

Optimisation de l'échantillonnage biologique de la crevette en Guyane



Mesure des crevettes au débarquement à Cayenne

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	1
2. HISTORIQUE	2
3. METHODES D'ECHANTILLONAGE	4
3.1. Historique	4
3.2. Méthode actuelle.....	4
3.3. Présente étude sur l'adaptation de l'échantillonnage	6
3.3.1. Approche statistique	7
3.3.2. Approche par le stock.....	11
4. CONCLUSION-PROPOSITION.....	19
BIBLIOGRAPHIE	20
ANNEXES	

1. INTRODUCTION

Depuis les débuts de la pêche à la crevette en Guyane par les flottilles des Etats-Unis et du Japon (1968), le laboratoire halieutique de l'Ifremer a suivi cette exploitation. La production débarquée, ainsi que l'échantillonnage des captures ont été mis en place pour répondre aux besoins de gestion.

L'évolution des débarquements de cette pêcherie a connu une première diminution significative en 1999, puis en 2006. Cette situation conduit à étudier plus précisément les causes de cette chute dans les débarquements, qui semble être d'ordre climatique (Lampert 2011a).

Cette situation a conduit à l'arrêt de l'activité pour plusieurs compagnies qui exploitaient cette ressource. En 2011, Unifipêche finit par arrêter également cette activité et il ne reste que les sociétés Abchée, avec 6 navires, et Florus, avec 2 navires qui n'opèrent actuellement pas de façon régulière pour des raisons techniques.

Avec la diminution des débarquements, l'effort d'échantillonnage biologique qui est maintenu au même rythme hebdomadaire devient alors disproportionné. Nous proposerons dans cette étude une adaptation aux conditions actuelles, avec une analyse statistique des échantillons et une analyse de l'impact d'une réduction de l'échantillonnage sur les résultats des évaluations du stock. Il ne s'agit donc pas de mettre en place une nouvelle stratégie d'échantillonnage, qui nuirait à l'homogénéité de la série temporelle, mais d'étudier le meilleur compromis entre résultats et effort d'échantillonnage.

2. HISTORIQUE

La pêcherie à la crevette en Guyane exploite essentiellement les espèces *Farfantepenaeus subtilis* et *F.brasiliensis*. Toutes les deux sont concernées par la réglementation en vigueur, qui applique un TAC de précaution de 4108 t/an. Occasionnellement, des débarquements d'autres espèces peuvent avoir lieu, mais elles restent très marginales vis-à-vis de celles-ci. L'espèce *F.subtilis* est majoritaire avec environ 95% des débarquements. La zone de pêche a été divisée en secteurs administratifs depuis la francisation de la flotte (figure 1). Une zone d'interdiction de pêche en dessous de 30m de profondeur a également été mise en place par les autorités maritimes.

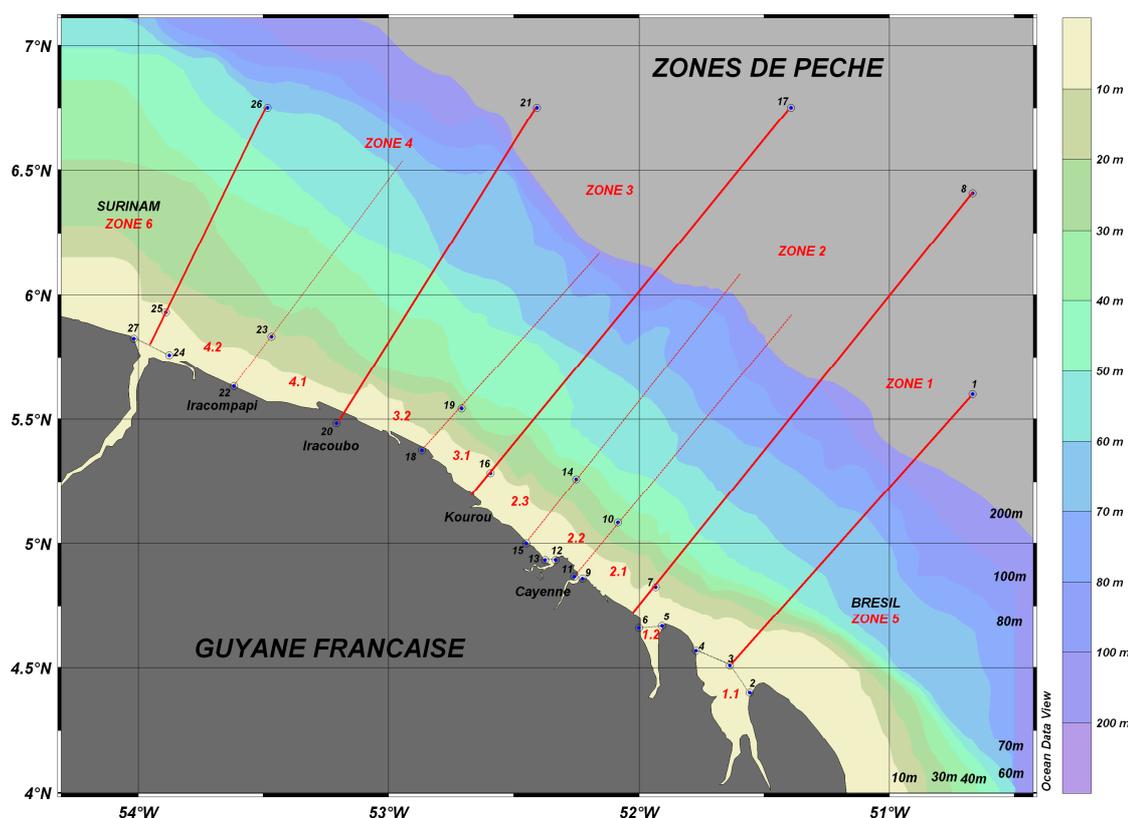


Figure 1 : Zones de pêche sur le plateau guyanais

La flottille de navires opérant en Guyane est restée homogène. Tous les bateaux sont de type floridien avec des longueurs d'environ 20m et des puissances de 300 à 450 CV, pêchant avec deux tangons et des chaluts de fond de mêmes dimensions. La maille des chaluts qui était de 40 mm étiré au début de l'exploitation, a été réglementée à 45 mm.

Avec la définition de la zone économique exclusive (ZEE) de nations riveraines, peu à peu, la flottille des Etats-Unis et du Japon ont laissé place aux armateurs français. Ce processus, qui s'est fini en 1990 et qui a duré 7 ans, est connu comme « processus de francisation » (figures 2 et 3). Ce changement a eu une répercussion dans la commercialisation. Le marché européen s'est ouvert à la crevette de Guyane, avec les contraintes de calibre, présentation et qualité que nous connaissons actuellement.

Avant 1989, la mesure de la longueur des crevettes était réalisée sur la longueur totale, puis, entre 1989 et 1990, des mesures de longueur totale et longueur céphalo-thoracique ont été réalisées en parallèle, pour finalement adopter cette dernière à partir de 1991. La mesure de la longueur céphalo-thoracique présente l'avantage d'être plus rapide et plus précise à l'échantillonnage.

Evolution de la pêcherie de crevettes de 1968 à 2009

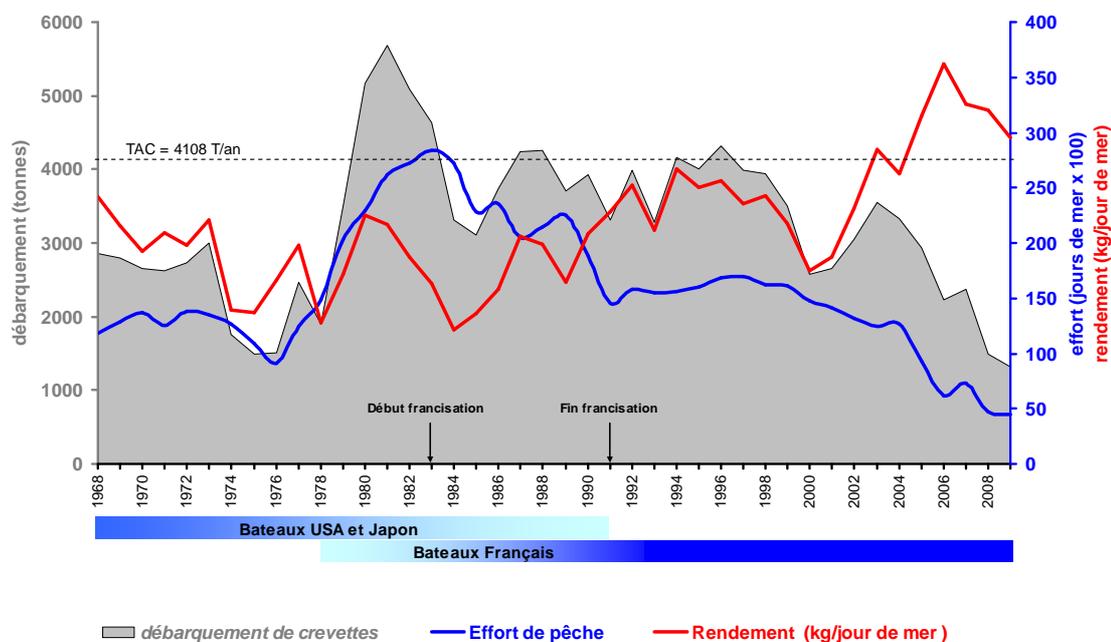


Figure 2 : Evolution des débarquements, effort de pêche et rendements de la pêcherie crevettière en Guyane, entre 1968 et 2009

Nombre moyen de crevettiers en Guyane

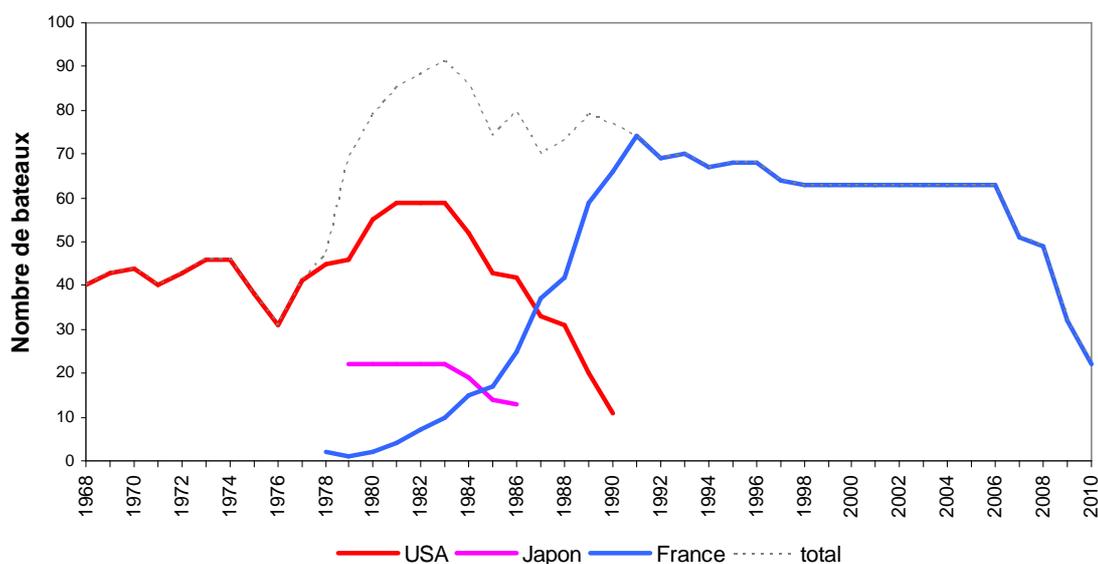


Figure 3 : Evolution du nombre moyen de bateaux en activité en Guyane, entre 1968 et 2010

3. METHODES D'ECHANTILLONNAGE

3.1. Historique

Depuis la moitié des années 1980, il y a eu une forte évolution dans la présentation et le classement des tailles commerciales des crevettes. Cette évolution a suivi de près celle de la flottille, qui a fini sa francisation en 1991.

1985-1987 : l'exploitation est faite par les flottilles des USA, Japon et France. La commercialisation est sous forme de crevettes étêtées pour le marché américain. Le nombre de catégories commerciales est de douze.

1987-1988 : le début de la francisation de la flotte ouvre le marché européen, qui demande des crevettes entières. On assiste à une augmentation de catégories commerciales (jusqu'à 29) car les quatre armements français utilisent des échelles différentes.

1989-1990 : augmentation de la proportion de crevettes entières dans les débarquements

> 1991 : les débarquements en queue représentent une part négligeable des débarquements totaux.

Tenant compte de la diversité dans la présentation et les catégories commerciales, des nombreux protocoles d'échantillonnage se sont succédés entre 1985 et 1992. C'est à partir de 1992 que les premiers travaux sur le plan d'échantillonnage sur la crevette entière ont vu le jour. A partir de 1993 le protocole actuel a été mis en place, avec des ajustements ponctuels afin de mieux s'adapter aux changements de cette pêcherie.

3.2. Méthode actuelle

L'essentiel de la pêche à la crevette s'effectue sur des fonds meubles de 30 à 50 m entre Sinnamary et Cayenne. Des traits de 2 à 3 heures sont effectués de jour, et parfois des traits plus longs la nuit, plus au large, pour capturer des individus de plus forte taille.

La faible sélectivité des chaluts de fond a fait que les prises accessoires restent autour de 70 à 90%. Depuis 2010, l'utilisation systématique par tous les navires, d'un dispositif d'échappement des grosses prises (gros poissons, tortues) a été obligatoire. Le TED (Turtle Excluder Device) permet une sélectivité accrue avec moins de tri sur le pont. Des campagnes d'évaluation devront permettre de quantifier la diminution du taux de rejets (Vendeville et al. 2008).

Suite à l'ouverture du chalut sur le pont, les crevettes sont triées par catégorie commerciale, rincées et ensuite immergées dans une solution de métabisulfite de sodium (antioxydant). S'en suit la mise en boîtes et le stockage dans le congélateur. La décharge s'effectue en général le matin de bonne heure. La cale du bateau est

déchargée manuellement et les boîtes transportées par camion frigorifique jusqu'aux entrepôts.

La méthode actuellement en vigueur est celle décrite par Vauclin (1993) et Kopp (1993). Nous ne rentrerons pas dans le détail de cette méthode par strate suffisamment documentée dans ces deux rapports Ifremer. Ce protocole préconise de réaliser un échantillonnage de 10 bateaux par mois. Cependant, avec la diminution du nombre de bateaux en activité, cette valeur avait déjà été réduite (sans modification du protocole) à 4 bateaux par mois dans les années 2000.

Mesure des paramètres

Le paramètre mesuré est la longueur céphalo-thoracique des individus. Cette mesure est effectuée avec un pied à coulisse au millimètre près inférieur.

Nombre d'individus mesurés

Un poids d'échantillon a été défini pour chaque catégorie commerciale. Le nombre d'individus échantillonnés par bateau en découle (cf. tableau 1, ci-dessous (Vauclin 1993)).

Tableau 1 : poids échantillonnée par catégorie commerciale et par bateau échantillonné

Catégorie commerciale	Poids (kg)
80+	1.5
60-80	1.5
40-60	2
30-40	2
20-30	2
10-20	2

Echelle temporelle

L'échelle temporelle d'observation est **le mois**. Ceci est lié au cycle biologique de *F.subtilis* en Guyane, qui est d'environ 18 mois, avec des périodes de recrutement comportant une faible variabilité tout au long de l'année.

Strates

Les strates considérées sont :

- Armement
- Marée/bateau
- Boîte par catégorie commerciale
- Crevette dans un échantillon

La strate « Armement », pertinente il y a quelques années, n'a plus de sens aujourd'hui, avec un ou deux armements en exploitation depuis novembre 2011. Sur la fin des années 2000, l'échantillonnage était effectué sur les débarquements de la société Unifipêche, qui comptait le plus grand nombre de bateaux en activité. Ceci apportait un biais, mais l'effort supplémentaire pour échantillonner d'autres compagnies dans la strate, aurait été disproportionné vis-à-vis du gain des résultats en regard de la capture totale.

Sur la strate Marée/bateau du mois, il est tiré un échantillon aléatoire simple (EAS) sur **quatre unités-bateaux**. Puis, sur chacune de ces quatre unités, une nouvel EAS est effectuée sur **une boîte par catégorie commerciale**. Dans l'absolu, il aurait été préférable de réaliser cet échantillonnage sur un plus grand nombre de boîtes afin de minimiser les erreurs dans le tri, mais l'ouverture de nombreuses boîtes représente une perte financière pour l'armateur dont il faut tenir compte.

Post stratification par sexe

Les différences dans les paramètres de croissance des mâles et femelles chez *F.subtilis*, justifient de procéder à un échantillonnage par sexe (Isaac et al. 1992). Sur la post strate « femelles » il est appliqué une différenciation de leur stade de maturité afin de suivre leur évolution dans le temps. Ainsi, F1, F2 et F3 représentent l'évolution croissante dans leur stade de maturation.

Post traitement des données

L'ensemble de données ainsi recueilli constitue le point de départ pour le calcul du nombre de crevettes capturées par mois et par sexe. Ce dernier est le point d'entrée pour le calcul du stock annuel. Cet effort d'échantillonnage a suivi la diminution du nombre de bateaux en activité. Ainsi le nombre de crevettes mesurées, est passé de 50 000 en 2000, à environ 10 000 en 2009 et 2010 (figure 4).

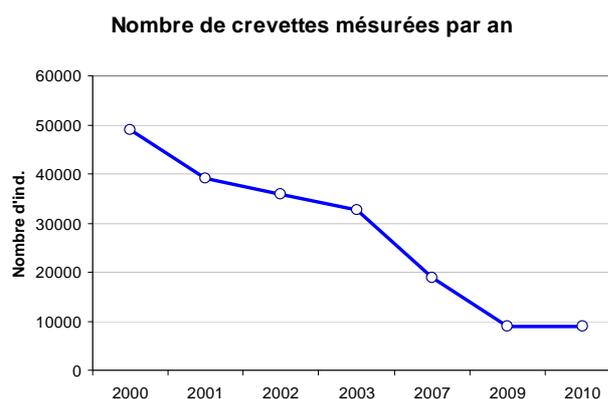


Figure 4 : Evolution du nombre de crevettes mesurées par an

3.3. Présente étude sur l'adaptation d'échantillonnage

Afin de valider un ajustement du taux d'échantillonnage au nombre des bateaux actuels, nous allons réaliser deux études complémentaires sur les données existantes :

- a) une première étude sera basée sur l'analyse statistique des données déjà échantillonnées depuis 2000. Leur nombre, fréquence, taux d'échantillonnage et régularité, seront suivis sur les années 2000, 2001, 2002, 2003, 2007, 2009 et partie de 2010.
- b) Une deuxième étude sera consacrée à l'évaluation de la variabilité des résultats des calculs de stock (VPA) à partir des données de deux échantillons par mois, au lieu de quatre par mois préconisés dans le protocole en vigueur. Ceci permettra d'évaluer l'erreur induite dans le calcul du stock si nous divisons par deux l'effort d'échantillonnage des longueurs céphalo-thoraciques.

3.3.1. Approche statistique

En analysant les données du nombre d'échantillons réalisés par rapport au nombre de crevettes capturées, ainsi que le nombre de bateaux en activité, nous pourrions statuer sur l'importance du changement qui pourrait s'opérer si nous réduisons le nombre de bateaux échantillonnés par mois. Cette approche, purement statistique et pragmatique nous permet d'apprécier si une réduction dans l'effort d'échantillonnage est de nature à bouleverser les rapports entre échantillon et captures.

Evolution du nombre de bateaux échantillonnés par an

Le rapport de Kopp (1993), préconisait de réaliser 10 échantillons-bateaux par mois pour avoir une bonne représentativité des captures, tout en regrettant le faible taux d'échantillonnage par rapport au nombre total d'individus présents dans le stock. Cette valeur de 10 bateaux/mois a toujours été une valeur purement théorique, qui n'a pu être atteinte que ponctuellement. Les difficultés liées aux dates de débarquement, à l'heure, et aux pêches qui ne couvrent pas totalement toutes les catégories commerciales, ont conduit à une forte variabilité de ce taux d'échantillonnage de la strate « bateau ». Dans la figure 5, nous observons cette variabilité et les moyennes annuelles. En 2000, cet échantillonnage était d'environ 9 bateaux/mois, avec des valeurs qui ont oscillé entre 4 et 12. De 2001 à 2003, cette moyenne est déjà à 7 bateaux/mois, en 2007, elle descend à 4, puis 2009 et 2010 présentent une moyenne annuelle de 2 bateaux/mois échantillonnés. Ces dernières années, la pêche s'est concentrée sur la première partie de l'année, avec une difficulté accrue pour concrétiser le nombre de 4 bateaux/mois préconisés.

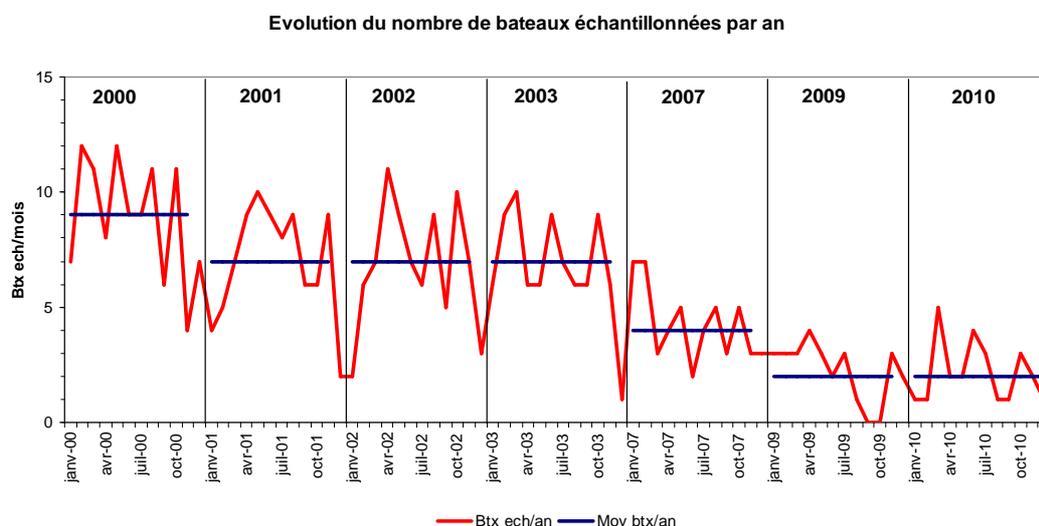


Figure 5 : Evolution du nombre de bateaux/mois échantillonnés et les moyennes annuelles

En conclusion, il est impossible de tenir un taux d'échantillonnage de 4 bateaux/mois avec le rythme de débarquements actuels. Mais le taux de crevettes échantillonnées par bateau a-t-il changé ?

Evolution du taux de crevettes par bateau échantillonné

L'échantillonnage aléatoire dans les caisses par catégorie commerciale est constant (tableau 1), et déterminé dans le rapport de Vauclin (1993). Il ne devrait donc pas y avoir de différences dans le nombre de crevettes mesurées par bateau échantillonné. Nous constatons cependant que cette valeur change au fil du temps (figure 6).

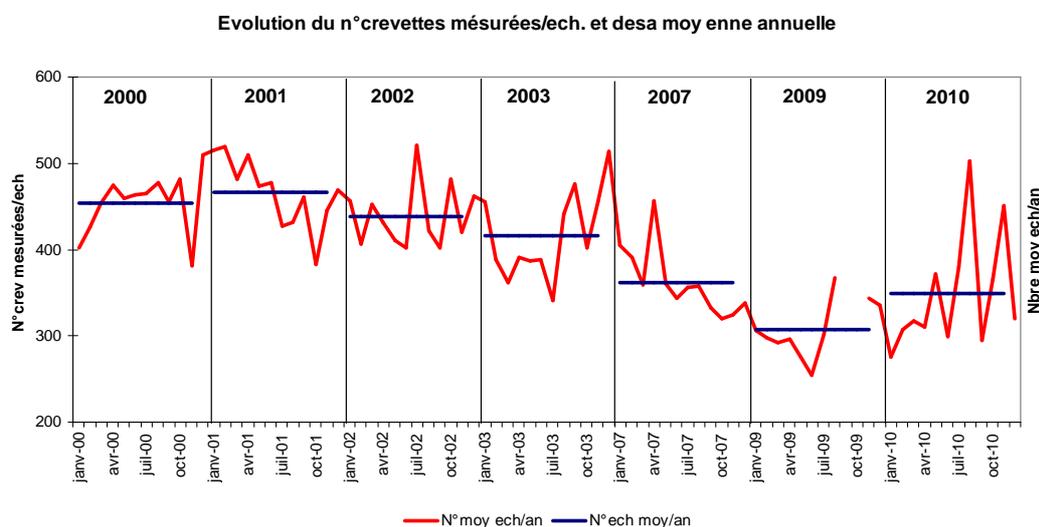


Figure 6 : Evolution du taux de crevettes échantillonnées/bateau et sa moyenne annuelle

Entre 2000 et 2003 le nombre moyen annuel de crevettes mesurées par bateau se situait autour de 450 crevettes/bateau. Cette valeur descend à 300-400 crevettes/bateau en 2007 et 2009 et connaît une augmentation depuis 2010. Ceci suggère un échantillonnage non régulier sur toutes les catégories commerciales à chaque bateau. Ces écarts sont de nature à introduire un biais dans le calcul *a posteriori* du nombre de captures.

Evolution du taux de crevettes 'mesurées' sur celles 'capturées' dans le mois

Indépendamment des mesures et de la distribution par catégorie commerciale, nous devons nous poser la question sur le taux effectif dans l'échantillonnage. Est-ce que la proportion de crevettes mesurées par rapport à celles capturées (N_e/N_{cap}) est toujours la même ?

Dans la figure 7 nous observons une forte variabilité mensuelle dans ce taux N_e/N_{cap} . Cependant les moyennes annuelles restent relativement constantes, entre 200 et 300 crevettes mesurées par million de crevettes capturées. La quantité de crevettes échantillonnées face au grand nombre capturées peut sembler faible, mais elle est dictée par les limites de l'effort possible avec les moyens disponibles. Il n'est pas imaginable d'échantillonner 10% des captures, avec le coût en personnel et les pertes engendrées aux compagnies. Ceci signifierait d'augmenter le taux d'échantillonnage d'un facteur 700 !

L'effort d'échantillonnage réel, celui que nous pouvons réaliser en fonction des débarquements disponibles, devrait être régulier tout le long de l'année. Mais comme nous l'avons déjà évoqué, le nombre de navires en pêche est plus

important dans le premier semestre, avec un minimum en juillet-août. Devons nous garder alors un effort constant chaque mois ?

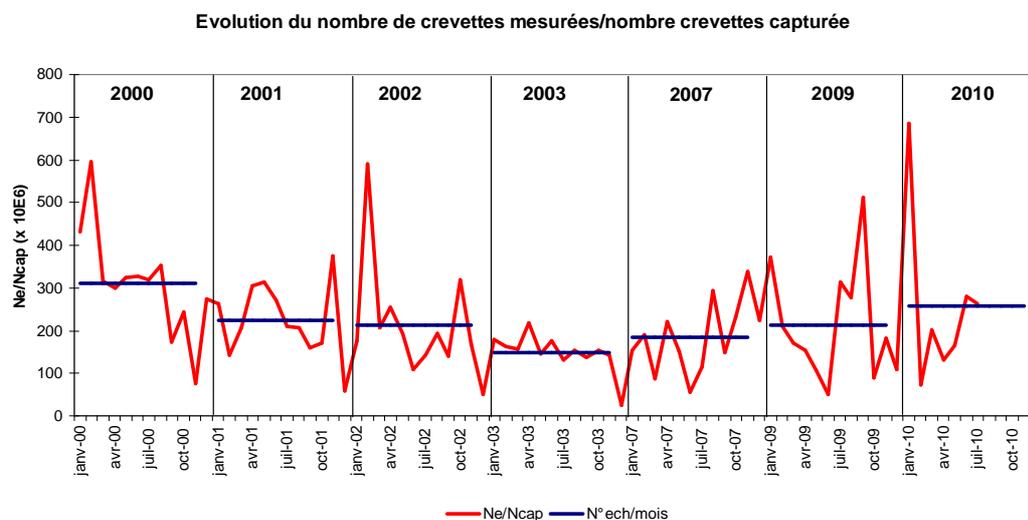


Figure 7 : Evolution du nombre de crevettes mesurées sur le nombre de crevettes capturées par mois

Evolution mensuelle des tailles moyennes des crevettes débarquées

Si la taille moyenne des crevettes débarquées avait une forte dispersion pendant les mois de faible activité des navires, nous pourrions l'attribuer au plus faible taux d'échantillonnage. Pour y répondre, nous avons calculé les tailles moyennes par mois, sur un maximum d'années, puis regroupées par mois et nous avons observé la dispersion.

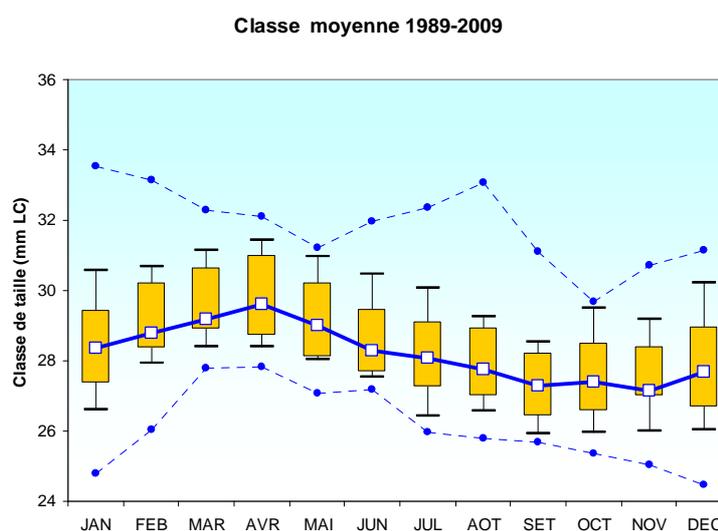


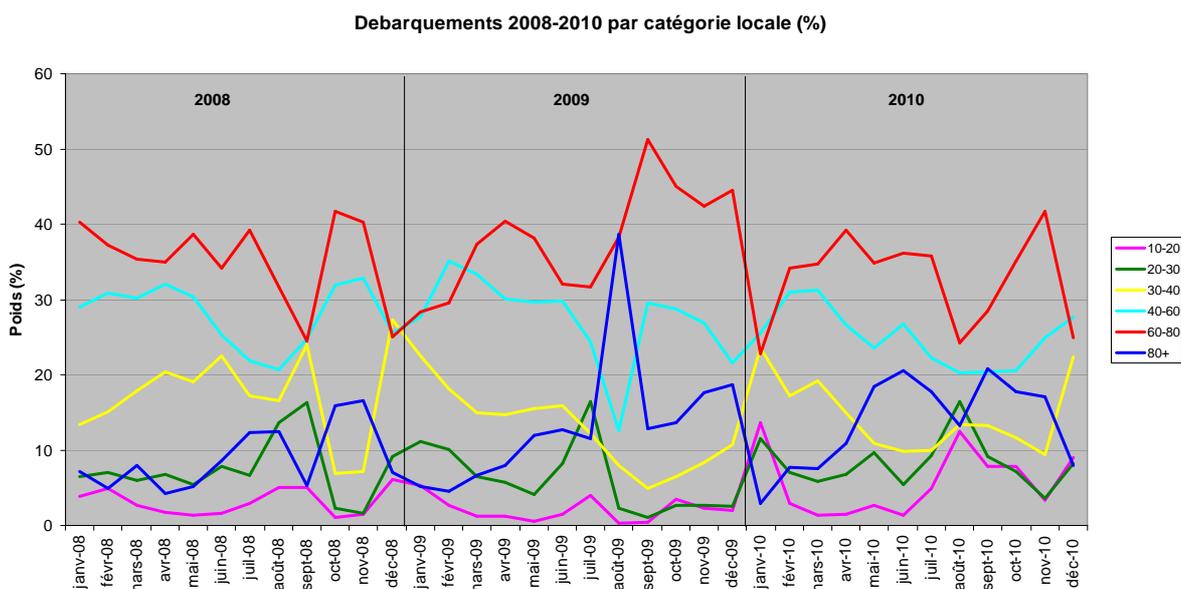
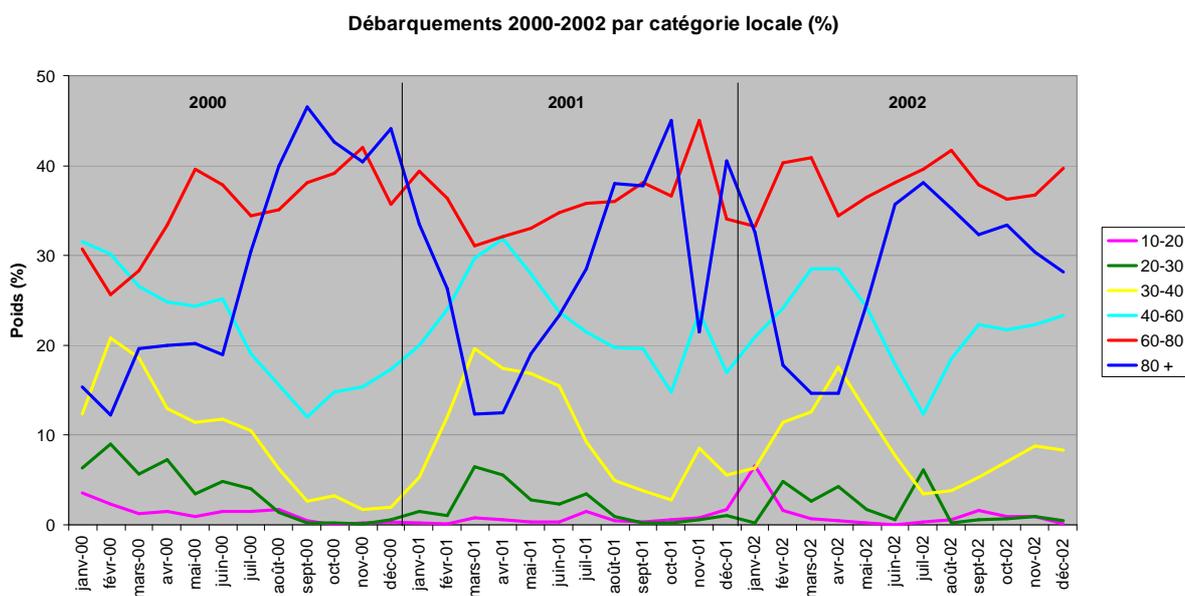
Figure 8 : Médiane de la classe de taille des crevettes capturées entre 1989 et 2009, ainsi que leur dispersion par mois

Dans la figure 8 sont portées les médianes des tailles en millimètres par mois, sur la période 1989-2009. La classe de taille médiane varie très peu, entre 28 et 30mm sur une année, avec un maximum en avril et un minimum en septembre-novembre.

Mais ce qui est plus remarquable, c'est la mise en évidence par la taille des boîtes à moustaches, de la régularité dans la dispersion des valeurs. Nous pouvons alors conclure que les variations du taux d'échantillonnage sur l'année ne sont pas de nature à altérer la qualité de l'inférence saisonnière.

Evolution de la proportion de catégories commerciales débarquées dans le temps

Le tableau 1 présente les poids à échantillonner par catégorie commerciale. Il a été bâti en fonction de la proportion de catégories commerciales observées dans les débarquements, mais est-ce que l'importance des catégories dominantes change dans le temps pouvant mettre en question le tableau 1 ?



Pour répondre à cette question, nous allons analyser les débarquements mensuels par catégorie en pourcentage des débarquements totaux.

Dans la figure 9 sont portés les pourcentages débarqués par catégorie commerciale au début des années 2000. L'essentiel des débarquements a été fait sur les catégories 40-60, 60-80 et 80+. La catégorie 60-80 représente à elle seule 30 à 40% du poids des débarquements dans cette période. La catégorie 20-30 ne dépasse pas 20% des pêches et les crevettes de forte taille (10-20 et 20-30) ne représentent, au mieux, que 10% du total capturé.

La figure 10 présente la même analyse sur la période 2008-2010. Sur cette période, les catégories 40-60 et 60-80 gardent les mêmes proportions qu'en début des années 2000. Par contre, la catégorie 80+ présente une diminution sensible, compensée par une augmentation des fortes tailles (10-20).

Ce constat nous amène à garder, voire à augmenter si possible le poids échantillonné des grosses crevettes, car bien que minoritaires, leur part dans les débarquements est en augmentation depuis 10 ans. Pour la catégorie 80+, elle est composée des plus petites crevettes, et leur nombre sur le poids échantillonné est satisfaisant au vu de leur poids relatif dans les débarquements. Nous pourrions envisager de diminuer l'effort de mesure sur cette catégorie si cette diminution dans le rapport de débarquements se maintient encore quelques années.

Conclusion

De l'analyse que nous avons portée sur les données existantes, nous pouvons penser qu'une diminution à 2 bateaux par mois est un bon compromis pour garder les mêmes taux d'échantillonnage par rapport aux captures. Il est probable qu'avec les 6 bateaux disponibles de la société ABCHEE, plus deux de chez FLORUS, il y aura des mois où il sera peut être difficile de réaliser ces deux échantillons mensuels. Le nombre de crevettes à échantillonner indiqué dans le tableau 1 reste alors d'actualité. Il devrait assurer une bonne inférence sur le nombre de captures par mois. Cependant, une augmentation du nombre de crevettes à échantillonner dans la catégorie 10-20 pourrait rééquilibrer le poids relatif des catégories commerciales débarquées dans l'échantillonnage.

C'est cette évaluation du nombre de crevettes capturées par mois qui sera le point de départ pour les analyses de l'évaluation de l'état du stock. Mais quelle est la sensibilité du calcul du stock aux variations du nombre de crevettes capturées ? Une erreur de 5% dans le calcul du nombre de crevettes capturées produit-elle une erreur de 5% sur le calcul du stock ? C'est ce que nous avons étudié dans le chapitre suivant, afin d'avoir non seulement une vision du nombre de crevettes capturées, mais également, celle du paramètre qui nous intéresse, qui est : combien de crevettes sont-t-elles disponibles pour la pêche sur le plateau guyanais ?

3.3.2. Approche par le stock

Question posée : partant du fait que l'échantillonnage officiel est de 4 bateaux par mois, si nous voulons passer à deux par mois, quelle est l'erreur que je commets sur le calcul du nombre de recrues (calcul de stock).

L'échantillonnage mensuel de tailles de crevettes par catégorie commerciale doit conduire à l'évaluation du nombre de crevettes capturées par l'ensemble de la flottille de pêche sur un mois. Cette évaluation est faite par sexe et par classe de taille d'un millimètre, entre 10 mm et 60 mm. L'ensemble de ces captures, par mois, plus les paramètres de croissance des crevettes nous permettent d'accéder, *via* des calculs (VPA), au stock présent sur le plateau guyanais (nombre de recrues par mois).

Pour réaliser cette étude, nous avons calculé les recrutements de **crevettes femelles** sur une période de trois années (2000 à 2003) avec trois profils :

- un premier calcul avec une composition de la **capture minimale**, obtenue avec la combinaison de **2 bateaux par mois**,
- un deuxième avec la composition de la **capture maximale** obtenue avec la combinaison de **2 bateaux par mois**
- et un troisième avec la composition obtenue sur les **4 échantillons** mensuels complets (référence).

Nous pourrions alors apprécier l'écart maximal commis (maximum et minimum) si nous échantillons deux fois par mois sur les quatre préconisés.

Sélection des échantillons par bateau pour réaliser le spectre de captures

Il faudra donc confectionner sur une période de trois ans, des fichiers d'échantillonnages comportant 4 échantillons de bateaux par mois, puis sélectionner 2 de ces échantillons parmi les 4 permettant d'avoir le spectre de captures maximal et minimal.

L'analyse combinatoire (Sherrer 1984) nous dit que pour 4 échantillons et deux tirages, le nombre de combinaisons possibles est :

$$C_n^p = \frac{n!}{(n-p)!p!}$$

où « n » est le nombre total d'éléments et « p » le nombre de combinaisons « p » à « p ». Dans notre cas, n=4 et p=2. Le nombre total de combinaisons possibles 2 à 2 sur 4 échantillons est alors de 6. Ceci se corrobore aisément car c'est un cas simple, où nous pourrions avoir les combinaisons suivantes :

1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4 et 3-4

L'addition des échantillons ainsi calculés, nous fournira 6 compositions de captures, dont une maximale et une autre minimale. Ce sont ces deux spectres extrêmes qui seront utilisés pour les calculs des stocks, ainsi que celui issu des 4 échantillons complets.

Calcul du spectre de captures à partir des échantillons

Ce calcul est fait par catégorie commerciale. Le nombre total de crevettes mesurées par classe de taille est calculé pour chacune des 6 combinaisons possibles –voir le paragraphe précédent. Le nombre de crevettes par classe de taille est converti en poids en utilisant les relations taille-poids par sexe de la crevette brune. Ces tables de conversion permettent de passer d'une taille céphalo-

thoracique –ou une longueur totale– au poids moyen de la classe de taille (voir en annexes).

Avec le poids de chaque échantillon, nous pourrions alors extrapoler au débarquement du mois –pour cette classe de taille– et obtenir le nombre total d’individus pêchés par catégorie commerciale, par sexe et par taille d’un millimètre (voir exemple de ce fichier en annexes).

Calcul des stocks par VPA (Virtual Population Analysis)

Ce calcul nous permet d’évaluer le nombre et/ou le poids de la biomasse de crevettes par mois présent sur le plateau guyanais. Pour ce faire, nous aurons besoin :

- du nombre de crevettes capturées dans le mois, par sexe. Information obtenue selon la procédure indiquée dans le paragraphe précédent,
- du taux de croissance par sexe,
- de la valeur L_{inf} , qui représente la taille maximale théorique,
- de T_0 qui est l’âge à la taille 0 mm.

Ces derniers trois paramètres ont été calculés pour la crevette guyanaise (*F.subtilis*) lors du projet DUHAL (Vendeville et al. 2008). Les valeurs retenues sont dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 : Paramètres de croissance pour *F.subtilis* en Guyane (Vendeville et al. 2008)

Paramètre	Males	Femelles
K	0.139/mois	0.173/mois
L_{inf}	51.76mm	58.62mm
T_0	0	0

Ce type de calcul est basé sur une distribution par classe d’âges. Les classes de taille sont converties alors en classes d’âge par la formule de Von Bertalanffy (Sparre & Venema 1998). L’âge de recrutement est fixé à 2 mois ; l’âge maximal, compte tenu du cycle de vie de la crevette est fixé à 18 mois, et nous avons regroupé dans une classe d’âge « 8+ » toutes les captures entre 8 et 18 mois. La mortalité par pêche initiale F_{init} est fixée à 0.3 et la mortalité naturelle M à 0.16. Un script a été développé au sein de l’unité Biodivhal (Ifremer, Guyane) sous le logiciel du domaine public « R » pour réaliser les calculs concernant la crevette tropicale de Guyane à l’Ifremer (Lampert 2011b).

Pour évaluer l’influence des variations des captures sur le calcul du stock, nous avons réalisé uniquement le calcul du stock sur les femelles, l’ajout des mâles n’apportant pas d’informations plus pertinentes pour cet exercice.

Les résultats sont portés pour le calcul tenant compte de l’échantillonnage avec 4 bateaux/mois complets, la combinaison donnant le maximum de captures avec 2 échantillons/mois et celles donnant le minimum de captures avec 2 échantillons/mois (figure 11).

Les valeurs du recrutement calculées ne sont pas complètes pour la dernière année, car la méthode de calcul se base sur le suivi d’une cohorte et non d’un mois. De ce

fait, pour la cohorte qui rentre dans le stock avec 2 mois en décembre 2002, nous n'avons pas les valeurs pour le reste de classes d'âge. Nous pourrions réaliser des approches, qui pour notre étude n'ont pas d'intérêt, car avec deux ans et demi nous avons suffisamment d'information pour évaluer les différences apportées par les trois tableaux de spectres de classe de taille.

Nous observons alors, que pour les trois calculs, la tendance est la même, sauf le dernier mois, où nous avons une incertitude liée au calcul par classe d'âge. Bien que la tendance soit la même, les écarts obtenus entre 2 éch/mois et 4 éch/mois, peuvent dépasser 10% par rapport à la référence de 4 éch/mois (zones grisées de la figure 11).

Pour trouver la raison de ces écarts, nous avons étudié plus en détail les mois de janvier et février 2000. En janvier 2000, les écarts ont été minimales, tandis que pour le mois de février ils ont été supérieurs à 10% de la valeur de référence.

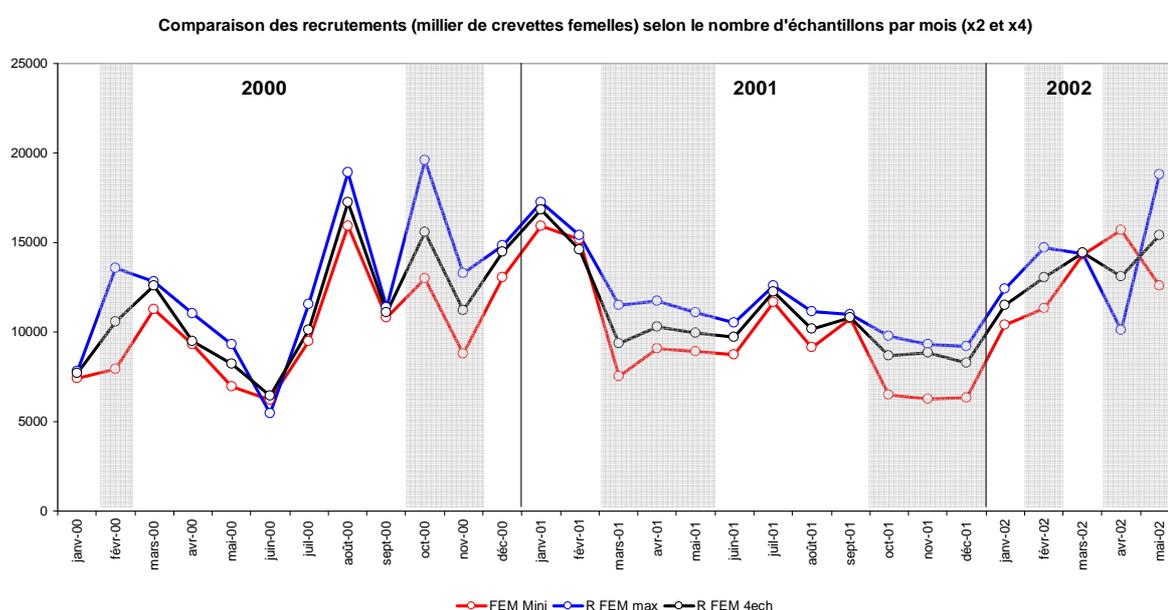


Figure 11 : Evolution du nombre de crevettes femelles présentes sur le plateau guyanais entre 2000 et 2002. Calcul réalisé avec 4 échantillons/mois, les captures maximales avec 2 échantillons/mois et les captures minimales avec 2 échantillons/mois

Cette variabilité peut avoir son origine dans le **nombre de crevettes échantillonnées**, si ce nombre est trop faible. Mais également dans la **dispersion intrinsèque des valeurs de longueur** des crevettes.

Nombre de crevettes échantillonnées

Nous avons porté dans la figure 12, les médianes et leurs dispersions du nombre de mesures réalisées sur les crevettes en janvier et février 2002 pour les 4 échantillons considérés.

Nous constatons une plus forte dispersion dans le nombre d'échantillons réalisés en février 2000 par rapport au mois précédent. En février 2000, un trop faible échantillonnage pour la catégorie 10-20 (4 à 8 individus seulement) est suivi d'une forte variabilité dans la catégorie 40-60, où pour les quatre bateaux échantillonnés, nous observons entre 28 et 132 crevettes mesurées. La figure 13 présente la

variance du nombre d'échantillons réalisés sur les quatre bateaux. En février 2002, cette variance est moins régulière que celle du mois de janvier. Cette forte variabilité peut être à la source des écarts constatés dans le calcul des stocks.

Nombre de crevettes échantillonnées/CATLOC en janvier et février 2000

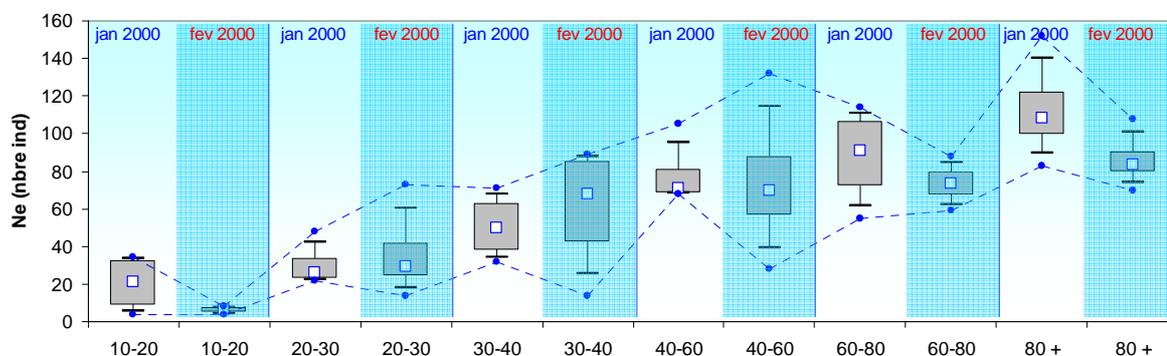


Figure 12 : Médianes et dispersion de valeurs du nombre de crevettes échantillonnées par catégorie commerciale en janvier et février 2000 pour 4 éch/mois

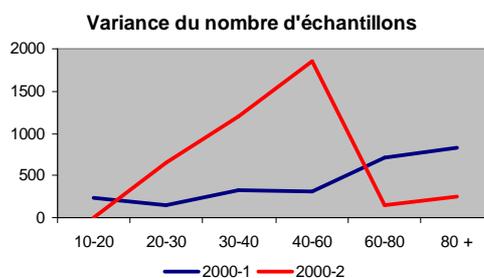


Figure 13 : Evolution de la variance du nombre d'échantillons réalisés sur les quatre bateaux des mois de janvier et février 2000 par catégorie commerciale

Dispersion intrinsèque des valeurs de longueur

Les différences de la figure 11 peuvent être dues également aux fortes variabilités dans les tailles observées. Dans la figure 14, nous observons les médianes des tailles moyennes par catégorie commerciale pour les deux mois étudiés.

Tailles moyennes sur les quatre bateaux/mois

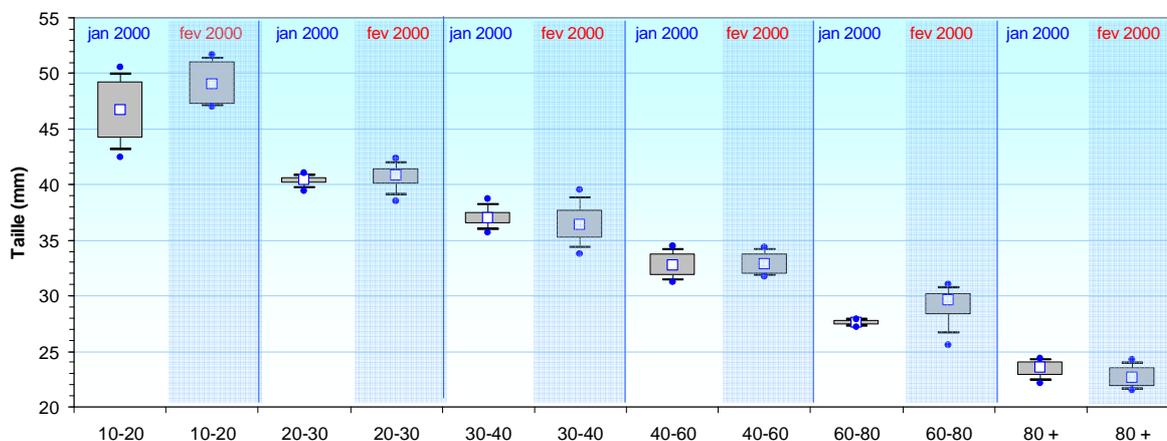


Figure 14 : Médianes et dispersion de la taille moyenne de crevettes échantillonnées en janvier et février 2000 pour 4 éch/mois

Sauf pour les catégories 10-20 et 60-80, les deux jeux de données (janvier et février) ne présentent pas de grandes différences entre eux. Un test des moyennes sur chaque catégorie montre qu'il n'y a pas de différences statistiques entre les deux échantillons. Nous observons cependant une plus forte dispersion dans les grandes tailles de la classe 10-20 et sur les échantillons de février 2000. Ceci se manifeste également par les valeurs de la variance par classe de taille et par mois dans la figure 15, où les plus fortes variances sont plus souvent rencontrées dans l'échantillon du mois de février 2000 et pour les deux échantillons de la catégorie 10-20.

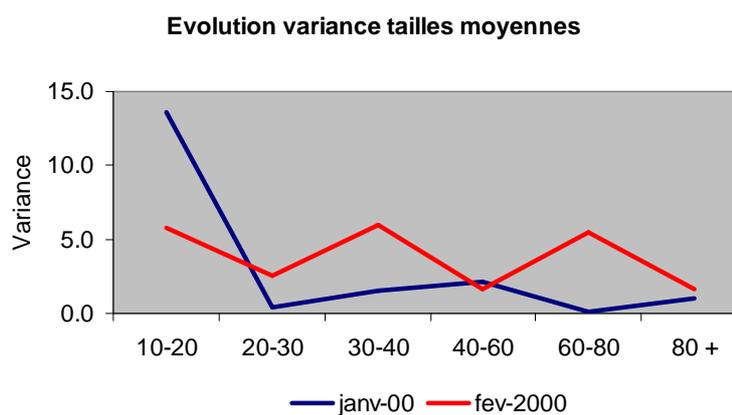


Figure 15 : Evolution de la variance de la taille moyenne des crevettes calculée sur les quatre bateaux/mois des mois de janvier et février 2000 par catégorie commerciale

Ceci suggère que la forte variabilité dans le nombre de crevettes mesurées en février (figure 12) induit également une forte dispersion de valeurs dans la taille de crevettes mesurées (figure 14). Il faudra, dans la mesure du possible, garder le taux d'échantillonnage le plus régulier possible afin d'éviter ce phénomène. L'autre enseignement que nous pouvons tirer de la figure 14, est que le nombre de crevettes mesurées pour la catégorie 10-20, semble insuffisant pour assurer une faible dispersion de valeurs autour de leur taille moyenne. Il se peut alors que ce soit ce faible échantillonnage et les fortes dispersions qui induisent les différences observées dans les stocks calculés de la figure 11. Pour y répondre, nous allons ventiler le stock par classe d'âge, puis par catégorie commerciale.

Ventilation du stock par classe d'âge

Puisque nous avons calculé les VPA par classe d'âge, nous pouvons regarder de plus près quelles sont les classes d'âge qui présentent le plus de différences entre le calcul de 2 et 4 ech/mois. Pour faire cette comparaison, nous remettons 'par mois' les classes d'âge qui ont été mises par 'cohorte' pour le calcul des VPA (figure 16).

Nous constatons que ce sont les classes d'âge 6, 7 et 8+ qui présentent le plus de variations par rapport à la référence (4 ech/mois). Dans les classes d'âge 2 à 5, les différences sont bien plus faibles. Le calcul par VPA commence par les plus fortes classes d'âge (8+) et se termine par l'âge de recrutement (classe 2 mois), donc les

plus faibles différences dans les premiers pas du calcul vont se propager par la suite sur les autres classes d'âge.

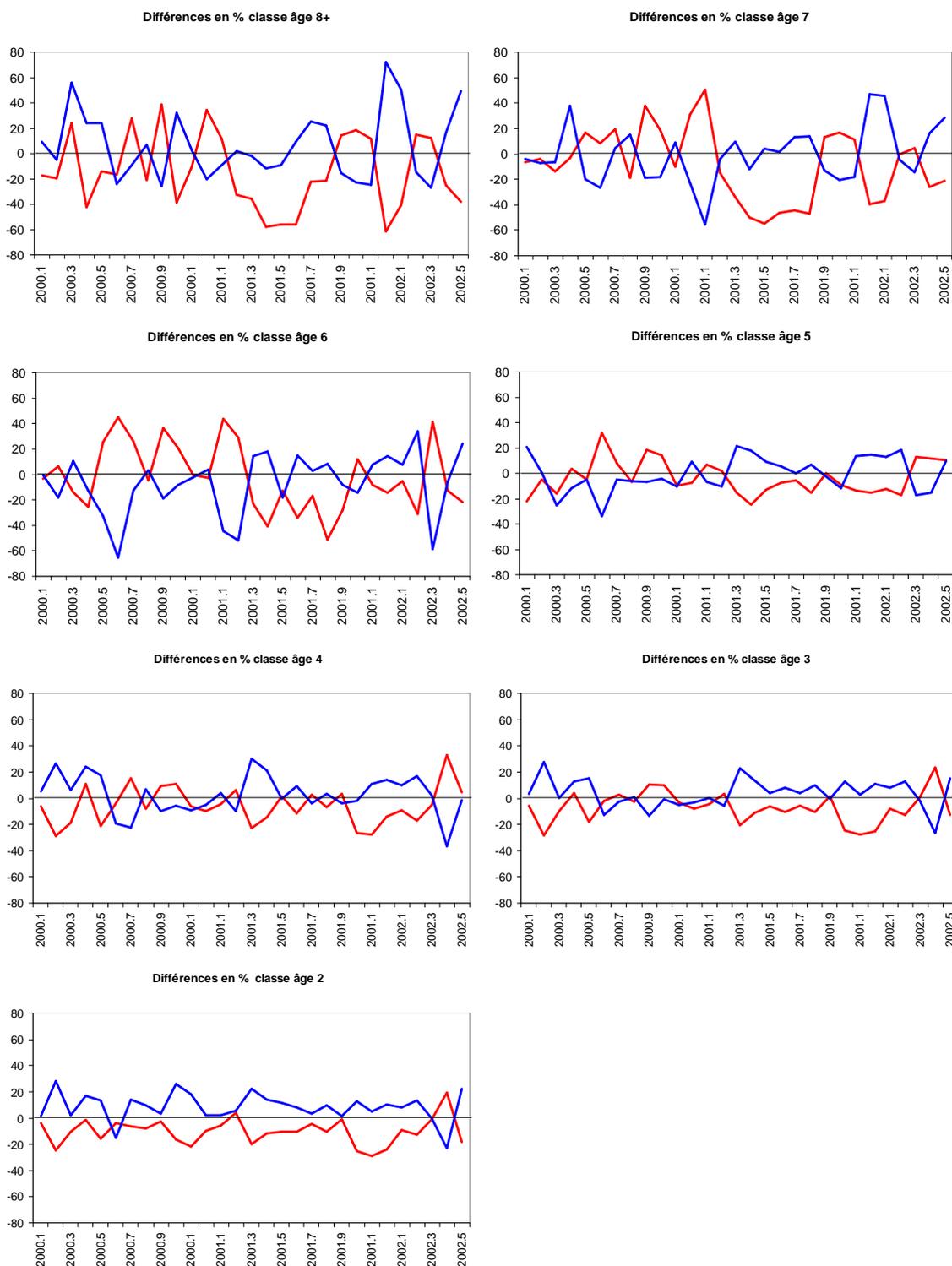


Figure 16 : Différences en pourcentage (%) dans les résultats d'évaluation des survivants par VPA, par classe d'âge, entre les résultats de 4 ech/mois et 2 ech/mois (maxi et mini)

Les classes d'âge 6 à 8+, qui présentent le plus de différences dans le calcul, correspondent essentiellement aux catégories commerciales 10-20 et en moindre mesure aux autres catégories (figure 17).

Les faibles quantités mesurées dans les grosses catégories commerciales font que la variabilité naturelle de la distribution de classes de taille s'exprime davantage et par conséquent, dans la variabilité des résultats des VPA. Il faut donc réduire autant que possible ce biais en échantillonnant davantage d'individus de grande taille, ce qui est difficilement compatible avec le programme commercial des opérateurs (les crevettes de grande taille ont une valeur commerciale plus élevée).

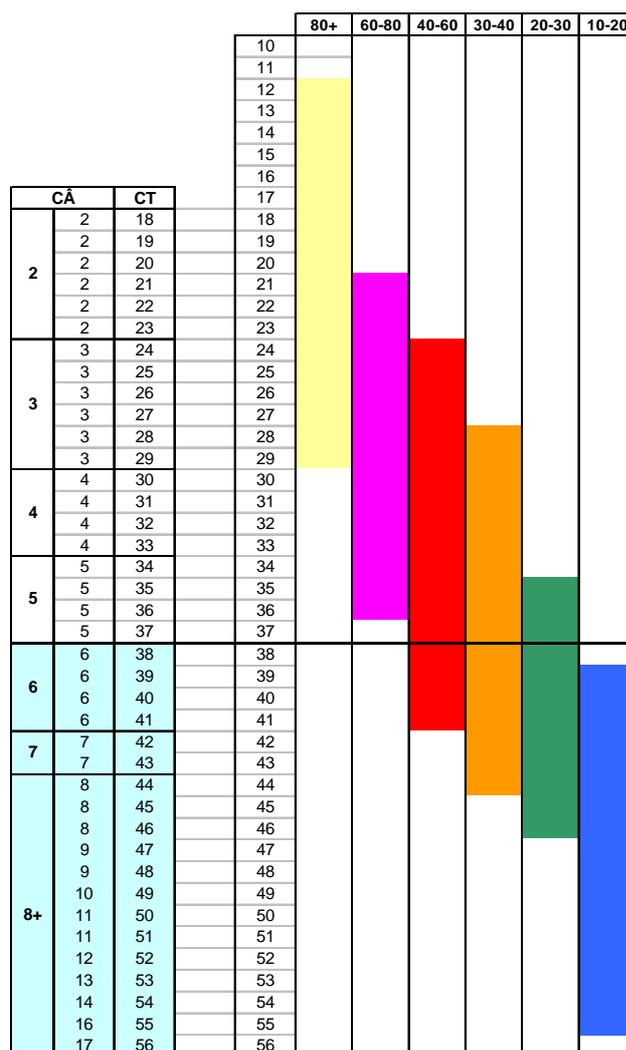


Figure 17 : Correspondances entre longueurs céphalo-toraciques (CT), classes d'âge (CA) et catégories commerciales pour la crevette *F. subtilis* en Guyane

4. CONCLUSION – PROPOSITION

Le premier constat se situe dans l'échantillonnage de premier niveau. C'est-à-dire, celui réalisé par les pêcheurs eux-mêmes. Dans ce premier niveau, le taux d'échantillonnage est bas. Nous constatons une moyenne de 50 crevettes capturées par million de crevettes du stock du plateau (calculés par VPA). Cet échantillonnage n'est pas aléatoire, le pêcheur essaye logiquement de maximiser ses prises et en fonction de son expérience sait où l'on peut trouver davantage de crevettes. Donc, ce premier échantillonnage est déjà biaisé et non représentatif d'une distribution au hasard.

Si nous observons l'échantillonnage de deuxième niveau, celui réalisé à partir des caisses congelées par catégorie commerciale, le taux d'échantillonnage s'améliore quelque peu, mais reste très faible vis-à-vis des crevettes capturées dans le mois. Ici, ce taux varie entre 200 et 300 crevettes mesurées par million de crevettes capturées.

Bien qu'une augmentation de l'échantillonnage nous permette d'avoir une plus faible dispersion de valeurs, elle est incompatible avec sa mise en œuvre. Nous avons déjà vu qu'avec un protocole de 4 échantillons par mois, il n'a été possible de réaliser en moyenne que 2 échantillons par mois en 2009 et 2010. En plus de problèmes liés à la logistique de débarquements, un effort accru de l'échantillonnage signifie un effort financier de la part des armements par la mise à disposition des crevettes, ce qu'il est difficile d'obtenir de leur part dans la situation actuelle.

Les valeurs extrêmes observées dans la figure 11, risquent d'arriver dans 15% des cas (1/6^{ème} selon l'analyse combinatoire). Dans 85% des autres cas, l'écart à la référence (4 échantillons/mois) sera inférieur.

Une façon d'améliorer les erreurs susceptibles de se propager dans le calcul des stocks est de diminuer les fortes variations dans le nombre de crevettes échantillonnées d'un mois sur un autre, et surtout d'augmenter dans la mesure du possible le nombre de crevettes mesurées sur la catégorie commerciale 10-20.

La fréquence d'échantillonnage de 2 bateaux par mois semble donc répondre aux besoins de précisions pour le calcul des stocks par VPA. Une amélioration significative dans cette précision pourra être obtenue en augmentant le nombre de crevettes mesurées dans la catégorie 10-20 et en veillant à garder une régularité dans le nombre mesuré de crevettes à chaque mois.

Proposition d'un protocole 'idéal' pour l'échantillonnage dès 2012

En fonction des éléments obtenus lors de cette étude, nous pouvons préconiser un nouveau protocole d'échantillonnage qui réponde mieux aux changements récents de la pêche.

Fréquence d'échantillonnage : 2 bateaux par mois

Nombre de crevettes à mesurer : voir le tableau 3 ci-dessous

Pour le reste du protocole, garder les caractéristiques de celui en cours (Kopp, 1993)

Tableau 3 : échantillonnage idéal par catégorie commerciale par bateau et par mois

Catégorie commerciale	Poids (kg)/bateau	Nombre moyen/bateau	Poids (kg)/mois	Nombre moyen/mois
80+	1.5	120	3	240
60-80	1.5	105	3	210
40-60	2	100	4	200
30-40	2	70	4	140
20-30	2	50	4	100
10-20	3	45	6	90

Il arrive fréquemment qu'une des catégories commerciales ne soit pas représentée lors de l'échantillonnage, dans ce cas, il convient de reporter à l'échantillonnage suivant les quantités qui n'ont pas pu être échantillonnées. A la fin du mois, l'idéal est de se trouver avec les quantités de crevettes indiquées dans la partie grisée du tableau 3.

BIBLIOGRAPHIE

- Isaac, V., Dias Neto, J. & Damasceno, F., 1992. *Camarao Rosa da costa Norte: biologia, dinamica et administracao pesqueira*, Brasilia: IBAMA.
- Kopp, J., 1993. *Traitement statistique et informatique des données de pêche et d'échantillonnage des crevettes *Penaeus subtilis* en Guyane*, Cayenne: IFREMER.
- Lampert, L., 2011a. *Etude de la crise de la pêche de la crevette en Guyane - Volume 1 : Effets de la pêche - hypohèses des causes*, Cayenne: Ifremer.
- Lampert, L., 2011b. *Mode d'emploi du Scrip R pour le calcul par VPA du nombre de recrues de crevettes et de leur biomasse.*, Cayenne: Ifremer.
- Sherrer, B., 1984. *Biostatistiques*, Montréal: Gaëtan Morin.
- Sparre, P. & Venema, S., 1998. *Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1 Manual*. FAO., Rome: FAO.
- Vauclin, V., 1993. *Vers une optimisation du plan d'échantillonnage des débarquements des crevettes *Penaeus subtilis* en Guyane Française*, Cayenne: IFREMER.
- Vendeville, P. et al., 2008. *Durabilité des activités halieutiques et maintien de la biodiversité marine en Guyane*, Cayenne: Ifremer.

ANNEXES

Tableau de relations Taille-Poids par classe de taille céphalo-thoracique utilisés dans les calculs de stock

Tableau par CT

CT	MALE	FEMEL
	gr(LC)	gr(LC)
10	0.905794	0.894508
11	1.176234	1.159583
12	1.493066	1.469620
13	1.859379	1.827540
14	2.278199	2.236196
15	2.752492	2.698383
16	3.285169	3.216840
17	3.879091	3.794256
18	4.537072	4.433273
19	5.261886	5.136491
20	6.056266	5.906470
21	6.922907	6.745735
22	7.864470	7.656772
23	8.883585	8.642037
24	9.982849	9.703957
25	11.164831	10.844926
26	12.432071	12.067313
27	13.787086	13.373461
28	15.232364	14.765687
29	16.770372	16.246285
30	18.403555	17.817527
31	20.134332	19.481661
32	21.965107	21.240918
33	23.898259	23.097506
34	25.936151	25.053615
35	28.081126	27.111418
36	30.335509	29.273068
37	32.701610	31.540704
38	35.181719	33.916445
39	37.778114	36.402397
40	40.493054	39.000650
41	43.328785	41.713278
42	46.287539	44.542343
43	49.371531	47.489891
44	52.582966	50.557956
45	55.924035	53.748557
46	59.396913	57.063703
47	63.003766	60.505389
48	66.746747	64.075598
49	70.627996	67.776302
50	74.649644	71.609461
51	78.813807	75.577025
52	83.122594	79.680932
53	87.578100	83.923110
54	92.182412	88.305476
55	96.937606	92.829940
56	101.845748	97.498398
57	106.908894	102.312740
58	112.129091	107.274844
59	117.508377	112.386580
60	123.048780	117.649811

**Nombre de crevettes femelles (en milliers d'individus) capturées par classe de taille
(1 mm/Classe de taille) et par mois, entre janvier 2000 et janvier 2001**

CT	X2000.1	X2000.2	X2000.3	X2000.4	X2000.5	X2000.6	X2000.7	X2000.8	X2000.9	X2000.10	X2000.11	X2000.12	X2001.1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	8.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.5	13.7
17	16.2	0	24.2	0	0	0	0	31.9	42.9	0	0	0	0
18	24.3	76.4	0	0	0	0	0	31.9	0	0	0	56.9	27.3
19	16.2	76.4	0	36.2	0	16.3	0	0	0	39.8	77.3	227.6	109.2
20	48.5	152.9	72.5	0	113.5	0	47.2	31.9	128.6	0	0	398.4	191.1
21	105.1	185.6	314.2	72.4	22.7	32.7	47.2	223.3	128.6	318.6	154.5	853.7	409.6
22	161.7	240.2	338.3	108.7	68.1	65.4	212.6	159.5	239.2	597.3	154.5	1109.8	532.4
23	216.4	218.4	385.4	253.6	227	114.4	401.5	287.1	656.6	1154.8	759	842.8	414.7
24	105.1	190.9	505	573.9	227	288.8	608.2	785.9	651.2	1115	1092.7	433.6	234.7
25	164	185.6	428.9	650.7	311.7	430.6	370.1	780.1	1204.7	796.3	1358.2	503.1	290.3
26	152	130.6	329.7	583.3	537.2	617.5	293.4	991.8	1766.1	688.9	1766.9	629.6	391.1
27	178.8	75.5	390.6	397.1	868.6	781.8	461	658.3	1357.4	682.6	943.4	579.5	405.7
28	85.3	0	408.1	445.8	1272.6	524.9	517.9	649.1	1235.2	776.3	941.5	356.3	250.3
29	133.3	34.4	376.4	459.1	893.8	708.8	417.1	406.5	1100.8	1435.3	827	421.3	298.1
30	110.9	94.9	454	157.4	915.6	348.9	295.5	234.3	430.1	1288.3	522.9	265.8	188.2
31	91	111	763.6	151.1	578.6	481.1	378.5	310.1	351.8	1077.1	510.5	169.9	123.3
32	107.2	141.3	471.4	197.2	490.9	403	265.2	341.5	271.2	576.5	263.2	135.9	99.7
33	160	215.2	624.6	105.3	390.9	433.4	225.3	187.9	192.6	277.4	69.9	94.5	81.3
34	321.6	156.1	450.7	164.5	184.4	389.8	249.5	177.3	157.3	153.5	142.5	70	67.4
35	319	80.2	313.8	111.9	304.7	200	161.4	83.3	106.1	99.2	27	37.3	40.4
36	238.3	83.7	263	125	211.9	270.3	162.6	71.7	63.5	81.9	73.4	20.9	30.8
37	131.4	36.6	197.2	98.3	192.7	150.4	75.8	51.3	41.6	29.2	36.5	13.2	21.6
38	100.1	27.7	229.9	65.6	203.2	232.8	53.9	33.8	31.6	46.9	17.5	8.4	15.5
39	90.2	83	234.9	97.9	115.3	86	54.7	22	5.4	36.1	14.2	12.5	16.6
40	85.1	101.8	122.4	139.4	72.5	109.6	37	7.3	1.6	18.9	5.1	5.7	11.5
41	67	74.6	87.1	125.5	70.2	33.4	30.1	3.7	2.7	10.6	3.6	2.2	3.8
42	54	129.9	18.7	70.8	46.5	56.1	26.7	7.3	4.3	2.2	2.1	3.3	4.3
43	22.6	65.7	16.8	51.7	18.8	37.9	21	11.8	2.6	4.3	0.3	0.5	0.7
44	25.4	18.8	5.5	35.3	24.8	32.2	19.5	5.2	2.7	1	0	2.3	2.3
45	10.8	9.4	2.8	25.8	16.4	19.5	15	7.9	5	0.2	0	0	0
46	10.6	5.1	4.7	10	9.9	24.6	6	13.8	2.1	0	0	1	0
47	9.6	5.1	0	6.7	0	0	5.4	13	2.5	0.2	0.3	1.6	0
48	2.4	10.2	0	16.4	5.9	0	1.3	9.4	1	1.1	1.1	1.3	0
49	1.2	0	0	3.3	2	4.7	6	6.1	3.3	0	0	0.3	0
50	0	10.2	0	3.3	2	0	1.3	3.9	3	0	0	0	0
51	0	5.1	11.1	0	2	1.6	2.6	0	0	1.1	0	0.7	0
52	0	5.1	5.5	0	0	1.6	2.6	1.5	0	0	0	0	0
53	0	5.1	5.5	0	0	0	1.3	0	0	0	0	0	0
54	0	5.1	2.8	0	0	1.6	2.6	0	0	0	0	0	0
55	0	0	2.8	0	0	1.6	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	1.3	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	1.3	0	0	0	0	0	0
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0