

6.1. Modèle linéaire généralisé (GLM) :

6.1.1. Eaux.

Le modèle linéaire généralisé, révèle l'existence d'une variation entre les eaux des différents sites dans la distribution des contaminants.

En effets, on remarque une différence significative entre les sites dans la distribution des Coliformes totaux ($P=0,032^*$); alors que la différence est non significative dans la distribution d'E. coli ($P=0,110^{ns}$).

De plus, il en ressort que les paramètres physico-chimiques, ont un impact différent sur l'évolution de la contamination, ceci est révélé, d'une part par un coefficient de régression différent et d'autre part par un coefficient de détermination significatif; ainsi seul le pH présente une corrélation hautement significative sur la fréquence de la distribution des Coliformes totaux ($P=0,009^{**}$) et E. coli ($P=0,003^{**}$).

En ce qui concerne, les Streptocoques, la différence entre les sites est non significative dans la distribution des Streptocoques totaux ($P=0,231^{ns}$) et elle est significative dans la distribution des Streptocoques fécaux ($P=0,037^*$).

Quant aux paramètres physico-chimiques, le pH présente une corrélation hautement significative ($P=0,04^{**}$) sur la fréquence de la distribution des Streptocoques fécaux ; par contre, sa corrélation est non significative ($P=0,063^{ns}$) par rapport aux Streptocoques totaux, en plus du pH, on remarque qu'il existe également une corrélation significative avec la salinité ($P=0,041^*$).

6.1.2. Moules.

Le modèle linéaire généralisé, révèle l'existence d'une variation entre les différents sites dans la distribution des contaminants chez les moules.

En effets, on remarque une différence très hautement significative entre les sites dans la distribution d'E.coli ($P < 0,001$), par rapport aux coliformes totaux où la différence est non significative ($P = 0,685^{ns}$).

Les paramètres physico-chimiques, ont également, un impact différent sur l'évolution de la contamination, ainsi la température, la salinité et l'oxygène dissous présente une corrélation significative sur la fréquence de la distribution d'E. coli dans les différents sites, par contre, seule la température présente une corrélation très hautement significative sur la fréquence de distribution des Coliformes totaux ($P=0,001^{***}$).

Quant aux Streptocoques totaux et fécaux, la différence entre les sites est non significative dans leur distribution ; concernant, les paramètres physico-chimiques, l'oxygène dissous, présente une corrélation significative sur la fréquence de la distribution des Streptocoques totaux ($P=0,022^*$) et une corrélation hautement significative sur la fréquence de la distribution des Streptocoques fécaux ($P=0,008^{**}$) dans les sites, ces derniers, présentent également une corrélation non significative avec température ($P=0,093^{ns}$).

6.2. Test de l'analyse des moyennes.

6.2.1. Eaux.

Les résultats obtenus après application du test de l'analyse des moyennes, montrent que les eaux des sites, Sidi Salem et Rezgui Rachid sont les plus polluées des 5, du fait de la forte concentration des coliformes totaux et E. coli qui dépasse la limite de l'intervalle de confiance supérieure, observée à Sidi Salem (fig.40 a et b) ; et la concentration importante des Streptocoques fécaux qui se rapproche de la limite de l'intervalle de confiance supérieure, observée à Rezgui Rachid (fig.40d).

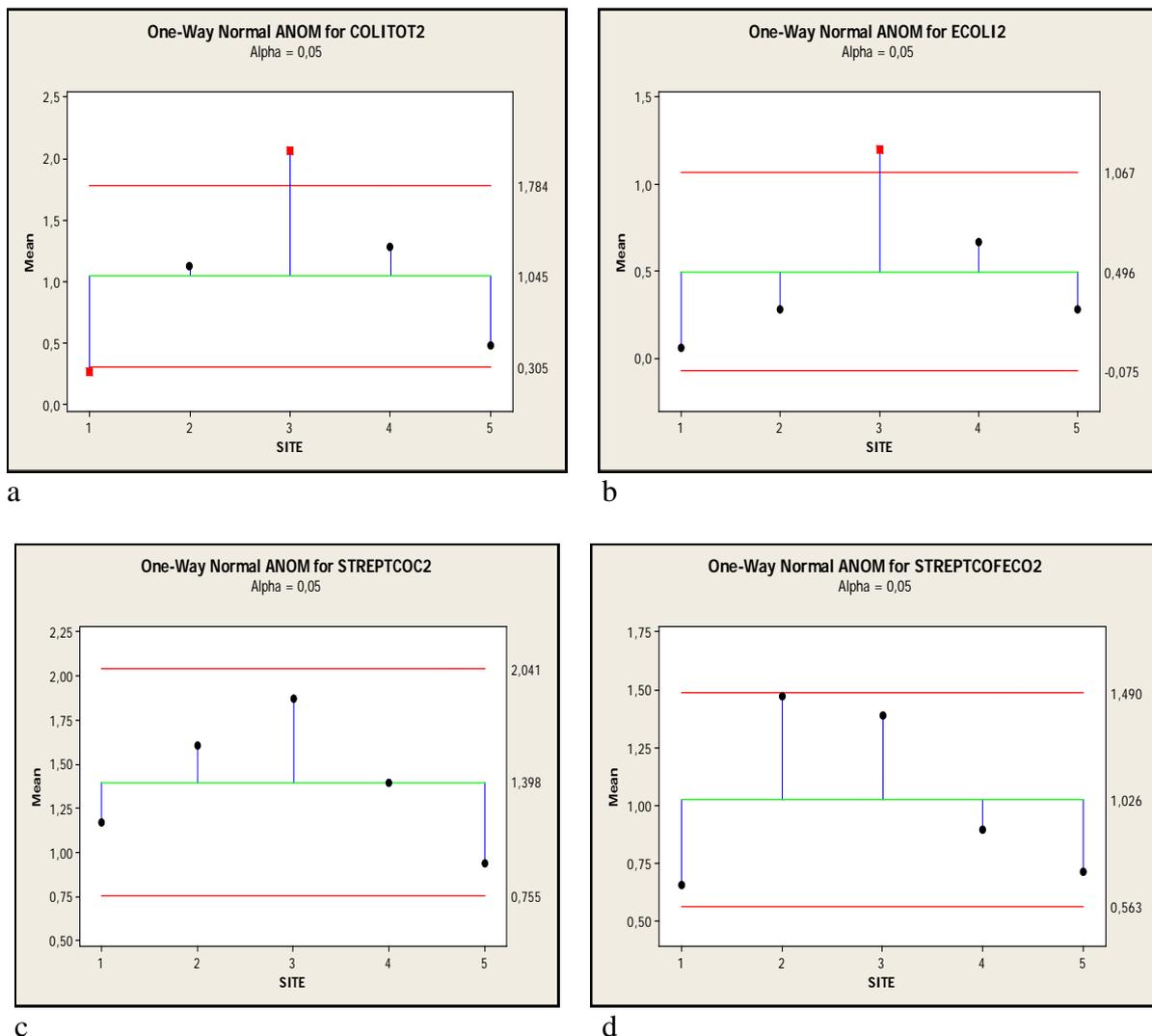


Figure 40: Calcul de l'intervalle de confiance des Coliformes et des Streptocoques de l'eau.

6.2.2. Moules.

Les résultats du test de l'analyse des moyennes, montrent clairement que les moules peuplant les sites Sidi Salem sont les plus contaminées des 5 Sites, du fait de la forte concentration des contaminants qui se rapprochent (fig.40a,c et d) ou dépassent la limite de

l'intervalle de confiance supérieure (fig.41b), aux quelles s'ajoutent, les moules de Rezgui Rachid dont la concentration d'E.coli dépasse la limite de l'intervalle de confiance supérieure (fig.41d).

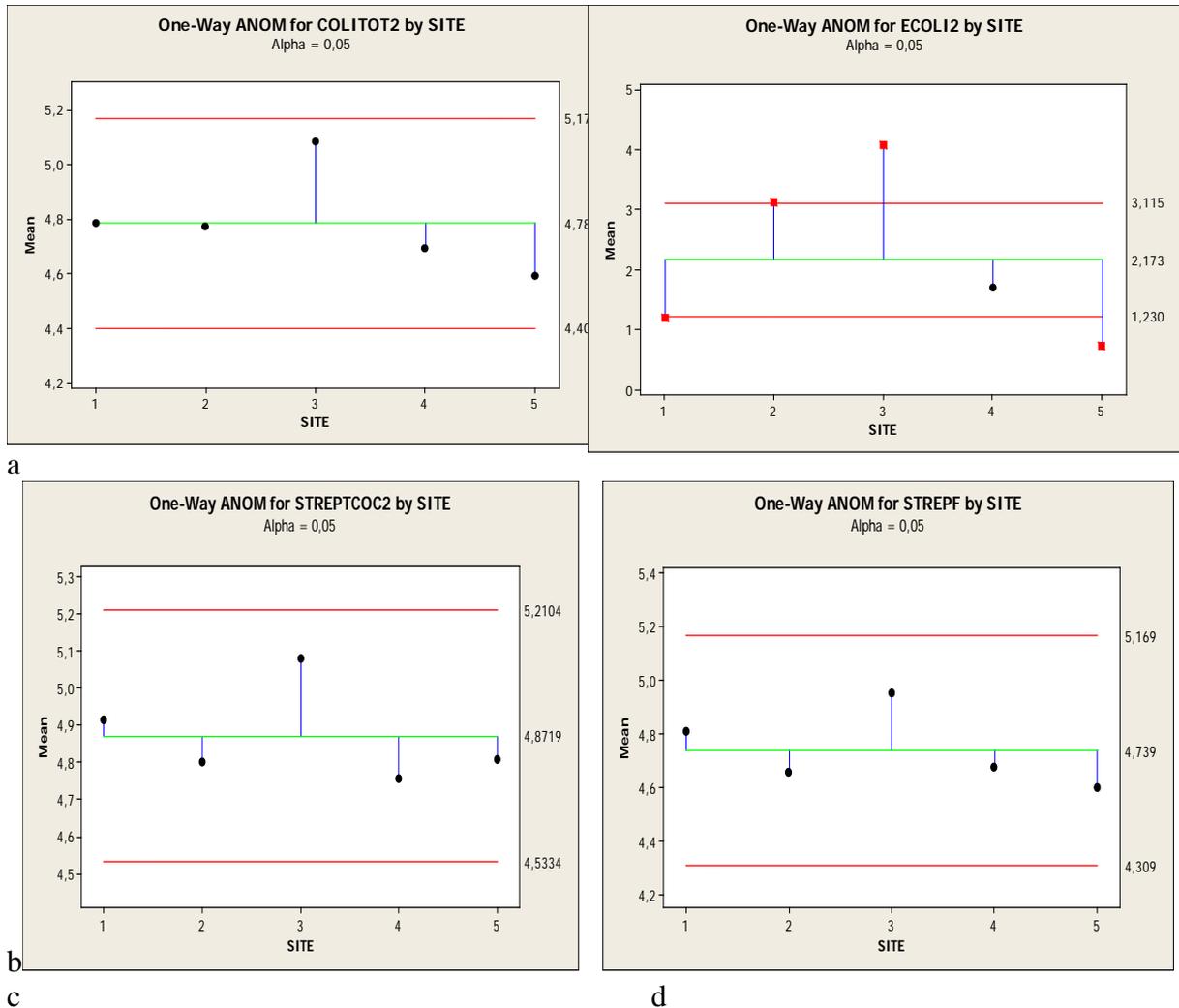


Figure 41: Calcul de l'intervalle de confiance des Coliformes et des Streptocoques des moules

6.3. Analyse des composantes principales (ACP) :

6.3.1. Eaux.

➤ Plan F1×F2 de l'ACP variable (cercle de corrélation) - Eaux.

La structure des variables définit sur le plan de l'ACP, exprime l'augmentation de l'abondance des 4 contaminants (CF, E. coli, ST et SF) en fonction des covariants du milieu (Température, salinité, oxygène dissous, pH et matières en suspensions) ; ainsi, les résultats montrent l'existence d'une corrélation positive entre les contaminants et les paramètres (salinité et MES) ; en revanche la corrélation est négative avec le pH et l'oxygène dissous (fig.42).

De ce faite, nous pouvons admettre que l'augmentation de la salinité et le MES ainsi que la

diminution du pH et l'oxygène dissous, favorisent la prolifération bactérienne dans l'eau.

NB : L'axe F1 exprime une combinaison linéaire des variables représentant l'abondance des contaminants et définit ainsi le premier gradient qui contrôle la dispersion du nuage de point de la matrice d'étude.

L'axe F2 représente une combinaison des variables caractérisant l'aspect physico-chimique et définit ainsi le deuxième gradient expliquant l'inertie du nuage de point de la matrice d'étude.

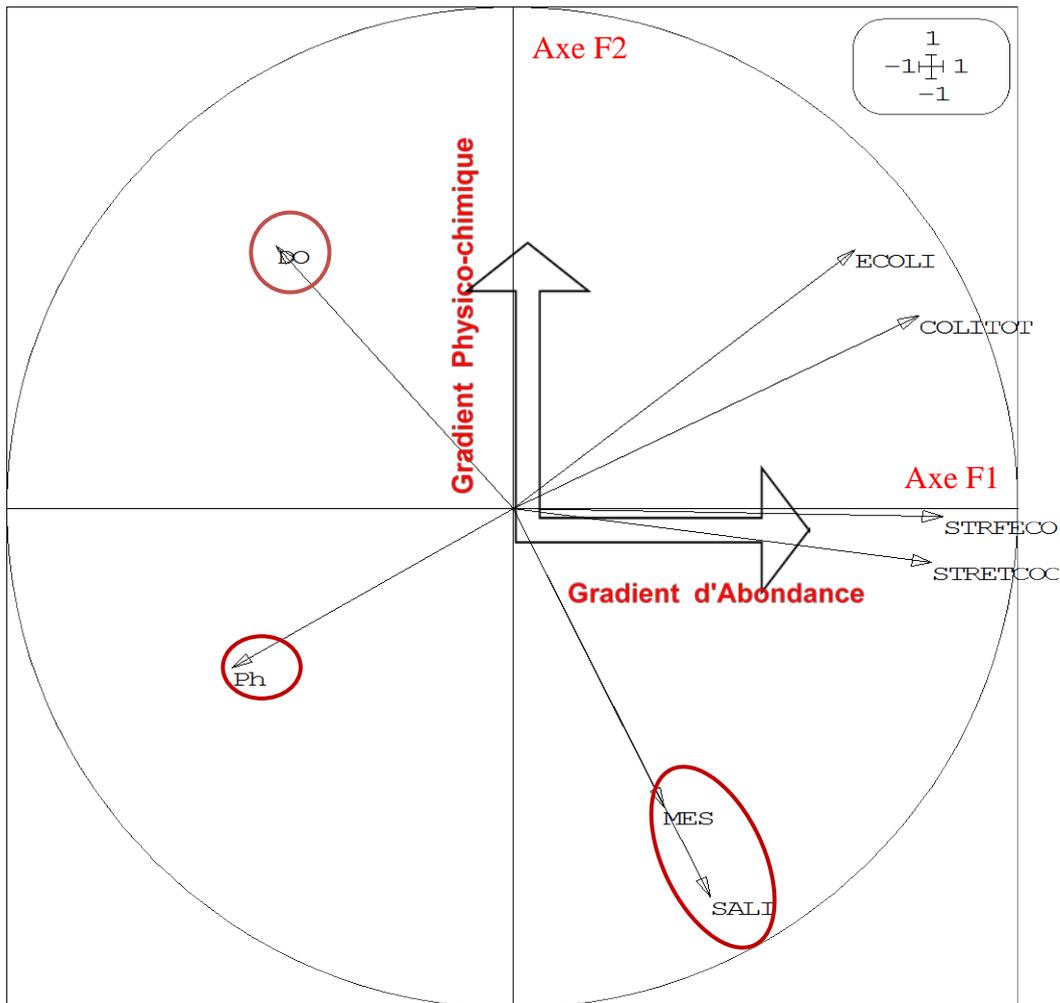


Figure 42 : Plan F1x F2 de l'ACP variable (cercle de corrélation) - Eaux.

➤ **Plan F1x F2 de l'ACP relevés (sites)-Eaux**

D'une manière générale l'ordination représenté sur le plan de l'ACP des sites est expliqué par les gradients définis par le cercle de corrélation (plan variable).

De ce fait, le plan F1xF2 relevés des sites (fig. 43), représente une double ordination des sites suivant les deux axes :

- Axe F1, selon l'abondance des contaminants, l'ordination est la suivante : Cap de Garde (site1) < Aouinate (site5) < H'naya (site4) < Rezgui Rachid (site2) < Sidi Salem (site3).
- Axe F2, selon l'aspect physico-chimique, l'ordination est la suivante : Aouinate (site5) < Cap de Garde (site1) < Rezgui Rachid (site2) < H'naya (site4) < Sidi Salem (site3).

La classification des sites sur l'axe1 de l'ACP relevés est expliqué par le gradient d'abondance défini sur l'axe1 de l'ACP variable.

Quant à la classification des sites sur l'axe 2 de l'ACP relevés est expliquée par le gradient physico-chimique, représenté principalement par la variable pH (seule variable corrélée d'une manière linéaire aux variables abondances).

Les résultats, admettent que les paramètres physico-chimiques sont des facteurs déterminants et jouent un rôle important dans la répartition des différents contaminants dans les eaux des 5 sites, de ce fait, nous pouvons constater que l'abondance des contaminants par rapport aux facteurs physico-chimiques est plus significative au niveau des sites Sidi Salem et Rezgui Rachid en comparaison aux sites Cap de Garde, H'naya et Aouinate.

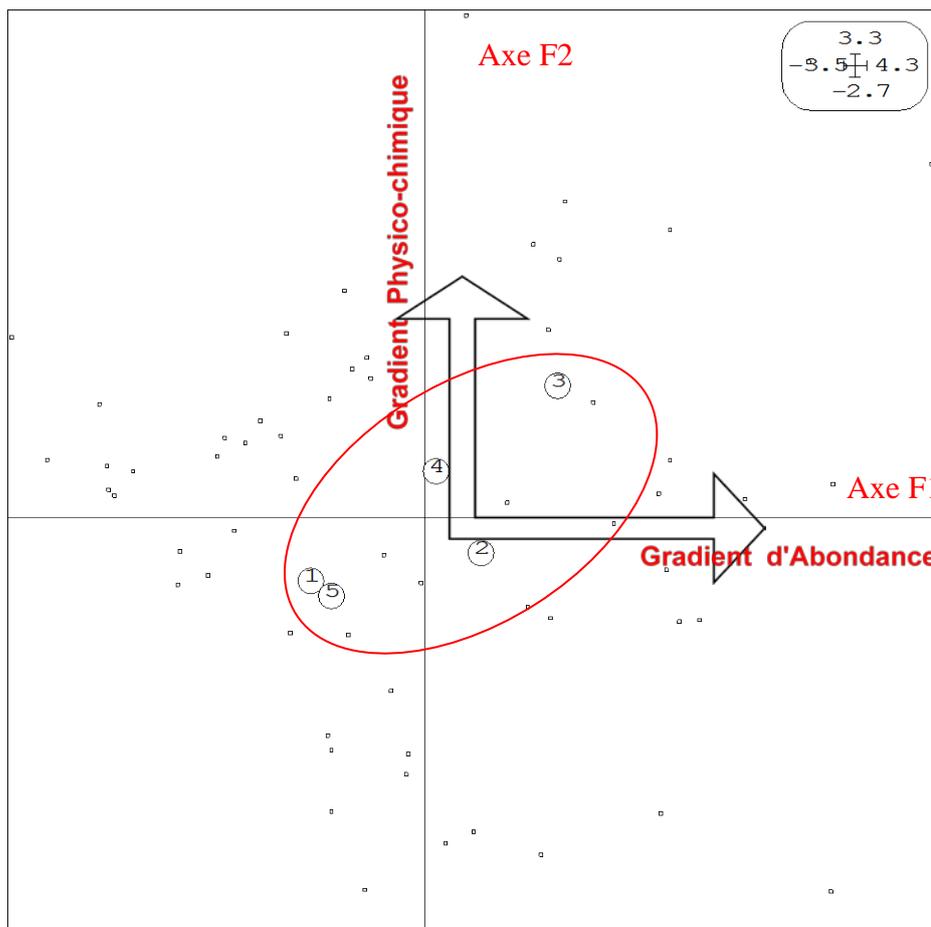


Figure 43 : Plan F1xF2 de l'ACP relevés (sites)-Eaux

6.3.2.Moules.

➤ Plan F1×F2 de l'ACP variable (cercle de corrélation)- Moules.

La structure des variables définit sur le plan F1×F2 de l'ACP (variables), exprime l'augmentation de l'abondance des 4 contaminants (CF, E.coli, STet SF), corrélée positivement avec la température, la salinité et les MES; en revanche, elle est corrélée négativement avec le pH et l'O₂ dissous (fig.44).

De ce faite, nous pouvons admettre que l'augmentation de la température, la salinité et le MES ainsi que la diminution du pH et l'oxygène dissous, favorisent la prolifération bactérienne dans les moules peuplant les 5 sites d'études.

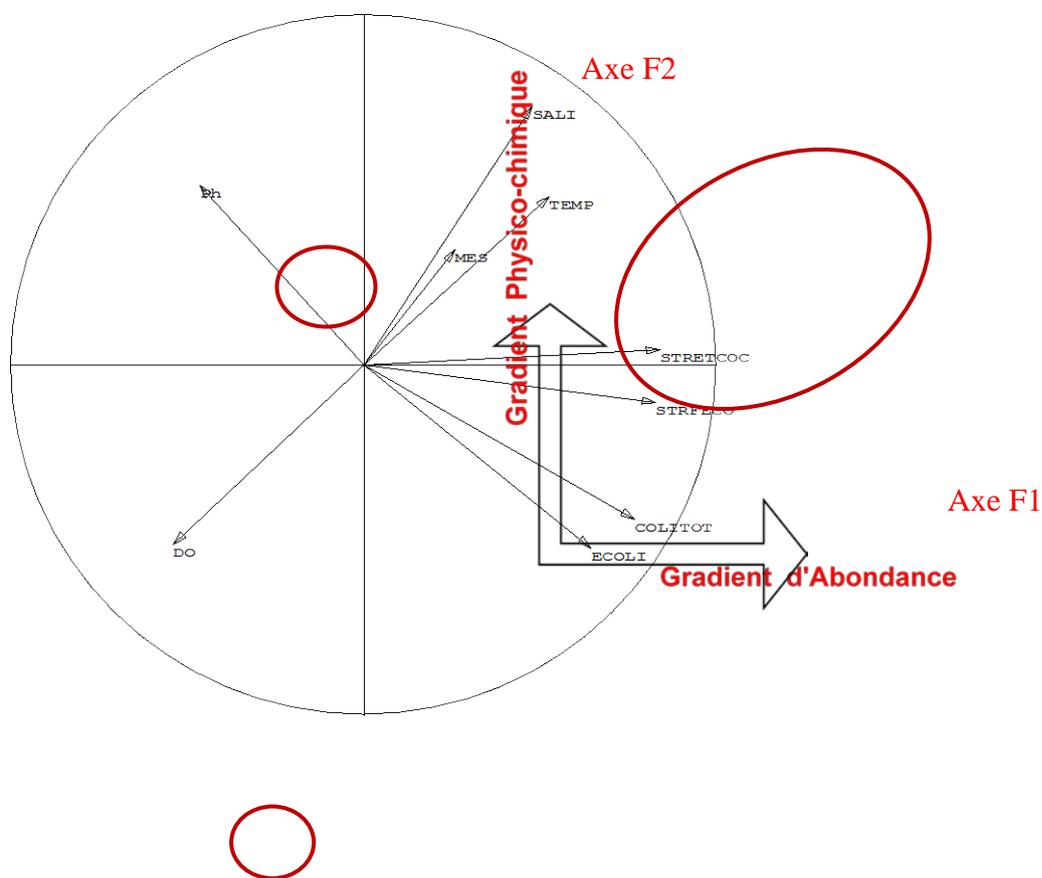


Figure 44 : Plan F1×F2 de l'ACP variable (cercle de corrélation)- Moules.

➤ **Plan F1xF2 de l'ACP relevés (sites)-Moules.**

Le plan F1xF2 relevés (fig. 45), représente une double ordination des sites suivant les deux axes :

- Axe F1, selon l'abondance des contaminants, l'ordination est la suivante: Cap de Garde (site1) < Aouinate (site5) < H'naya (site4) < Rezgui Rachid (site2) < Sidi Salem (site3).
- Axe F2, selon l'aspect physico-chimique, l'ordination est la suivante: Sidi Salem (site3) < H'naya (site4) < Rezgui Rachid (site2) < Aouinate (site5) < Cap de Garde (site1).

La classification des sites sur l'axe1 de l'ACP relevés est expliqué par le gradient d'abondance défini sur l'axe1 de l'ACP variable.

Alors que la classification des sites sur l'axe 2 de l'ACP relève est expliquée par le gradient physico-chimique représenté principalement, tout comme dans l'analyse de l'eau, par la variable pH (seul variable corrélée d'une manière linéaire aux variables abondances).

Ceci confirme donc, l'impact des facteurs physico-chimiques sur la répartition des différents contaminants dans les eaux des 5 sites, ainsi leur implication est beaucoup plus significative au niveau des sites Sidi Salem et Rezgui Rachid en comparaison aux Cap de Garde, H'naya et Aouinate.

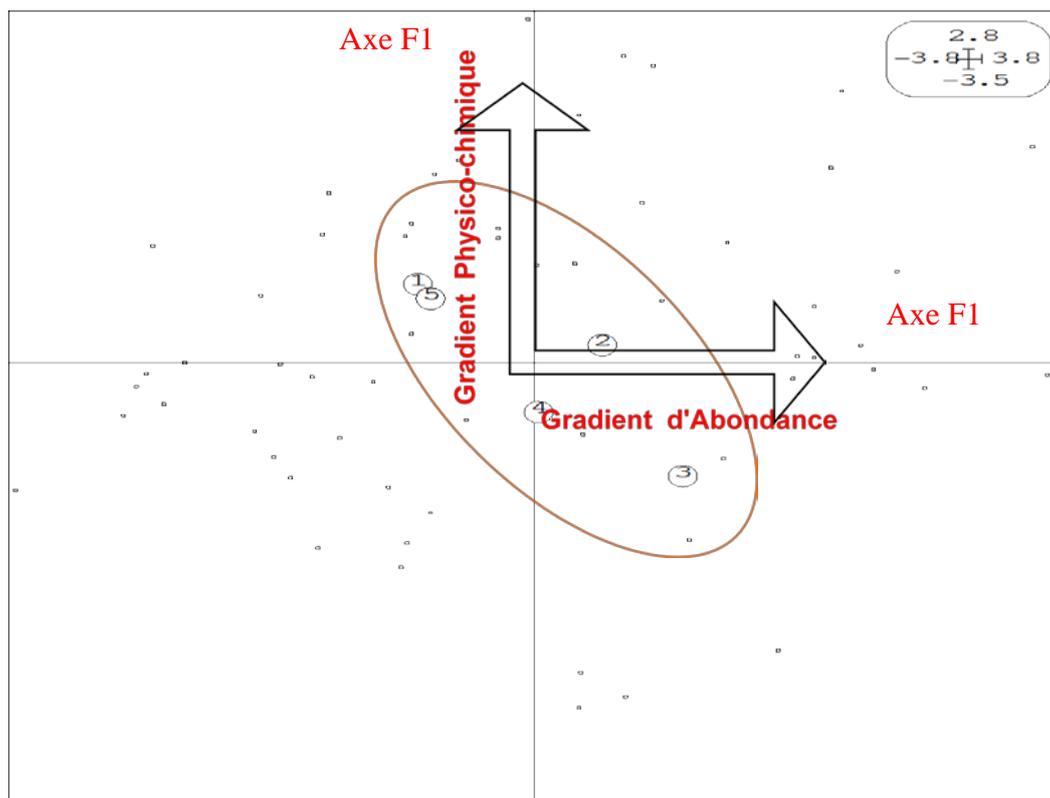


Figure 45: Plan F1xF2 de l'ACP relevés (sites)-Moules.

Discussion

Notre étude nous a permis d'évaluer la qualité du milieu marin le long du littoral Nord-Est algérien, par la caractérisation des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de ses eaux superficielles et la mise en évidence de l'action anthropique.

❖ Paramètres physico-chimiques.

La mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau, montre que la température, la salinité, l'oxygène dissous, le pH et les matières en suspensions présentent des fluctuations saisonnières.

Les valeurs thermiques des eaux affichent des variations similaires dans l'ensemble des sites de prélèvement et montrent l'existence d'un cycle saisonnier. La température maximale rencontrée est de 28 °C en juillet et Août 2008, au niveau du Cap de Garde et Sidi Salem, alors que la plus basse, 12,5 °C, est relevée en février dans les eaux du Cap de Garde et Rezgui Rachid. Selon Farhi (1995), la température de l'eau du golfe d'Annaba, varie entre 16° C, l'hiver et 28,8°C, l'été, avec une amplitude de 12.8°C. Les fluctuations de ce paramètre abiotique sont en relation avec les conditions climatiques locales et plus particulièrement avec la température de l'air Semroud (1983).

Concernant la salinité, les fluctuations observées sont en relation avec les conditions climatiques, telles l'évaporation liée aux fortes températures estivales et les précipitations. La plus faible valeur (36.5 g/l) est mesurée au niveau de l'Aouinate en janvier et la plus forte (41.8 g/l) au Cap de Garde en septembre et (41.3g/l) à Aouinate en août. Ces chiffres montrent que les eaux côtières d'Annaba sont moins salées en période hivernale.

Des résultats similaires, ont été évoqués par Semroud (1983) ; De Casabianca-Chassany *et al.*,(1991); en effet, ces derniers estiment que le régime de la salinité est régi par celui des précipitations, d'où l'importance de ces dernières dans la régulation de la salinité.

Les relevés des teneurs en oxygène dissous mettent en évidence l'existence de fortes teneurs en oxygène, en période hivernale et printanière avec 11.79 à Aouinate et 11 mg/l à H'naya, et des teneurs basses en période estivale, atteignant 1.9 mg/l au mois d'août au Cap de Garde et H'naya. Ces variations sont directement liées aux variations saisonnières de la température de l'eau qui conditionnent le processus de solubilité de l'oxygène.

L'augmentation du taux d'oxygène dissous dans l'eau en période hivernale et printanière résulte de la baisse de la température et de la salinité de l'eau, ainsi que les facteurs mécaniques (agitation par le vent) qui représentent le principal facteur de brassage des eaux (Millet, 1989 ; Belaud, 1996 ; Schlumgerger, 2002). La confirmation est apportée par Bricker *et al.* (1999), qui conclut que la baisse de la température de l'eau, l'augmentation de l'interface air-eau et le brassage engendré par l'hydrodynamisme important en période hivernale, sont à l'origine d'une meilleure oxygénation de l'eau.

La baisse du taux d'oxygène dissous relevées en période estivale serait, en revanche, liée non seulement à la forte élévation de la température et la salinité mais aussi à la respiration des organismes aquatiques vivants (faune, flore immergée) et au calme hydrodynamique, qui empêche le brassage de l'eau (Lacaze, 1996). A cela s'ajoute la dégradation bactérienne des débris qui consomment énormément d'oxygène, à raison de 1 g d'O₂/Kg de matière sèche (Belaud, 1996).

En France, Beaupoil et Bornes (1997) ont fixés, après une étude concernant l'effet des hypoxies sur la faune, les seuils en oxygène dissous dans les estuaires bretons, comme suite: supérieurs à 5mg/l (qualité excellente à acceptable), de 3 à 5 mg/l (qualité moyenne à médiocre), de 2 à 3mg/l (qualité mauvaise à très mauvaise), de 1 à 2 mg/l (hors classe niveau 1), inférieur à 1 mg/l (hors classe

niveau 2). Ce qui nous permet de dire que, durant la période d'étude, les eaux du littoral Nord- Est algérien, présentent une qualité excellente à acceptable (les teneurs en oxygène dissous dépassant 5 mg/l) sauf en été où une baisse de la teneur est enregistrée (en dessous de 5 mg/l).

En ce qui concerne le pH des eaux des 5 sites, il est légèrement alcalin ; il oscille entre 7,6 au mois de mai à H'naya et 8.75 au mois de juin au Cap de Garde ; selon Barnabe (1991), les eaux côtières méditerranéennes ont un pH qui varie entre 7.9 et 8.3. La tendance basique du pH est rencontrée dans toutes les eaux, elle peut être expliquée par les rejets industriels, les rejets urbains et les apports des Oueds Bedjimâa et Seybouse.

Quant aux matières en suspensions (MES), les valeurs les plus basses sont enregistrées en juin avec 0.151mg/l à Rézgui Rachid et 0.153mg/l à Sidi Salem. Les valeurs les plus élevées, sont observées en automne et au début de l'hiver, avec 0.323 mg/l à Rezgui Rachid et 0.329 mg/l à H'naya.

Les fluctuations de ce paramètre, sont en relation avec les conditions climatiques et plus particulièrement les précipitations abondantes, qui sont à l'origine des apports allochtones (Dakki, 2003).

❖ Analyses bactériologiques des eaux.

Les analyses bactériologiques des eaux ont révélés, l'existence de pollution en rapport avec les sources de contaminations et les saisons dans l'ensemble des sites. Selon Dawe et Pentose, (1978), Gauthier et Pietri, (1989), la survie de ces microorganismes varie d'un site à l'autre et d'une saison à l'autre ; de ce fait, la qualité intrinsèque du milieu récepteur joue un rôle important vis-à-vis du devenir des germes fécaux dans le milieu naturel. Ces derniers ont démontré qu'un prélèvement réalisé au niveau du sédiment après une crue, révèle une charge bactérienne plus importante (de l'ordre de 10^4 *E.coli* /ml ou par gramme). Il est apporté aussi que la bactérie *Escherichia coli* a une bonne croissance à un pH proche de la neutralité, entre pH 6 et 8 et elle est capable de résister à des températures extrêmes allant de 8°C à 48°C (Nerdhadt *et al.*, 1994). De ce fait les eaux du littoral Nord-Est algérien, semble offrir un milieu propice au développement de ces germes fécaux ; les valeurs des paramètres mesurés (température, salinité, pH, O₂ dissous et MES) ne constituent pas un frein à leur développement et leur croissance durant la période d'étude.

Nos résultats montrent que les Coliformes totaux, enregistrent un pic de 460 germes/100ml d'eau en période estivale au niveau de Rezgui Rachid, cette forte contamination serait probablement dû à la forte affluence des estivants ; nous notons, toutefois qu'il ne dépasse pas le seuil toléré, fixé à 500 germes/100ml.

Des pics de 1100 et de 2400 germes/100ml d'eau sont observés au niveau de Sidi Salem (en mai et septembre), H'naya (en avril et juillet) et Aouinate (avril), dépassant largement le seuil toléré, la présence de ces pics peut s'expliquerait par le phénomène de lessivage des sols par les pluies (Lebaron *et al.*, 1990).

En ce qui concerne, les concentrations des Coliformes thermotolérants (*E. coli*), elles sont moins importantes et restent relativement basses dans les eaux du Cap de Garde et de Rezgui Rachid ; quant aux fortes concentrations d'*E. coli*, elles sont enregistrées en avril à H'naya et Aouinate, et en mai et septembre à Sidi Salem (dépassent largement les valeurs guides, fixée à 100germes /100ml), traduisent ainsi une contamination récente (Rodier, 1996 ; CCME, 2002) qui peut être expliquée par le rejet continu des eaux usées et les conditions climatiques favorables à la survie et à la prolifération de ces bactéries.

Les résultats des dénombrements des Streptocoques montrent que les teneurs en streptocoques totaux sont élevés en période automnale au Cap de Garde, Rezgui Rachid, Sidi Salem et H'naya et en période printanière à Aouinate. Ces teneurs élevés font suite au lessivage par les eaux de ruissellements des zones agricoles où d'importantes précipitations ont été enregistrées au cours de la période précédant nos prélèvements (voir tab.19) ; au

niveau du site Aouinate, le taux élevé de ces indicateurs de contamination, s'expliquerait aussi par la présence d'animaux domestiques aux abords de la plage.

Les Streptocoques fécaux, montrent des pics à Rezgui Rachid et à Sidi Salem en période automnale, qui seraient la conséquence d'un lessivage des sols par les pluies, en plus de la proximité de ces sites, des rejets urbains et industriels charriés par les oueds, Seybouse et Bedjimâa. Les pics observés à H'naya et Aouinate en période printanière (avril) seraient probablement dus aux activités de pêche et d'élevage pratiquées au niveau de ces sites, et peuvent être relatives à des contaminations anciennes ; en effet, d'après Gleeson et Gray (1997), comparativement aux Coliformes (incluant *E. coli*), les Streptocoques sont plus résistants aux conditions environnementales difficiles et persistent plus longtemps dans l'eau.

En référence aux normes de la qualité de l'eau édictées par la directive européenne (Voir tab. 13 et tab.14) qui limite les seuils à 10^2 *E. coli* /100ml pour les eaux de baignade et $2.3 \cdot 10^2$ *E.coli* /100ml pour les eaux conchylicoles, il s'avère que les eaux du Cap de Garde et Rezgui Rachid sont de bonne qualité bactériologique et celles de H'naya et Aouinate, de qualité bactériologique acceptable; quant à la baignade, elle peut-être autorisée dans les 4 sites. Concernant, les eaux de Sidi Salem, elles se situent dans la catégorie D, et sont de ce fait de mauvaises qualités car elles sont très fréquemment polluées. Nous remarquons, par ailleurs que selon les mêmes normes, les eaux du Cap de Garde constituent le meilleur site d'activités conchylicoles, du fait de l'absence de contamination bactériologique de ses eaux liée à son éloignement des principales sources de contaminations.

D'après le calcul de l'indice de Bourgeois (1980), basé sur le rapport Coliformes fécaux/Streptocoques fécaux (CF/SF), la source probable de la contamination de l'eau est principalement d'origine animale ; en effet, ces zones sont régulièrement fréquentées par les animaux domestiques et de pâturages, surtout au niveau de la région de H'naya et Aouinate ; au niveau de Sidi Salem, les rejets émanant des abattoirs situés à proximité de la plage, expliqueraient aussi ces résultats. D'après Bitton, 1999 ; Clausen *et al.*, 1977 ; Farow *et al.*, 1984) les Streptocoques du groupe D susceptibles de contaminer les eaux sont typiques des déjections animales (*S.bovis* ; *S. equinus*) ; Ces espèces colonisent le bétail, les chevaux et les volailles bien qu'elles peuvent, parfois, être présentes chez l'humain (Devriese *et al.* , 1998 ;Ruoff *et al.*,1989). Les contaminations humaine et mixte décelées à Rezgui Rachid, Aouinate et H'naya, auraient pour origine, les rejets domestiques des riverains et des estivants en été, quant à Sidi Salem, elles s'expliqueraient par la présence des agglomérations aux alentours et des rejets charriés par les Oueds Bedjimâa et Seybouse.

❖ Analyses bactériologiques des moules.

Les analyses bactériologiques des moules peuplant les sites d'étude, font apparaître des contaminations importantes par les Coliformes totaux avec des teneurs maximales pouvant atteindre 140000 germes/100ml de broyats.

En ce qui concerne les Coliformes thermotolérants (*E. coli*), les pics de contamination de l'eau relevés sont de moindre intensité par rapport à ceux relevés au niveau des bivalves ; ceci peut s'expliquer par la fragilité de ces germes et leur brève durée de vie dans l'eau de mer d'une part (Rodier, 1996 ., CCME, 2002) et le pouvoir bio-accumulateur des bivalves d'autre part.

Quant aux Streptocoques (totaux et fécaux), leur présence de façon continue à des taux très élevés, dépassant le seuil toléré, peut s'expliquer par la résistance de ces indicateurs de pollution (Gleeson et Gray, 1997). Et témoignerait aussi de possibles contaminations anciennes (Rodier.1996).

En référence aux normes de salubrité des fruits de mer, édictées par la communauté européenne en 1991 (tab.4), les bivalves peuplant les sites d'études, seraient impropres à la consommation directe, du fait que les taux de contamination mesurés sont nettement supérieurs aux valeurs européennes, préconisant moins de 230 *E.coli* / 100 g de chair et de liquide intervalvaire).

Nous notons toutefois, qu'en fonction de la période de récolte chaque sites présente des teneurs en bactéries différentes ; de ce fait, nous pouvons classer le Cap de Garde et l'Aouinate comme zones de productions de la classe B, H'naya et Rezgui Rachid comme zone de production de classe C et Sidi Salem comme zone de production de la classe D.

Tableau 4 : Critères microbiologiques pour les mollusques bivalves et niveau de salubrité des zones de production (Communauté Européenne, 1991).

<i>E.coli</i> (E.C)/ 100g de chair et de liquide intervalvaire	Zones	Exploitation	Exploitation
Seuils microbiologiques	Classement	Elevage	Pêche professionnelle, gisement naturel
Au moins 90% des résultats <230 E.C. Aucun >1000 E.C.	A	Autorisé pour une consommation directe	Autorisé pour une consommation directe
Au moins 90% des résultats <4600 E.C. Aucun >4600 E.C.	B	Autorisé à être consommé après reparcage ou purification.	Autorisé mais après reparcage ou purification nécessaire avant commercialisation
Au moins 90% des résultats <46000 E.C. Aucun >46000 E.C.	C	Autorisé à la consommation après reparcage (sur une longue période) ou après purification intensive.	Autorisé à la consommation après reparcage (sur une longue période) ou après purification intensive
Au moins 90% des résultats >46000 E.C.	D	Impossible de récolter des coquillages pour la consommation humaine.	Impossible de récolter des coquillages pour la consommation humaine.

Par ailleurs, on ne signale aucune présence de germes pathogènes.

Conclusion

Il ressort de cette étude que :

- Les eaux du littoral Nord-Est algérien, semblent profiter d'une meilleure oxygénation en période hivernale et printanière.
- Les températures les plus élevées sont enregistrées en période estivale dans l'ensemble des stations.
- Le pH est alcalin et les écarts entre stations ne sont pas très élevés.
- La salinité est importante en période estivale et automnale.
- Les MES sont élevées en période automnale.
- La contamination fécale est généralement importante et dépasse les normes édictées par la directive européenne en E. coli.
- Le site Sidi Salem, représente la partie du Golfe, la plus contaminée du fait de sa proximité aux divers effluents tels que l'oued Bedjimâa, l'oued Seybouse et les rejets urbains.
- L'impact de cette forte anthropisation classe les eaux et les moules de Sidi Salem respectivement dans la catégorie D (eau de mauvaise qualité et trop fréquemment polluée) et dans la zone D (impossible de récolter des coquillages pour la consommation humaine).

En perspectives, il serait judicieux de :

- Procéder à un suivi régulier des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des affluents qui sont à l'origine d'importantes charges microbiennes; et qui se rapportent aux activités anthropiques.
- Prévoir, en agglomération, un traitement systématique des rejets par la mise en place de stations d'épurations des eaux et en zone rurale, l'utilisation de fosse septique.
- De mettre en place une réglementation nationale qui interdit tout rejet d'effluents non traités.
- Maintenir la couverture végétale pour ralentir le lessivage qui favorise la contamination de l'eau.
- D'assurer un contrôle bactériologique rigoureux et régulier des fruits de mer.
- Mettre en place des bassins de reparcage ou de purification.