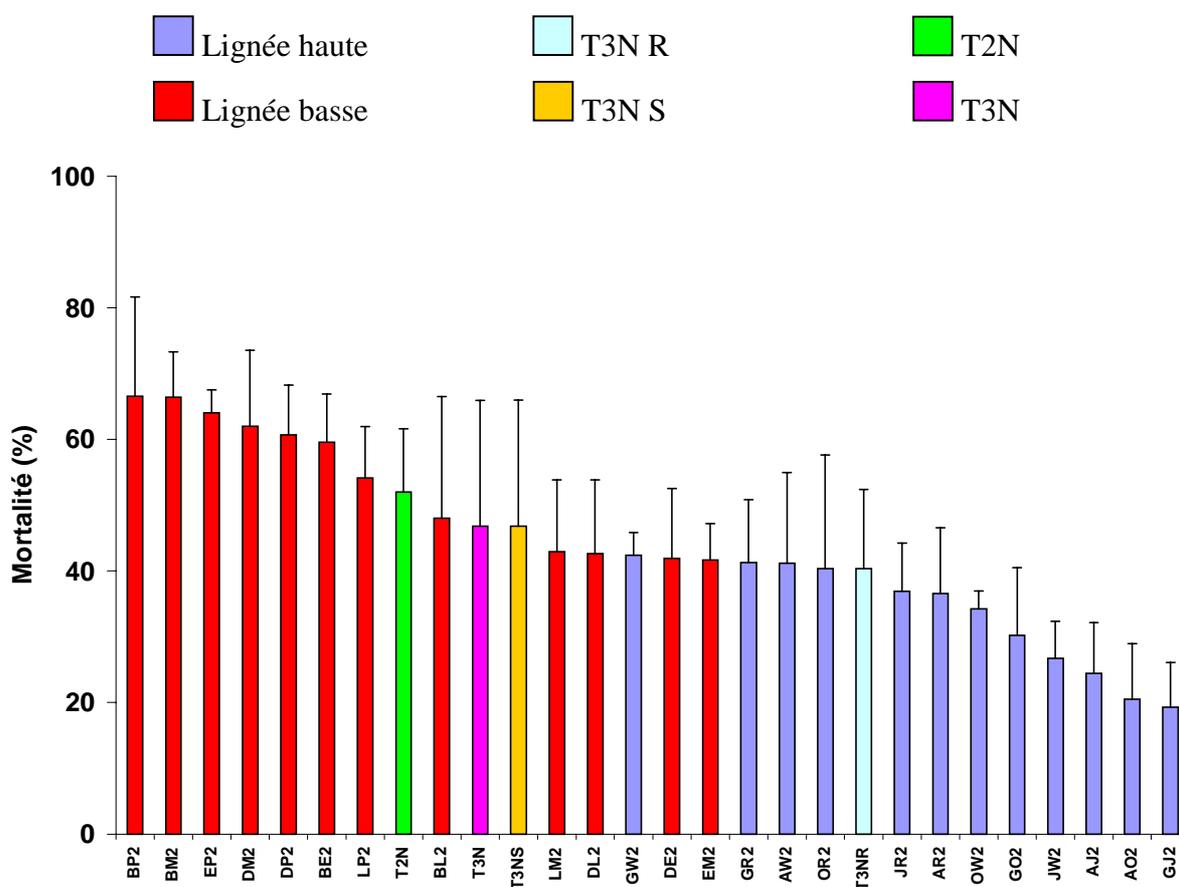


Figure 7 : Mortalités moyennes et écarts types des lots de la G3SD lors de la caractérisation en laboratoire au 04/09/03.

Les mortalités moyennes des différents cheptels étaient de 43,9 % à la fin de l'expérience le 04/09/03 (tableau 14). La lignée haute présente les mortalités les plus faibles avec 32,8 % contre 54,2 % pour la lignée basse. Une différence significative de survie entre les lignées haute et basse a été mise en évidence ($\chi^2 = 79,57$; $p < 0,0001$) avec les meilleures performances de survie pour la lignée haute.

De même, une différence significative de survie entre les lignées haute et basse et les témoins 2N, 3N, 3NR et 3NS a été observée ($\chi^2 = 69,56$; $p < 0,0001$). Les tests statistiques ont permis de distinguer trois groupes (tableau 14). Le premier groupe identifié correspond aux cheptels de la lignée haute et au témoin triploïde issu des femelles sélectionnées 'résistantes' aux mortalités estivales. Le second groupe comprend tous les témoins 2N et 3N.

Enfin, le dernier groupe est constitué des cheptels non issus de lot sélectionné comme ‘résistant’, c’est à dire les témoins T3NS, T3N et T2N ainsi que la lignée basse.

Tableau 14 : Mortalités moyennes (%) au 04/09/03 des différents cheptels des 3 séries produites en troisième génération lors de la caractérisation en laboratoire. (les lettres représentent le classement entre les groupes avec des différences significatives entre chaque lettre).

Cheptels	G3SD	G3C1	G3C2
Lignée haute	32,8 ± 8,4 ^a	48,1 ± 26,1 ^a	26,8 ± 11,3 ^a
Lignée basse	54,2 ± 10,2 ^c	82,0 ± 13,8 ^c	46,3 ± 14,9 ^b
T2N	52,0 ± 9,6 ^{bc}	75,1 ± 6,0 ^b	15,5 ± 1,6 ^a
T3NR	40,3 ± 12,0 ^{ab}	/	/
T3NS	46,8 ± 19,2 ^{bc}	/	/
T3N	46,8 ± 19,1 ^{bc}	/	/
Moyenne	43,9 ± 13,3	64,8 ± 26,4	35,7 ± 16,5

3.3. Série 2 : G3C1

Aucune mortalité supérieure à 5 % n’a été relevée entre le début de la caractérisation en laboratoire et le 22 août 2003. De la même façon que pour la série G3SD, un épisode de mortalité a touché les lots de la G3C1. Les mortalités obtenues des 24 lots testés pour cette série sont comprises entre 23,3 % pour le lot AA2 et 93,5 % pour le lot YB2 pour une moyenne de 64,8 % (figure 8)(tableau 14). Les taux de mortalités moyens des 3 cheptels sont indiqués en tableau 14.

Les tests statistiques ont montré des performances de survie significativement différente entre les lignées haute et basse ($\chi^2 = 189,25$; $p < 0,0001$). Les meilleures survies ont été obtenues pour les lots de la lignée haute (51,9 %) alors que les lots de la lignée basse ont montré une survie moyenne inférieure à 20 %.

Une différence significative de survie entre les 2 lignées sélectionnées et le témoin 2N a également été obtenue ($\chi^2 = 177,20$; $p < 0,0001$). La comparaison des 3 cheptels a permis de distinguer 3 groupes. La lignée haute a montré des survies significativement plus importantes en comparaison des deux autres cheptels. Le témoin 2N a présenté une survie intermédiaire et significativement différente des survies des 2 lignées. Enfin, la lignée basse a

montré une survie significativement plus faible par rapport à celles du témoin et de la lignée haute (tableau 14).

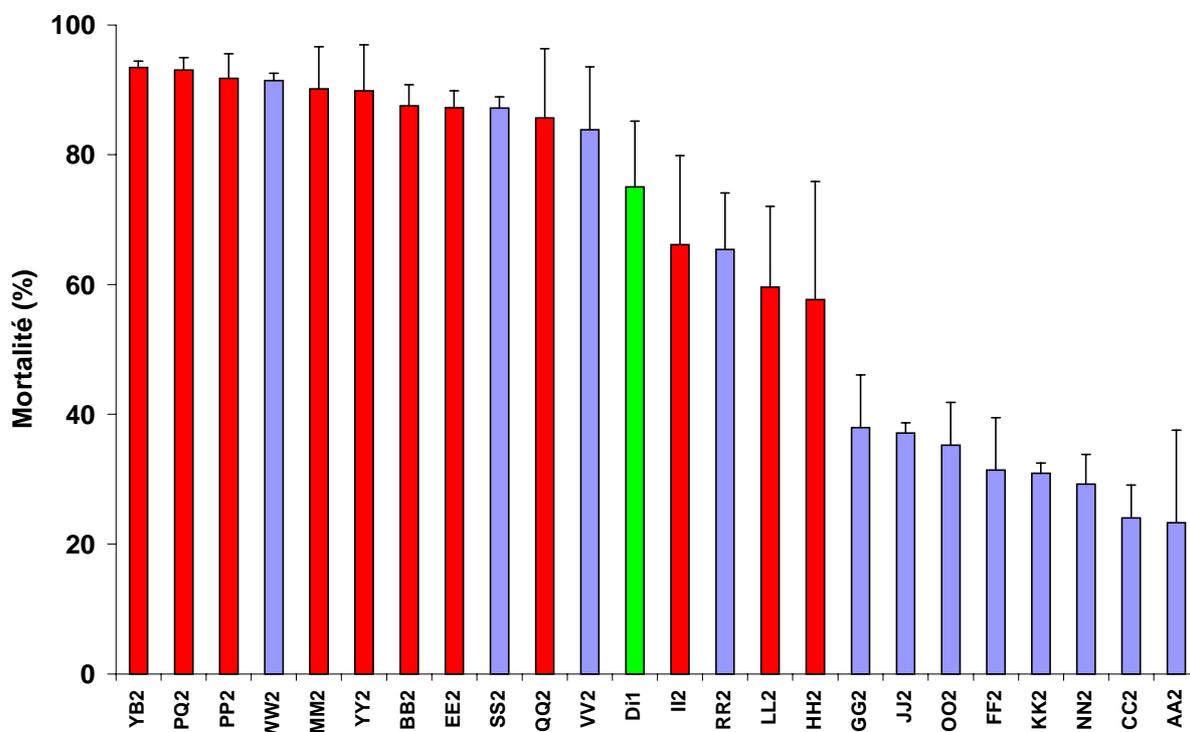


Figure 8 : Mortalités moyennes et écarts types des lots de la G3C1 lors de la caractérisation en laboratoire au 04/09/03. (en rouge : descendants issus de lots 'sensibles', en bleue : descendants issus de lots 'résistant', vert : témoin diploïde).

3.4. Série 3 : G3C2

De la même manière que pour les 2 séries précédentes, aucune mortalité supérieure à 5 % n'a été observée entre la date du transfert, c'est à dire le 24 juillet 2003, et le 22 août. Des mortalités importantes sont ensuite apparues entre le 22 août et le 04 septembre 2003. La figure 9 représente les mortalités moyennes obtenues pour chacun des lots de la G3C2. Les mortalités enregistrées pour les lots de la G3C2 étaient en moyenne de 35,7 % au 4 septembre (tableau 14). Les mortalités ont atteint en moyenne 26,8 % pour la lignée haute et 46,3 % pour la lignée basse. Une différence significative de survies entre les 2 lignées a été obtenue ($\chi^2 = 49,82$; $p < 0,0001$) avec des survies significativement plus importantes pour les lots de la lignée haute par rapport aux lots de la lignée basse.

La comparaison des performances de survies entre les 2 lignées et le témoin diploïde a également montré une différence significative de survie entre les 3 cheptels ($\chi^2 = 65,15$; $p < 0,0001$). Deux groupes ont été mis en évidence : (1) le premier comprend la lignée haute et le témoin diploïde, ces 2 cheptels ayant des survies similaires (2) le second est représenté par la lignée basse qui a présenté une survie significativement plus faible par rapport aux 2 autres cheptels (tableau 14).

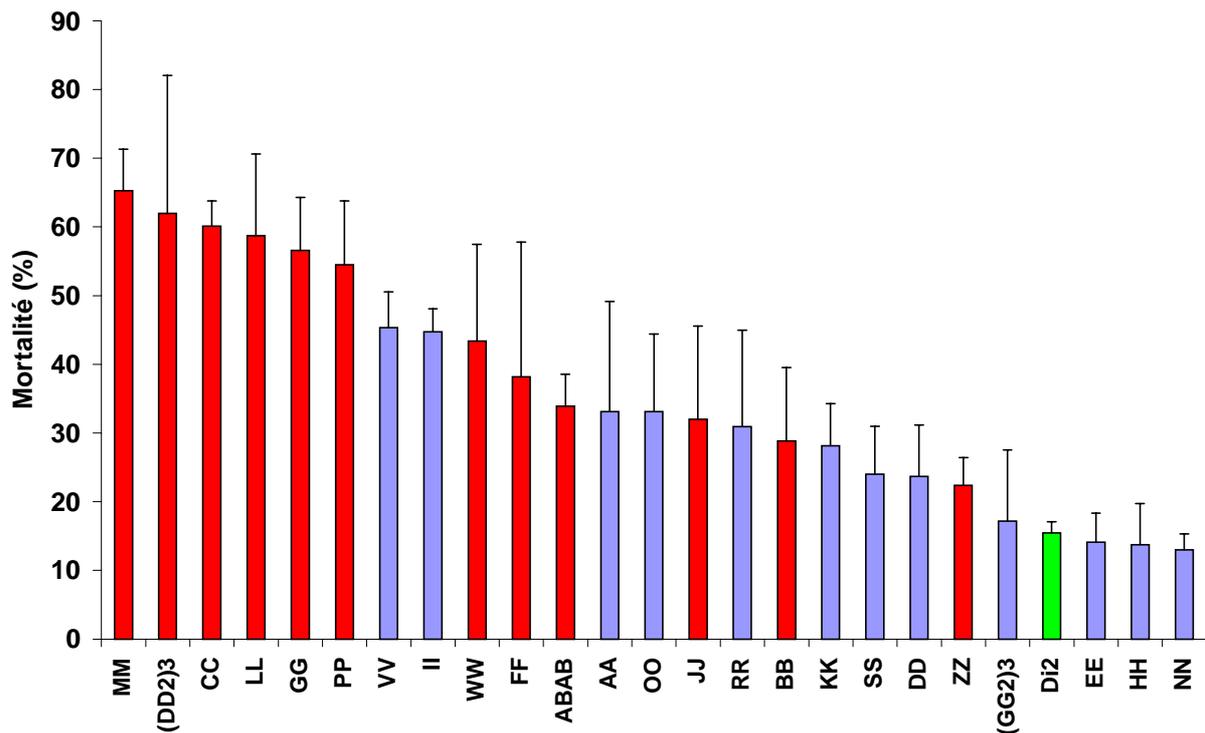


Figure 9 : Mortalités moyennes et écarts types des lots de la G3C2 lors de la caractérisation en laboratoire au 04/09/03. (en rouge : descendants issus de lots ‘sensibles’, en bleue : descendants issus de lots ‘résistant’, vert : témoin diploïde).

4. Discussion

Pour les 3 séries, les mortalités sont apparues de façon simultanée entre le 22 août et le 04 septembre 2003. Au 04 septembre, les naissains étaient âgés de 199 jours, 165 jours et 129 jours respectivement pour les séries G3SD, G3C1 et G3C2. **Les mortalités sont donc « âge indépendant »**, confirmant les résultats obtenus pour les 3 séries de la première génération (Dégremont, 2003).

Pour toutes les séries produites en troisième génération, **des différences significatives de survies entre les lignées haute et basse ont été obtenues en laboratoire, confirmant les résultats de la caractérisation sur estran.**

Pour la G3C1, les lots ayant comme ancêtre commun le mâle 7 (EE2, HH2, II2, LL2) ont montré des mortalités plus faibles comparées aux lots descendants des autres mâles sélectionnés comme ‘sensibles’. Les mêmes résultats ont également été observés en caractérisation sur estran lors du prélèvement final du 08 octobre 2003. Il en est de même pour les lots ayant comme ancêtre commun le mâle 15 (RR2, SS2, VV2, WW2) avec des mortalités plus importantes pour ces 4 lots issus de familles ‘résistantes’ aux épisodes de mortalité estivale en comparaison des autres lots descendants des 2 autres mâles sélectionnés ‘résistants’.

Concernant les témoins diploïdes, les mortalités observées en caractérisation sur estran et en caractérisation en laboratoire ont été similaires confirmant la grande variabilité des taux de mortalité observés entre les 3 témoins diploïdes. Les témoins diploïdes ont également montré des performances de survie intermédiaires aux 2 lignées pour les séries G3SD et G3C1, et une meilleure survie comparée aux 2 lignées pour la série G3C2.

Enfin, les témoins triploïdes ont montré des performances de survies en laboratoire comparables à celles obtenues pour la caractérisation sur estran. Le laboratoire est donc un environnement permettant d’obtenir des résultats similaires à ceux de la caractérisation sur estran, confirmant les résultats obtenus en 2002 pour les 2 séries de la seconde génération (G2SD, G2C1).

A l’inverse de 2002, les mortalités en laboratoire se sont produites tardivement (fin août début septembre), et pourraient être la conséquence des facteurs environnementaux, notamment de la température qui a été élevée pendant les expériences de caractérisation en laboratoire (22 à 23°C de moyenne).

Références bibliographiques

- Beattie, J., 1985. Effects of growth and mortality differentials on production among selected stocks of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *J. Shellfish Res.*, 5(1) : 49.
- Cheney, D.P., MacDonald, B.F & Elston, R.A., 2000. Summer mortality of Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg) : Initial findings on multiple environmental stressors in Puget Sound, Washington, 1998. *J. Shellfish Res.*, 19 : 353-359.
- Dégremont, L., 2003. Etude des bases génétiques de la mortalité estivale et des relations avec la croissance chez les juvéniles de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Thèse de doctorat, Université de Caen, 333 p.
- Glude, J.B., 1975. A summary report of Pacific coast oyster mortality investigations 1965-1972. In : *Proceedings of the Third U.S.-Japan Meeting on Aquaculture*. Tokyo, Japan, October 15-16, 1974, pp 1-28.
- Gouletquer, P., Soletchnik, P., Le Moine, O., Razet, D., Geairon, P., Faury, N. & Taillade, S., 1998. Summer mortality of the Pacific cupped oyster *Crassostrea gigas* in the Bay of Marennes-Oléron (France). *Cons. int. Explor. Mer, CM 1998 / CC 14* : 20 p.
- Koganezawa, A., 1975. Present status of studies on the mass mortality of cultured oysters in Japan and its prevention. In: *Proceedings of the Third U.S.-Japan Meeting on Aquaculture*. Tokyo, Japan, October 15-16, 1974, pp 29-34.
- Littell, R.C., Stroup, W.W. & Freund, R.J., 2002. SAS[®] for Linear Models, Fourth Edition. Cary, NC : SAS Institute Inc. : 466 p.
- Maurer, D., Comps, M. & His, E., 1986. Caractéristiques des mortalités estivales de l'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon. *Haliotis*, 15 : 309-317.
- Moal, J., Bédier, E., Fleury, P.G., Langlade, A., LeCoguic, Y., Dégremont, L., Boudry, P., Le Coz, J.R., Pouvreau, S., Enriquez-Diaz, M., Lambert, C., Soudant, P & Samain, J.F., 2003. Genetic variability in reproduction and summer mortality in *Crassostrea gigas*. *J. Shellfish Res.*, 22(1) : 345.
- Ropert, M., 2003. Courbes de températures sur les 3 sites ateliers Morest. http://w3.ifremer.fr/morest/pdf3/temp_3sites_081003.pdf
- SAS Institute Inc., 1989. SAS/STAT[®] User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 2, Cary, NC : SAS Institute Inc.: 846 p.
- SAS Institute Inc., 1995. Modeling techniques for categorical response data, course notes. Cary, NC : SAS Institute Inc.: 498 p.
- Soletchnik, P., Ropert, M., Huvet, A., Moal, J., Dégremont, L., Bédier, E., Bouget, J.F., Dubois, B., Martin, J.L., Enriquez-Diaz, M., Faury, N., Le Moine, O., Renault, T., Gagnaire, B. & Samain, J.F., 2003. Characterization of summer mortalities of *C. gigas* in France relation to environmental parameters. *J. Shellfish Res.*, 22(1) : 354.

Ventilla, R., 1984. Recent developments in the Japanese oyster culture industry. *Adv. Mar. Biol.*, 21 : 2-54.