

RAPPORT DE LA REUNION DE 2013 CONCERNANT L'EXAMEN DES PARAMETRES BIOLOGIQUES DU THON ROUGE

(Tenerife, Espagne –7-13 mai 2013)

1. Ouverture, adoption de l'ordre du jour et organisation des sessions

La réunion a été tenue au “Centro Oceanografico de Canarias » de l'« Instituto Español de Oceanografía (IEO) », à Ténérife, du 7 au 13 mai 2013. Dr. Josu Santiago, le Président du SCRS, a ouvert la réunion et a souhaité la bienvenue aux participants.

Les Drs. Clay Porch (Etats-Unis) et Jean-Marc Fromentin (UE-France), les Rapporteurs du thon rouge pour le thon ouest et est, respectivement, ont co-présidé la réunion. Les Drs. Porch et Fromentin ont souhaité la bienvenue aux participants (“le Groupe”) et ont procédé à l'examen de l'Ordre du jour, qui a été adopté sans aucune modification (**Appendice 1**).

La Liste des participants est jointe en tant qu'**Appendice 2** et la Liste des documents présentés à la réunion est incluse à l'**Appendice 3**.

Les participants suivants ont assumé la tâche de Rapporteurs pour les divers points du rapport:

<i>Point</i>	<i>Rapporteurs</i>
1, 7	P. Pallarés
2.1	J.M. Ortiz de Urbina, P. Pallarés
2.2	A. Fonteneau
3.1	J. Walters, A. Kimoto
3.2	E. Rodríguez-Marín, J. Neilson
3.3	G. Díaz, M. Lutcavage
3.4	A. Fonteneau
3.5	D. Secor
5	C. Porch, J.M. Fromentin
6	JM Fromentin, L. Kell

2. Examen des données biologiques utilisées pour l'évaluation du thon rouge de l'Atlantique

2.1 Révision des données de Tâche II récupérées par le GBYP de 2010 à 2012: contrôles et analyses de la qualité

Le programme de recherche sur le thon rouge englobant tout l'Atlantique (GBYP) visait entre autres à identifier et à récupérer toute éventuelle source de données qui n'était pas encore incluse dans le catalogue de données sur le thon rouge de l'ICCAT. De nombreux jeux de données historiques et récents concernant la plupart des engins et de nombreux lieux de pêche ont été récupérés au cours des trois premières phases du programme GBYP. Le document SCRS/2013/073 comporte une présentation générale des divers jeux de données récupérés. Depuis 2011, le SCRS a été régulièrement informé des activités menées dans le cadre du GBYP, et notamment de la récupération des données (**Tableau 1**).

Les **Tableaux 2 - 5** présentent le catalogue des données existantes sur le thon rouge figurant dans les bases de données de l'ICCAT ainsi que le catalogue actualisé des données récupérées dans le cadre du GBYP pour le thon rouge de l'Atlantique est et de la Méditerranée, en spécifiant le type de données récupérées par pavillon, engin et année.

Validation des données

Un contrôle de qualité adéquat pour l'inclusion des données dans la base de données de l'ICCAT a été réalisé en vérifiant par recoupement toutes les données, dans un premier temps, par rapport aux jeux de données existants dans la base de données de l'ICCAT sur le thon rouge afin de détecter toute duplication éventuelle ou toute valeur atypique.

Le Secrétariat a réalisé un examen détaillé de toutes les données récupérées ainsi qu'une comparaison-validation des données de taille récupérées dans le cadre du programme de recherche du GBYP. Les résultats détaillés sont exposés dans le document SCRS/2012/116. En résumé, l'approche de validation consistait à comparer les données de taille de l'ICCAT et les données de taille du GBYP en incluant un facteur *Source du jeu de données* (ICCAT, GBYP) dans un modèle GLM qui prévoyait la taille moyenne des échantillons de fréquences de taille. Ce modèle GLM incluait également les facteurs année, saison, engin et pavillon. L'idée sous-jacente à la méthode était que la taille moyenne est essentiellement déterminée par l'engin, la saison et le pavillon, la source de données n'ayant qu'un effet négligeable. Les résultats de ce modèle GLM sont présentés aux tableaux 4 et 5 du document SCRS/2012/116. Même si le facteur *Source des données* était important d'un point de vue statistique, surtout en raison du grand nombre d'observations, les graphiques d'influence montraient que ce facteur n'avait qu'une influence minimale, voire aucune, sur le modèle prévu par rapport à d'autres facteurs, tels que la *saison* et l'*année*.

Autres analyses et problèmes éventuels

Afin d'analyser de façon plus exhaustive de nouvelles séries de données soumises par le GBYP, trois principales composantes ont été identifiées: i) les données de taille des fermes soumises par les CPC, le Programme d'observateurs régionaux du thon rouge de l'ICCAT; ii) les données de taille de Tâche II et iii) les données de prise et d'effort de Tâche II.

Données de taille provenant des fermes

Les données de taille collectées dans les fermes italiennes et maltaises de 2003 à 2007 ont été récupérées dans le cadre du GBYP. Ces données ont été analysées conjointement avec d'autres données de taille de fermes issues de sources différentes (cf. point 2.2).

Données de taille de Tâche II

Le **Tableau 3** présente les données de taille récupérées dans le cadre du GBYP. Les données récupérées ont été validées par le Secrétariat.

Données de prise et d'effort de Tâche II

Le **Tableau 3** présente les données de prise et d'effort récupérées dans le cadre du GBYP. Le **Tableau 6** inclut des informations plus détaillées sur les données de Tâche II récupérées dans le cadre du GBYP. Les principaux problèmes identifiés étaient les suivants : divergences dans les unités d'effort de pêche entre les séries récupérées et les séries figurant actuellement dans la base de données de l'ICCAT ; chevauchement entre les nouvelles séries soumises dans le cadre du GBYP et chevauchement entre les nouvelles séries soumises par le GBYP et celles figurant déjà dans la base de données de l'ICCAT.

Actions et calendrier

Pour les données de taille de Tâche II, le Groupe a estimé que les méthodes utilisées aux fins de la validation de ces données étaient appropriées et il a convenu d'intégrer ces données aux bases de données de l'ICCAT.

En ce qui concerne les séries de prise et d'effort de Tâche II qui comblent les données manquantes dans la base de données actuelle de l'ICCAT, une fois les contrôles de qualité réalisés, ces données seront intégrées dans la base de données de l'ICCAT.

S'agissant des séries de prise et d'effort de Tâche II récupérées dans le cadre du GBYP et qui entraînent un chevauchement (cf. **Tableau 5**), les scientifiques des CPC concernées travailleront en étroite collaboration avec le Secrétariat afin de résoudre ce problème. Ces corrections seront soumises à la prochaine réunion du Groupe d'espèces du thon rouge aux fins d'approbation par le SCRS.

En ce qui concerne les séries de prise et d'effort de Tâche II qui se superposent à celles figurant déjà dans la base de données de l'ICCAT, les scientifiques des CPC concernées travailleront en étroite collaboration avec le Secrétariat afin de résoudre ce problème. Ces corrections seront soumises à la prochaine réunion du Groupe d'espèces du thon rouge aux fins d'approbation par le SCRS.

2.2 Aperçu général d'autres nouvelles informations concernant la biologie du thon rouge recueillies par d'autres programmes, dont les données d'élevage, les données commerciales et les données des ventes à la criée

Les données collectées par les observateurs présents dans les fermes depuis 2003 n'ont, jusqu'ici, pas été utilisées par le SCRS pour établir la prise par taille du thon rouge capturé par les senneurs de la Méditerranée car les coefficients de conversion sont difficiles à estimer en raison de la croissance dans les fermes (ICCAT 2007, 2009). Toutefois, lorsque les carnets de pêche des senneurs français ont été largement utilisés pour estimer la prise par taille des senneurs, les résultats se sont avérés très douteux, comme le concluait Dr Fromentin en 2004: "L'information soumise par les carnets de pêche européens reste trop imprécise et manque de validation pour permettre le calcul d'un tableau de fréquence de tailles».

En revanche, il semblerait que, depuis 2003, un grand nombre de thons rouges ait été mesuré convenablement par les observateurs scientifiques et les techniciens nationaux présents dans les fermes depuis 2003, avec un bon potentiel d'estimation d'une prise par taille bien plus réaliste. Ces travaux peuvent être menés indépendamment des changements du coefficient de condition dans les fermes et en se basant uniquement sur la mesure des tailles de thon rouge échantillonnées lors de la mise à mort dans les fermes. Deux documents (SCRS/2013/076 et SCRS/2013/083) ont analysé ces données de tailles provenant des fermes.

Le nombre d'échantillons de tailles annuelles désormais disponibles pour estimer la prise par taille est inclus au **Tableau 7** (la plupart des échantillons de 2012 n'est pas encore disponible). Ce tableau illustre bien l'importance de l'échantillonnage des tailles réalisé dans les fermes au cours de ces 10 dernières années, avec plus de 140.000 thonidés échantillonnés aux fins d'obtention de la taille dans les fermes durant cette période (mesurés en longueur droite à la fourche, longueur courbée à la fourche ou longueur droite de la première nageoire dorsale). Compte tenu des prises totales de thon rouge des senneurs, utilisées dans la dernière évaluation, une moyenne de 16% des prises des senneurs a été échantillonnée dans les fermes: un faible pourcentage (toutefois significatif) inférieur à 10% entre 2003 et 2006 et un taux de couverture très élevé entre 10 et 40% de la prise échantillonnée dans la période 2007-2012.

Le temps passé dans les cages est connu avec exactitude pour certains poissons, pour lesquels la taille à la capture peut être estimée en postulant qu'ils ont suivi un schéma de croissance type (par exemple la courbe de croissance de Cort 1991) dans les fermes. Cette hypothèse de travail est probablement réaliste: lorsque la croissance en poids semble être très rapide dans les fermes, la croissance en taille ne devrait pas être très différente de la croissance de base, au moins dans les fermes où les thonidés sont gardés moins d'un an. Pour nombre de ces poissons, la date de pêche est probablement disponible dans les bases de données et devrait pouvoir être récupérée. A l'heure actuelle, les dates de pêche restent inconnues pour un grand nombre de thonidés mis à mort, au moins dans les fichiers disponibles actuellement. Cependant, si les dates de pêche ne peuvent pas être identifiées, elles peuvent facilement être estimées, en postulant simplement que ces thonidés ont été capturés à une date de pêche moyenne aux alentours du 1^{er} juin. Ce postulat serait tout à fait acceptable depuis 2009, étant donné que la saison de pêche a été limitée à une période d'un mois entre le 15 mai et le 15 juin. Cette date moyenne sera plus sujette à controverse avant 2007 car la saison de pêche était plus étendue (mi-mai à mi-juillet) et les prises ne devaient pas être obligatoirement consignées avec leur origine ; dans ce cas, la période moyenne de capture devrait être estimée en se basant sur les dates de pêche des autres thonidés mis à mort dans chaque ferme au cours de la saison de pêche.

Les tailles moyennes échantillonnées dans les fermes ces dernières années sont illustrées à la **Figure 1**.

L'estimation des tailles à la capture nécessiterait des calculs détaillés et complexes, tels que ceux envisagés dans le document SCRS/2013/076. Pour résoudre la première inconnue relative aux tailles correspondantes des thons rouges aux dates de pêche, il a été postulé que tous les thonidés échantillonnés avaient été gardés dans les cages des fermes pendant une durée moyenne de 5 mois (période moyenne souvent observée dans les fermes, hormis dans les fermes croates qui gardent leurs petits thons rouges pendant des périodes bien plus longues).

La **Figure 2** présente la comparaison des distributions de tailles moyennes à la mise à mort et le moment de capture estimé dans le cadre de cette hypothèse et la prise par taille moyenne des senneurs actuellement postulée pour la période 2003-2012. Cette figure montre que les profils de ces 2 vecteurs de la prise par taille sont très différents: alors que la structure bimodale des tailles échantillonnées chaque année dans les fermes semble être assez réaliste et habituelle pour les tailles de thons rouges capturés en Méditerranée, la forme et le profil de la prise par taille utilisée par le SCRS semble être très douteuse pour une moyenne de prise par taille sur plusieurs années. Il convient, en outre, de noter que le poids moyen estimé d'après les échantillons des fermes aux dates de

pêche s'élève à 123 kg, soit un poids bien plus élevé que les 63 kg obtenus par la prise par taille actuellement utilisée. Ceci pourrait être dû au fait que les prises des senneurs français ne sont pas représentatives de la senne de la Méditerranée, ou à d'autres facteurs (par exemple, la méthode employée pour estimer la prise par taille ou/et à un biais dans les tailles estimées dans les carnets de pêche français).

Le Groupe a également observé que la prise par taille historique échantillonnée pour la senne par Arena dans les années 80 est très similaire à la prise par taille échantillonnée actuellement dans les fermes (cf. **Figure 3**): elles présentent la même prise par taille bimodale, en proportion égale dans les deux modes alors que ces dernières années les prises de thons rouges de grande taille sont bien plus faibles (tout du moins dans l'analyse préliminaire actuelle).

Sur la base de ces résultats, le Groupe a conclu qu'il est possible que les tailles des thons rouges échantillonnés dans les fermes soient bien plus réalistes que la prise par taille estimée précédemment par le SCRS ; toutefois, ces résultats actuels demeurent très provisoires et ne sont donnés qu'à titre indicatif.

Le Groupe a également noté que ces résultats pourraient ne pas concorder avec les prises totales annuelles de thonidés issus des fermes, déclarées par les pays de pêche (sans connaissance réelle du poids réel de ces captures). Il est recommandé d'extrapoler les tailles des thons rouges échantillonnés dans les fermes, après correction par rapport aux dates de pêche, de deux différentes façons:

- (1) par rapport à la période antérieure aux prises annuelles estimées et déclarées de chaque pays;
- (2) mais en se basant aussi sur le nombre total de thons rouges identifiés dans les certificats de l'ICCAT et dans les données commerciales (importations du Japon). Cette extrapolation de la taille échantillonnée dans la ferme au nombre total de spécimens vendus sur les marchés internationaux (Japon et autres) devrait permettre d'estimer d'autres chiffres, potentiellement plus réalistes, des prises annuelles de thon rouge de la Méditerranée. Ces travaux devraient être menés en étroite collaboration avec l'équipe d'experts se consacrant à l'analyse des données commerciales du thon rouge. Ces travaux devront pouvoir également accéder intégralement aux fichiers d'importations japonaises de thon rouge (données du commerce et du marché du thon rouge) qui seront totalement validés par l'ICCAT et le GBYP.

Le Groupe a recommandé que le GBYP réalise, bien avant sa prochaine évaluation totale du stock de thon rouge, une validation, analyse et extrapolation complètes des échantillons issus des fermes. Ces travaux sont indispensables afin d'estimer les prises totales ainsi que la prise par taille totale des pêcheries de senneurs de la Méditerranée. Ces travaux sont décrits à l'**Appendice 4**. Il a été estimé que ces recherches devraient être menées par un expert en pêcheries et bases de données, pour un travail à temps plein d'une durée de trois mois, lequel travaillera en étroite coopération avec le secrétariat de l'ICCAT et les scientifiques du thon rouge.

En se fondant sur cette présentation de la prise par taille actuellement utilisée par le SCRS et d'une prise par taille alternative basée sur l'échantillonnage des fermes, le Groupe a tiré les conclusions ci-après:

- (1) Les prises par taille des senneurs estimées par le SCRS et utilisées dans les dernières évaluations ne sont pas totalement adéquates, en l'absence d'échantillons sur le terrain, et devraient être abandonnées par le SCRS.
- (2) Les données de taille collectées dans les fermes depuis 2003 (ou 2005 étant donné que l'échantillonnage de taille en 2003 et 2004 est relativement faible et limité géographiquement) représentent une bonne façon d'estimer une prise par taille réaliste des thons rouges capturés par les senneurs de la Méditerranée. Les données de tailles issues des fermes montrent déjà que la prise par taille utilisée par le SCRS sont des prises de thon rouge de taille moyenne se situant dans une gamme de tailles entre 70 et 110 cm (soit moins de 30 kg), et celles-ci auraient pu être surestimées alors que les prises de grands thons rouges de plus de 2 mètres (plus de 150 kg) auraient pu être sous-estimées dans une large mesure.
- (3) Les données de taille collectées par les observateurs à la mise à mort dans les fermes devraient être traitées et extrapolées avec attention afin d'estimer une prise par taille plus réaliste des thons rouges provenant des fermes. L'extrapolation devrait être réalisée par rapport aux estimations les plus réalistes des prises totales annuelles en nombre (cf. **Annexe 1**).

- (4) Ce nouveau traitement des données pourrait permettre d'estimer de nouvelles séries de prises totales annuelles, qui pourraient différer des données actuelles de Tâche I et être probablement plus élevées en terme de poids que les prises actuelles, en raison du poids moyen plus élevé de ces prises moyennes.
- (5) Il est incontestable que cette nouvelle prise par taille qui sera estimée pour la période 2003-2013 ne coïncidera pas avec la prise par taille estimée actuellement pour les années antérieures. Cette divergence dans les deux prises par taille avant et après 2003 posera de graves problèmes dans l'évaluation des stocks étant donné qu'aucun des modèles d'évaluation des stocks ne s'adaptera au changement majeur du tableau de la prise par taille et de la prise par âge après 2002. Cet éventuel problème devrait être étudié exhaustivement par le SCRS, l'amenant éventuellement à une révision de la prise par taille pour les années antérieures à 2003 (en postulant par exemple une prise par taille améliorée correspondant aux tailles issues des fermes depuis 2003). Ces travaux devraient être réalisés en étroite collaboration avec l'équipe d'experts se consacrant à l'analyse des données commerciales du thon rouge.

Données commerciales

Plusieurs documents ont été présentés à la réunion d'évaluation du stock de thon rouge de 2012, lesquels portaient sur l'utilisation des statistiques commerciales du thon rouge de l'est et de la documentation de l'ICCAT afin de rétro-calculer les prises et la distribution des tailles des captures. L'information utilisée dans certains documents a été soumise au Secrétariat aux fins d'utilisation par le SCRS. Cette information contenait des statistiques individuelles sur le commerce du thon rouge pour la période 2001-2012. Le Groupe a identifié divers problèmes potentiels dans les méthodes employées dans les estimations, lesquels devraient être résolus avant que ces données ne soient utilisées par le SCRS. Le Groupe a considéré que le SCRS devait se doter d'une équipe d'experts qui procèdera aux études pertinentes concernant les méthodes d'obtention d'estimations non biaisées des prises et de la prise par taille.

Ces travaux seront menés dans le cadre d'un contrat spécifique de la Phase 4 du GBYP.

Le Groupe a reconnu qu'il convenait d'intégrer les données récupérées dans le cadre du GBYP, et provenant d'autres sources, aux bases de données de l'ICCAT afin qu'elles soient disponibles pour les futures analyses du stock de thon rouge de l'Atlantique est et de la Méditerranée. Le Groupe a convenu que les décisions finales devraient être prises par le Groupe d'espèces du thon rouge, au cours de sa réunion de 2013, puis soumises au Sous-comité des Statistiques et au SCRS aux fins d'approbation.

3. Révision des principaux paramètres biologiques utilisés pour l'évaluation du thon rouge de l'Atlantique

3.1 Conversions de la taille: taille en poids, longueur courbée à la fourche en longueur à la fourche

Les relations d'origine de taille-poids pour le thon rouge de l'est (Rey et Cort, *non publié*; Arena 1980) et de l'ouest (Parrack and Phares 1979) n'ont pas été actualisées depuis de nombreuses années. Depuis la détermination de ces relations d'origine, de nombreuses nouvelles informations ont été soumises aux fins de la réévaluation de ces relations. De nouvelles relations de rapports taille-poids ont été estimées par Rodrigues-Marín *et al* (2013), d'après une vaste compilation de données récentes sur la taille-poids. En outre, le programme GBYP a obtenu des milliers de registres historiques qui devraient permettre de réévaluer ces relations, avec un jeu exhaustif de mesures de taille-poids et de covariables associées (engin, mois, zone, etc.).

Une approche de modèle mixte a été utilisée, tenant compte de la variabilité de certains facteurs, tels que l'engin, l'année et la technique de traitement du navire, de telle sorte que ces facteurs puissent être pris en compte dans le modèle sans biaiser la relation globale. Nous avons minimisé la fausse influence potentielle de ces variables nuisibles en les estimant comme effets aléatoires et en les intégrant au modèle global. Alors que la condition des poissons pourrait varier dans le temps, ou même entre différents types d'engins ou d'unités de traitement, dans le cadre de ce document, nous nous sommes intéressés exclusivement à la relation longueur-poids moyenne tout en prenant en considération les covariables les plus importantes.

Le principal objectif de cette analyse visait à soumettre des relations longueur-poids actualisées, utiles aux fins de la modélisation de l'évaluation des stocks. Ces travaux sont un compromis entre la représentation de la réalité biologique de la variabilité saisonnière et spatiale de la condition (et donc avoir de nombreuses relations

longueur-poids) et la practicalité de modélisation (où le fait d'avoir de multiples relations longueur-poids complique dans une grande mesure la modélisation).

3.1.1 Bases de données et méthodes utilisées dans l'analyse

Pour les deux stocks, de nombreuses bases de données étaient disponibles. Le Groupe a décidé de n'utiliser que les tailles et poids qui étaient vraiment des valeurs mesurées et non estimées. Les tailles ont été soumises en différents formats mais le principal format utilisé pour l'est était la Longueur droite à la fourche (SFL) et pour l'ouest la Longueur courbée à la fourche (CFL). Pour l'est, seules les mesures de SFL ont été utilisées. Pour l'ouest, les CFL ont été converties en SFL à l'aide des méthodes décrites ci-après. Les poids ont été consignés en poids vif (RWT), en poids éviscéré et sans branchie (GGWT), en poids éviscéré (GWT) ou en poids éviscéré, sans branchie et sans queue (GGTW). Les poids éviscérés étaient extrêmement rares et ces mesures ont été supprimées. Aux fins de modélisation, les poids RWT, GGWT ou GTW ont été utilisés et un terme du modèle a été estimé en fonction de quelle unité de poids était la mesure d'origine.

3.1.1.1 Stock de l'est

Pour le stock de l'est, les bases de données suivantes étaient disponibles pour la réunion.

Données du GBYP

Le GBYP a récupéré un grand nombre de jeux de données historiques et récentes aux fins d'utilisation dans les analyses et rapports biométriques pour la plupart des engins et des lieux de pêche. Les données récupérées, couvrant la période de 1903 à 2010, et de 1512 à 2009 pour les madragues de thonidés, ont été utilisées pour l'actualisation de la régression taille-poids du thon rouge. D'importantes données issues du GBYP ont été soumises à cette réunion après avoir été vérifiées par rapport à la base de données sur le thon rouge de l'ICCAT et soumises individuellement à un contrôle de qualité. Les valeurs atypiques ont été exclues. Le document SCRS/2013/073, présenté lors de cette réunion, présentait les divers jeux de données disponibles provenant du GBYP.

Données tunisiennes et maltaises

Un jeu de données sur la taille et le poids d'un total de 170 thons rouges sauvages capturés par les senneurs au cours de l'été 2012 a aussi été utilisé dans l'analyse, conjointement avec les données de taille-poids transmises par Malte pour les poissons capturés par les palangriers maltais pendant la période de reproduction de cette espèce (mai-juillet) en 2005, 2006, 2007 et 2012. Au total, 1.970 registres de taille-poids de la pêcherie palangrière maltaise ciblant cette espèce ont été soumis. Des informations supplémentaires sur les palangriers maltais ont aussi été mises à la disposition de la réunion pour les années 2008-2011, issues des travaux menés par Rodriguez-Marin et al (2013), visés au point 3.1.1.5.

Palangre japonaise

Les données de taille (longueur droite à la fourche) et de poids (vif et manipulé) collectées par les observateurs scientifiques par le biais du programme d'observateurs du Japon entre 2000 et 2011 ont également été incluses dans l'analyse de régression de taille-poids. Les travaux menés en vue de la collecte de cette information ont été présentés dans le document SCRS/2013/075. Au total, 13.121 registres de taille-poids émanant de cette pêcherie ont été soumis aux fins de l'analyse du stock de l'est.

Madragues marocaines

Les données des madragues marocaines ont aussi été soumises au Groupe aux fins d'inclusion. Ces mesures portaient sur 178 poissons mesurés en longueur courbée à la fourche.

Rodriguez-Marin et al.

Un jeu de données de taille-poids couvrant de vastes zones géographiques et franges saisonnières dans l'Atlantique Nord-est et la Méditerranée, d'après un échantillonnage extensif de plusieurs pêcheries de thon rouge de l'Atlantique sur 14 années, a également été utilisé. Ce jeu de donnée comportait 54.549 registres de taille-poids par zone géographique et mois. Les travaux menés en vue de la collecte de ces données ont été présentés dans le document SCRS/2013/079.

Arena et al (1980)

Les relations longueur-poids actuelles pour la Méditerranée de l'est et de l'ouest se basent sur la fonction de taille-poids de Arena (non publié), qui est utilisée dans les évaluations des stocks du thon rouge de l'Atlantique Est et de la Méditerranée pour les spécimens supérieurs à 100 cm SFL (ICCAT 2012). Pour la première fois, la publication de Arena *et al.* (1980) a été soumise à la réunion, fournissant ainsi le jeu de données brutes de taille-poids avec lequel travailler. Les données de taille-poids de Arena *et al.* ont été collectées pendant la saison de reproduction (mai-juillet) pendant 20 ans dans les lieux de pêche de la Mer Tyrrhénienne du sud des senneurs et d'une seule madrague. Les données individuelles de taille/poids n'étaient pas disponibles (probablement égarées), mais les tailles (SFL) et poids (poids vif) moyens pourraient avoir été récupérés de Arena *et al.* (1980) et ont été utilisés aux fins de comparaison mais non dans l'ajustement du modèle.

3.1.1.2. Stock de l'ouest

Pour le stock de l'ouest, plusieurs bases de données étaient disponibles à la réunion. Par manque de temps, certaines bases de données n'ont pas pu être obtenues lors de la réunion et des efforts seront déployés en vue d'obtenir des données supplémentaires à l'issue de la réunion, lesquelles pourraient être utilisées dans les régressions.

Données canadiennes

Les données collectées à bord et sur le littoral de la pêcherie canadienne ont été obtenues. Un jeu de données comprenant 7.855 observations de taille-poids a été soumis. Les tailles ont été mesurées en tant que longueur courbée à la fourche mais des préoccupations ont été exprimées quant à certaines valeurs atypiques.

Données des observateurs de la palangre japonaise

Le jeu de données décrit ci-dessus pour la palangre japonaise a été soumis pour la zone à l'ouest de 45°W.

Données des observateurs de la palangre mexicaine

Les données collectées par les observateurs à bord de palangriers mexicains ont été soumises d'après les méthodes décrites dans le document SCRS/2012/193. Ces données comportaient 755 registres. Lors de la réunion, il n'a pas été possible de déterminer quelle mesure de taille et de poids avait été utilisée et les données n'ont donc pas pu être incluses dans le jeu de données principal.

Données du programme d'observateurs de la palangre des Etats-Unis

Un jeu de données incluant 521 observations de taille-poids a été soumis. 509 tailles ont été mesurées en tant que longueur courbée à la fourche et 12 tailles en tant que longueur droite à la fourche. Ces données ont été collectées par les observateurs embarqués à bord des palangriers pélagiques américains ou lorsque les poissons ont été débarqués.

Données soumises par Golet et Lutcavage provenant de la pêcherie des Etats-Unis

Ces données collectées provenaient de la pêcherie commerciale et récréative des Etats-Unis.

Données historiques des Etats-Unis

Les données utilisées dans le jeu de données d'origine de Parrack et Phares (1979) provenaient apparemment de 3.545 poissons collectés par les scientifiques nationaux des Etats-Unis entre 1974 et 1977. Le jeu de données original pourrait être obtenu mais il serait nécessaire de mener de nouvelles recherches à cet effet, à l'issue de la réunion.

Registres des revendeurs des Etats-Unis

Il se peut que des données existent dans les registres des revendeurs américains. Par manque de temps à la réunion, il n'a pas été possible d'obtenir ces données et celles-ci seront disponibles ultérieurement.

Base de données de marquage de l'ICCAT

Les poissons marqués figurant dans la base de données de marquage de l'ICCAT ont été examinés aux fins d'utilisation pour les données de taille-poids. Toutefois, le faible nombre de registres dans lesquels la taille et le poids avaient été mesurés (~547) et le degré de variabilité de la mesure des tailles rendent ces données peu utiles en termes d'observations de taille-poids.

3.1.1.3 Données exclues

Certaines données disponibles ont été exclues car elles ne répondaient pas aux critères de qualité définies par le Groupe. Les données ci-après ont été exclues:

- ✓ Les données provenant des madragues du Détroit de Sicile ont été exclues pour les années 1994 et 1995.
- ✓ Les mesures de taille pour lesquelles le type de longueur n'a pas été enregistré (804 poissons).
- ✓ Les éventuelles valeurs atypiques potentiellement issues de l'ajustement du modèle. Les valeurs atypiques ont été identifiées à l'aide du facteur de condition de l'état du poisson de Fulton (**Figure 4**). Ce facteur de condition est calculé comme suit:

$$K = 100 * (\text{wt}(\text{grammes}) / \text{longueur}^3)$$

- ✓ Les valeurs inférieures à 1 et supérieures à 2,8 (**Figure 5**) en suivant la logique de Cort *et al* (sous presse) mais permettant un large éventail d'observations. Pour cette analyse, tous les poids ont été convertis en poids vif (RWT) en utilisant la relation suivante entre le poids éviscéré, sans branchie, sans queue (GGTW) et le poids éviscéré (GWT):

RWT = 1,13 x GWT; surtout pour le Détroit de Sicile d'après les coefficients de conversion de l'ICCAT pour la Méditerranée

$$\text{RWT} = 1,16 \times \text{GGTW} ; (\text{SCRS}/2013/075)$$

Ces conversions initiales ont été réalisées de telle façon que des valeurs K similaires ont été obtenues pour exclure les valeurs atypiques mais toute la modélisation a été réalisée avec le type de mesure d'origine.

La segmentation spatiale des données a été initialement laissée à la résolution la plus fine des jeux de données et se composait de zones. La segmentation temporelle des données a tout d'abord été réalisée par mois. Des analyses exploratoires plus approfondies ont été menées pour condenser les zones spatio-temporelles.

3.1.1.4 Conversion de CFL en SFL pour les données de l'ouest

Etant donné que la plupart des données de l'ouest ont été collectées en tant que CFL mais que les données de la palangre japonaise couvrant des zones spatiales essentielles ont été collectées en SFL, il a été décidé de convertir les mesures CFL en SFL à l'aide de l'équation établie par Parrack *et al.* (1979) dans l'Atlantique Ouest:

$$\text{SFL} = 0,955 \text{ CFL} \quad (\text{Parrack } et al., 1979)$$

Cette équation est similaire à l'équation de la Méditerranée centrale présentée dans le document SCRS/2013/065, (SFL = 0,968 CFL). Il est à noter que les équations estimées par Salz *et al* (2007, SFL = 0,9728 CFL) pourraient également être prises en considération.

3.1.1.5. Création d'un jeu de données central

Il est capital, pour cet exercice, d'élaborer un jeu de données central avec des facteurs communs aux fins de l'analyse. Les champs de données de ce jeu de données principal sont présentés à l'**Appendice 5** et des exemples de lignes de données sont inclus à l'**Appendice 6**. Initialement tous les champs de données ont été saisis à l'échelle de résolution la plus fine disponible, c'est-à-dire que si le code du navire, la zone et l'échantillonneur étaient disponibles ces valeurs étaient des valeurs d'entrée. Lorsque ces valeurs n'étaient pas disponibles, un champ de données a été codifié en tant que 'NA'.

3.1.2 Modélisation

3.1.2.1. Analyse exploratoire

Des analyses exploratoires ont été réalisées en réalisant une PCA sur les paramètres de la relation poids= a *longueur ^{b} du mois et de la zone pour déterminer si le mois et la zone avaient un effet sur les coefficients du modèle. Quatre zones initiales ont été explorées dans la PCA: Atlantique (ATL), Méditerranée occidentale (WMED), Méditerranée centrale (CMED) et Méditerranée orientale (EMED).

Une analyse similaire a été effectuée dans le modèle mixte, estimé initialement avec 14 zones distinctes et 12 mois. Les estimations des paramètres du modèle ont été étudiées pour déterminer si les zones ou les mois pourraient être condensés en groupes homogènes. Les zones pour lesquelles les 95% de centiles des estimations des paramètres se chevauchaient ont été condensées afin de fournir un jeu d'équations de régression plus parcimonieux.

3.1.2.2. Elaboration et coefficients du modèle

Compte tenu de la variabilité entre les personnes chargées du traitement des données en ce qui concerne le mode de traitement du poisson pour obtenir des poids éviscéré ou sans branchie, éviscéré et sans queue, une autre variable a été élaborée pour déterminer la variabilité du traitement. Cette nouvelle variable dénommée 'unité de traitement' représentait le navire individuel pour les jeux de données de la palangre japonaise et pour les autres jeux de données une seule valeur a été attribuée à toutes les observations (64), dans lesquelles un poisson était débarqué en poids éviscéré. Les autres observations ont été mesurées en poids vif et ont été attribuées à une autre catégorie d'unité de traitement.

Les méthodes de modélisation de régression suivaient l'approche de modélisation mixte présentée dans le document SCRS/2013/075 et utilisaient le programme MCMCglmm (Hadfield, 2010) R 2.15.3. L'ajustement du modèle, le choix du modèle et les méthodes d'éclaircie « thinning » de MCMC étaient semblables à ceux présentés dans le document SCRS/2013/075. Un critère d'information de déviance (DIC) a été utilisé pour les décisions du choix du modèle, sauf indication contraire.

Les modèles initiaux évalués sont les suivants:

Modèle A (même b , intercepts différents)

```
MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+as.factor(month)+as.factor(area)+as.factor(wcode),random=~rnd,
family="gaussian",",nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)
```

Facteurs fixes: month,area,wcode(0:poids vif,2:gilled,gutted,and tailed,3:gilled weight)

Facteurs aléatoires (rnd) : paste(year, gear, processing unit); de telle sorte que le facteur aléatoire est la combinaison de l'année, de l'engin et de l'unité de traitement.

Condensé en seulement deux zones et trois saisons:

Modèle B (condensé, même b , intercepts différents)

```
MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+ as.factor(CondensedArea) +as.factor(Season) as.factor(wcode),
random=~rnd, family="gaussian",",nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)
```

Modèle C (condensé pas de saison, même b , intercepts différents)

```
MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+ as.factor(CondensedArea) + as.factor(wcode),random=~rnd,
family="gaussian",",nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)
```

Après avoir condensé le modèle en seulement deux zones et trois saisons, des interactions ont été testées (estimant des paramètres a et b distincts) avec un modèle sous forme de:

Modèle D (condensé, a et b distincts)

MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+as.factor(CondensedArea) + as.factor(wcode) + log(SFL)*as.factor(CondensedArea),random=~rnd,family="gaussian",,nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)

Modèle E (Atlantique, séparé, *a* et *b* distincts, pas d'effet de saison)

MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+ as.factor(wcode) , random=~rnd, family="gaussian", ,nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)

Modèle F (Med, *a* et *b* distincts, pas d'effet de saison)

MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+ as.factor(wcode) , random=~rnd, family="gaussian", ,nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)

3.1.3 Résultats

3.1.3.1 Filtrage et exclusion des données

Les jeux de données initiaux soumis au Groupe se composaient de 117.536 observations de taille-poids pour l'est et de 22.129 observations pour l'ouest (**Tableaux 8 et 9**). Après avoir attentivement étudié le jeu de données de l'ouest, le Groupe a décidé de ne pas procéder à la modélisation des données tant que des jeux de données essentiels ne seront pas obtenus et qu'un grand nombre de valeurs atypiques ne seront pas vérifiées aux fins d'erreur par les scientifiques nationaux.

Après avoir appliqué les exclusions basées sur le coefficient de condition de l'état du poisson (- 218 observations), utilisé uniquement les observations de SFL (-3695 observations) et supprimé les données de poids à la taille moyen de Arena (-1658), il restait un total de 110.498 paires de taille-poids (**Tableau 10**).

3.1.3.2. Analyses exploratoires

Des analyses exploratoires ont été menées en utilisant l'analyse des composantes principales afin d'évaluer les facteurs ayant la plus forte influence sur les paramètres estimés. La PCA indiquait que le mois et la zone co-variaient par rapport à la même composante, ce qui donnait à penser que le mois et la zone servaient d'indices approchant similaires pour la taille au poids mais que la zone segmentait la plus grande variabilité des relations longueur-poids (**Figure 6**). Ceci indique que les effets les plus forts sur les paramètres *a* et *b* seraient vraisemblablement dus à la zone et que l'effet mensuel, même s'il existe bel et bien, ne serait pas aussi fort que l'effet de la zone. Les **Figures 7 et 8** illustrent les relations longueur-poids par mois et par an.

3.1.3.3. Résultats du modèle

Ajustement du modèle initial

Les estimations des paramètres initiaux pour le mois, issues du Modèle A, indiquaient qu'il existait des différences dans la condition par mois. La valeur la plus haute (ligne verte) et la plus basse (lignes rouges) représentent 95 centiles des estimations de MCMC pour les paramètres. La ligne bleue et les barres d'erreur représentent la médiane +/- 1 unité d'erreur standard. Les estimations donnent à penser qu'il existe trois saisons potentiellement distinctes (**Figure 9**): une « saison de pré-ponte » (février-juin) ; une saison post-ponte (juillet-août) et une saison de grossissement (septembre-décembre) afin de déterminer la principale variation temporelle dans la relation longueur-poids.

Les estimations des paramètres initiaux pour la zone, issues du Modèle A, indiquaient que les nouveaux modèles pourraient condenser les zones homogènes (**Figure 10**).

En se basant sur les intervalles de confiance des paramètres de chevauchement, deux zones ont tout d'abord été prises en considération: l'Atlantique et la Méditerranée occidentale (ATL_WMED) et la Méditerranée orientale et centrale (ECMED). Ceci condenserait ATL_ATL, ATL_BB, ATL_Portugal, CATL_CATL, WMED et WMED_Sardaigne dans ATL_WMED et CMED_IO, CMED_Sud Med, CMED_SS (Sicile), CMED_TY, EMED_Antalya, EMED_Levant, EMED_N Egée dans ECMED. Par la suite, les zones ont été révisées d'après les connaissances des experts pour l'Atlantique seulement et la Méditerranée seulement, impliquant le déplacement des échantillons de la Méditerranée occidentale au groupe de la Méditerranée.

Modèles condensés

Le critère d'information de déviance (DIC) a été comparé entre le modèle condensé saisonnier et non saisonnier (Modèle B par rapport à Modèle C). Alors que l'effet de saison était important, les intervalles de confiance pour les modèles saisonniers se chevauchaient (**Figure 11**), ce qui indique qu'il y avait une très légère différence statistique entre les saisons. Il existait, par ailleurs, une différence négligeable du poids à l'âge entre les saisons. Pour la plus grande taille de poissons observée (300 cm SFL), le poids à la taille serait de 439, 447 et 457 kg à la saison de post-ponte, à la saison de base et à la saison de grossissement, respectivement, soit une différence de +/-2% par rapport à la saison de base. Dans la gamme des nombreuses données, la différence absolue était encore moindre mais le pourcentage se situait environ à 2% entre la saison de post-ponte et celle de grossissement. Ces différences représentent donc une valeur très mineure et il a été décidé de retirer la saison des autres modèles.

Interactions

Afin d'estimer des paramètres a et b séparés, il a été nécessaire d'estimer une interaction entre la zone et la SLF (Modèle D). Ce modèle donnait lieu à une nette amélioration de l'ajustement par rapport au modèle pourvu d'un seul b et intercepts différents, ce qui indique que des paramètres a et b devraient être estimés. Une difficulté supplémentaire s'est posée lorsque des estimations très divergentes (de ATL_WMED) et des estimations non-sensibles pour la Méditerranée orientale et centrale (ECMED) ont été obtenues, en raison de nombreux codes de navires manquants dans les effets aléatoires. Pour résoudre ce problème de façon opportune, le Groupe a décidé de partager les données en deux zones et d'estimer des modèles séparés.

Modèles finaux et performance de l'estimation des paramètres

Des modèles finaux ont été élaborés pour l'Atlantique (ATL) et la Méditerranée (MED) séparément, sans les facteurs de saison (**Tableau 11**). La performance de l'estimation des paramètres a été évaluée en examinant les graphiques des six paramètres estimés pour les modèles finaux (**Figure 12**). Ces paramètres estimés étaient les suivants: intercept (a), log(taille) ou le coefficient b et deux paramètres définis pour le poids. Les graphiques et histogrammes indiquaient que la plupart des paramètres convergeaient vers une distribution relativement symétrique et ajustée à une valeur moyenne.

Les modèles finaux, dénués des effets des saisons, mais dotés de l'effet de zone ne montraient pas de différence entre l'Atlantique Est et la Méditerranée, mais ils laissaient apparaître certaines différences avec les relations historiques utilisées par le SCRS (**Figure 13**).

3.1.3 Discussion

Le Groupe a actualisé les relations longueur-poids pour le thon rouge de l'Atlantique Est et de la Méditerranée et il a développé une méthodologie de modélisation pour l'actualisation des relations longueur-poids pour l'ouest à utiliser lorsque les informations seront disponibles. Pour le thon rouge de l'est, le Groupe a estimé deux régressions distinctes: une pour l'Atlantique (ATL) et l'autre pour la Méditerranée (MED). Néanmoins, les relations et les estimations des paramètres étaient si similaires qu'il pourrait être souhaitable de n'avoir qu'une unique relation.

Les résultats de cette analyse devraient être considérés comme préliminaires, étant donné que la similitude entre les modèles de l'Atlantique et de la Méditerranée pose la question de leur combinaison en un unique modèle. Compte tenu du temps imparti pour la réunion et du traitement des données considérable requis, cette nouvelle sortie du modèle n'a pas pu être effectuée lors de la réunion et elle pourrait être présentée en tant que document de Groupe de travail à la réunion du Groupe d'espèces de 2013. En outre, il est probable que les données soient prochainement disponibles pour le stock ouest, ce qui permettrait de développer des relations longueur-poids pour ce stock.

Ces relations longueur-poids devraient être applicables aux poissons sauvages au moment de la capture car on a pris soin d'exclure les poissons d'élevage de l'analyse. Les modèles à deux zones représentent la principale source de variabilité identifiée dans la régression de taille-poids, bien qu'elle soit faible et peut-être mineure, tout en prenant en considération la variabilité aléatoire du temps, de l'engin et de la méthode de traitement. Même si la saison était un facteur significatif dans les modèles, nous avons décidé de ne pas recommander les modèles saisonniers car les différences saisonnières étaient très mineures après avoir pris en considération les zones. Si un

chercheur désire de plus amples détails spatio-temporels, Rodriguez-Marin et al (2013) soumet un ensemble de modèles spatio-temporels séparés, avec un examen plus détaillé des schémas spatio-temporels.

Par rapport à d'autres modèles de taille-poids pour le thon rouge de l'est, les modèles de l'Atlantique et de la Méditerranée sont très similaires aux modèles comparables de Rodriguez-Marin *et al.* (2013) et de Rey et Cort (non publié) (**Figures 13 et 14**). Ces deux modèles sont très différents des modèles de l'Atlantique ouest de Arena (1980) et de Parrack et Phares (1979), lesquels indiquent un poids à la taille bien supérieur. Ces différences sont importantes mais pourraient s'expliquer par les échantillons relativement plus petits et plus localisés utilisés dans Arena et Parrack et Phares (1979). Etant donné que l'analyse actuelle ainsi que celle de Rodriguez-Marin et al (2013) comporte de nouvelles informations importantes ainsi que des données plus exhaustives d'un point de vue spatio-temporel et que ces deux analyses estiment des relations longueur-poids similaires, il est probable que ces estimations représentent mieux les relations longueur-poids de la population.

3.2 Conversions de l'âge: courbe de croissance, données de détermination de l'âge, tableaux de la clef d'âge-taille

Situation actuelle des programmes de détermination directe de l'âge

L'estimation de l'âge et de la croissance d'une espèce est un paramètre clef de la description de son cycle vital et est un élément essentiel pour son évaluation. Il existe plusieurs approches d'estimation de la croissance, la plus fréquente étant l'observation directe ou le marquage, l'analyse des données de fréquences de tailles et l'interprétation des structures calcifiées. La croissance du thon rouge de l'Atlantique a été obtenue par ces trois méthodes, mais les courbes de croissance actuellement utilisées dans l'évaluation de l'ICCAT de cette espèce se basent sur une combinaison de ces deux dernières méthodes, les analyses de fréquence de tailles et la détermination directe de l'âge (Cort, 1991; Restrepo *et al.* 2010). La méthode de marquage est l'une des approches les plus fiables pour obtenir les données d'âge et de croissance, compte tenu des informations satisfaisantes sur la taille au marquage-récupération, mais jusqu'à présent ces données n'ont pas été prises en considération pour cette espèce étant donné que le faible nombre de grands spécimens ne permet pas l'estimation d'une taille asymptotique fiable. Toutefois, les documents SCRS/2013/093 et SCRS/2013/078 estiment que les données de marquage actuelles pourraient faire l'objet d'un examen approfondi et étayer de nouvelles études sur la croissance. Le Groupe a fait part de ses préoccupations relatives au nombre et à la fiabilité des données de recapture de poissons de grandes tailles.

La détermination directe de l'âge des captures à l'aide de clefs d'identification âge-longueur (ALK) est une méthode commune, généralement utilisée par de nombreuses organisations régionales de gestion des pêcheries d'espèces pélagiques et de fond. En revanche, dans les évaluations de l'ICCAT les courbes de croissance annuelles moyennes sont utilisées pour convertir la prise par taille en matrices de prise par âge (CAA) au lieu d'appliquer des ALK. Les raisons de cette procédure s'expliquent essentiellement par la difficulté à échantillonner cette espèce, le temps consacré au développement d'ALK annuelles et la nécessité d'une détermination directe de l'âge validée. Le SCRS et les scientifiques nationaux ont toutefois consacré de considérables ressources en termes de détermination directe de l'âge, tant pour le stock est qu'ouest. Les résultats actuels et les futures priorités de travail sont récapitulés ci-après.

Diverses structures calcifiées ont été utilisées pour l'estimation de l'âge du thon rouge de l'Atlantique, dont les écailles, les vertèbres, les otolithes et les épines de la nageoire dorsale (Rooper *et al.*, 2007). Parmi toutes ces structures, les deux dernières ont fourni les résultats les plus fiables (Rodriguez-Marin *et al.*, 2007). Pour la détermination directe de l'âge du thon rouge de l'Atlantique, les otolithes représentent un avantage par rapport aux épines de la nageoire car tous les âges peuvent être interprétés en l'absence de vascularisation du noyau ; en revanche, les épines de la nageoire dorsale (dénommées épines ci-après) sont plus faciles à collecter et à préparer que les otolithes (Rodriguez-Marin *et al.*, 2007). Parmi ces deux structures, seule la détermination de l'âge d'après les otolithes a été validée jusqu'à présent (Neilson et Campana, 2008), et les validations n'ont été réalisées que pour la catégorie de taille la plus grande. Le Groupe a également fait remarquer que l'interprétation de l'âge d'après les otolithes au cours des 5-6 premières années de vie est souvent problématique mais comparativement plus facile dans les épines. Par ailleurs, après l'âge 7, le comptage des anneaux des otolithes peut être réalisé avec précision. Le Groupe a noté que les déterminations les plus robustes des âges pourraient être réalisées en combinant les âges déterminés par ces deux pièces dures.

Si l'on compare les méthodes novatrices de détermination directe de l'âge à l'est et à l'ouest, il est à noter qu'il existe des protocoles bien établis pour la détermination de l'âge par les épines, utilisés depuis de nombreuses années (Rodriguez-Marin *et al.*, 2012; Luque *et al.*, documents soumis). En revanche, la détermination de l'âge

basée sur les otolithes, réalisée par les laboratoires de l'ouest, n'est pas aussi avancée et les chercheurs établissent actuellement des collectes de référence, des échanges d'otolithes et achèvent les protocoles. Cependant, de grands progrès sont accomplis et, tel que signalé dans le document SCRS/2013/084, les participants à un récent atelier, dotés d'expérience dans les procédures de contrôle de la qualité dans de grands laboratoires de détermination de l'âge, indiquaient qu'une erreur moyenne de pourcentage de 10% était généralement mise en œuvre pour des espèces, telles que le thon rouge de l'Atlantique (thazard par exemple) dont l'âge est parfois assez difficile à déterminer. Grâce à une standardisation accrue et une plus grande expérience, les participants à l'atelier ont estimé qu'une erreur moyenne de pourcentage de <5% pouvait être atteinte, niveau suggéré par Campana (2001) comme étant le seuil habituel pour les laboratoires de détermination de l'âge.

En ce qui concerne la situation de ces collectes pour l'ouest, une collecte est en cours de développement par l'UMCES (SCRS/2013/084) et des partenaires internationaux. A l'est, l'IEO joue un rôle clef dans le développement de collectes de référence pour les épines et les vertèbres. Ces outils devraient être achevés et partagés avec d'autres laboratoires souhaitant contribuer à ces travaux.

La détermination directe de l'âge réalisée par le GBYP inclut plus de 1.050 structures calcifiées dont l'âge a été déterminé (SCRS/2013/080). Ce document présente les résultats de la détermination directe de l'âge du thon rouge de l'Atlantique, basée sur des otolithes et des épines des nageoires échantillonnées dans l'Atlantique nord-est et en Méditerranée dans le but d'estimer l'âge de la capture du stock est de cette espèce. Les tailles asymptotiques et les coefficients de croissance obtenus d'après les ALK issus de ces deux structures n'ont pas présenté de différences significatives et la précision entre les lecteurs au sein de chaque structure s'est avérée élevée.

Un autre document (SCRS/2013/081) basé sur des structures paires de ces mêmes spécimens, provenant du GBYP et d'autres programmes de recherche espagnols, canadiens et américains, a été présenté.

Ce document étudiait la valeur potentielle du carbone radioactif pour la validation de l'interprétation de l'âge dans des échantillons d'épines disponibles de thon rouge de l'Atlantique depuis 1984 et des estimations de l'âge d'après des structures paires ont été comparés pour examiner le biais relatif des lectures des épines par rapport à celles des otolithes. Les épines contenaient du carbone radioactif à des concentrations conformes aux attentes. La comparaison des interprétations de l'âge d'après les otolithes et les épines provenant du même spécimen montrait un bon ajustement à un rapport linéaire entre les deux estimations de l'âge jusqu'à 10 ans. A partir de cet âge, il est noté que les interprétations de l'âge d'après les épines sont plus faibles que celles réalisées d'après les otolithes. Les auteurs ont toutefois reconnu que ces résultats étaient préliminaires, étant donné que la taille de l'échantillon pour l'essai du carbone radioactif était réduite et que la préparation des otolithes et le critère d'interprétation de l'âge faisaient encore l'objet d'études. Il a été suggéré de combiner la lecture des otolithes et des épines pour le même spécimen afin de réaliser une expérience complémentaire et corroborative.

Le **Tableau 12** inclut un catalogue des pièces dures pour la période 2010-2013, correspondant à la période d'échantillonnages biologiques accrus dans le cadre du GBYP dans l'Atlantique est et la Méditerranée et de programmes nationaux d'échantillonnage complémentaires développés par UE-Espagne dans l'Atlantique est et les Etats-Unis et le Canada dans l'Atlantique ouest. Les données présentées dans ce tableau sont tirées des documents SCRS/2013/094, SCRS/2013/050, SCRS/2013/080 et d'autres informations transmises par les scientifiques nationaux. Il existe également des collectes historiques d'otolithes bien échantillonnées dans plusieurs instituts de recherche, tels que celles de la NOAA (Etats-Unis) depuis le milieu des années 70, du FOC (Canada) de 1970 à 1990 et des collectes d'épines de l'IEO (UE-Espagne) de 1975 à 1990.

Clefs d'identification âge-longueur disponibles et comparaisons de la prise par âge résultante avec l'évaluation précédente

Le Groupe a élaboré des clefs d'identification âge-longueur (ALK) à l'aide des données issues du GBYP (c'est-à-dire épines et otolithes de thon rouge de l'Atlantique est) et des paires âge-longueur d'otolithes de thon rouge de l'Atlantique ouest. Même si des échantillons étaient disponibles de 2009 à 2013, la plupart des échantillons provenaient de 2010 et 2011. Aux fins de cette analyse, toutes les années ont été combinées pour développer des ALK pour le thon rouge de l'Atlantique est et ouest. La composition par âge a été estimée à l'aide de ces ALK empiriques pour déterminer l'influence de l'utilisation de ces ALK pour développer la composition par âge plutôt que le protocole de découpage des âges utilisé pour élaborer les entrées de la VPA pour les cas de base des modèles de 2012.

Pour le thon rouge de l'Atlantique ouest, deux ALK ont été élaborées. Une clef utilisait uniquement les observations des otolithes de thon rouge capturé par les pêcheries du nord-est de l'Atlantique ouest des Etats-Unis et de Caroline du nord (**Figure 15**). La deuxième utilisait toutes les paires de longueur-âge disponibles de l'Atlantique est et ouest (**Figure 16**).

Les **Figures 17 et 18** comparent la prise par taille extrapolée aux échantillons d'otolithes et d'épines, respectivement, pour le thon rouge de l'Atlantique est. Dans ces deux figures, les premiers panneaux représentent la distribution de fréquences de tailles de la population, le second les nombres à chaque âge (représentés par différentes couleurs) pour chaque groupe de taille et le troisième panneau les proportions par âge. Les **Figures 17 et 18** permettent de comparer l'intensité d'échantillonnage des pièces dures parmi la distribution des fréquences de taille de la capture.

Les **Figures 19 et 20** représentent les nombres échantillonnés à chaque âge en tant que « courbe de croissance » pour les otolithes et les épines, respectivement. Les **Figures 19 et 20** permettent de comparer les chevauchements par taille des classes d'âges: plus le chevauchement est important, plus grandes seront les incertitudes liées aux estimations de l'âge.

La **Figure 21** compare les estimations des nombres à l'âge avec un « découpage des âges » et en utilisant une clef d'identification âge-longueur basée sur les otolithes et les épines. La **Figure 21** compare les estimations des proportions par âge. Ces résultats sont préliminaires et visent à constituer un point de départ pour la comparaison de l'évaluation actuelle basée sur la VPA, utilisant le découpage des âges et les modèles statistiques de prise par âge, plutôt que de permettre de tirer toute conclusion quantitative.

Le Groupe a noté des différences dans la reconstruction de la prise par âge calculée d'après les clefs d'identification âge-longueur préliminaires développées pour les stocks est et ouest. Des âges manquants pour les âges les plus jeunes posaient des problèmes pour l'ouest et des valeurs manquantes pour les âges les plus avancés causaient des difficultés pour l'est. L'utilisation de techniques de modélisation, telles que la synthèse des stocks, pourraient prendre en considération les clefs d'identification âge-longueur incomplètes. Il a toutefois été signalé que les clefs d'identification âge-longueur soumises ici étaient préliminaires, surtout pour l'ouest. Au fur et à mesure de la disponibilité des âges et de l'exhaustivité accrue des clefs d'identification âge-longueur, des prises par âge plus fiables devraient être obtenues. Il a été constaté qu'avec des données supplémentaires sur les âges les plus avancés, les problèmes liés au groupe plus pourraient devenir moindres.

Echelle appropriée pour l'agrégation des données d'âge-taille

Afin de déterminer l'échelle appropriée pour l'élaboration de clefs d'identification âge-longueur, il est important de comprendre les facteurs susceptibles d'influencer la croissance du thon rouge et d'étudier de façon approfondie les documents portant sur la croissance des thonidés. A titre d'exemple, il est avéré que le taux de croissance est une caractéristique de dimorphisme sexuel pour plusieurs espèces (thon rouge de l'Atlantique, thon rouge du sud et thon obèse du Pacifique) même si la sexualité à croissance rapide est différente. Les différences du taux de croissance régional ont été décrites et sont parfois importantes entre les diverses unités de gestion (pour le germon par exemple). Il a été démontré que certains facteurs environnementaux ont une influence sur le taux de croissance (voir, par exemple, la réponse du thon obèse du Pacifique à El Niño ou à La Niña). Compte tenu de la variation temporelle, il n'existe que peu d'information sur la variation interannuelle, même si Rodriguez-Marin *et al.* (2009) a considéré qu'il est plus facile de détecter et de suivre des cohortes de thon rouge lorsque des clefs d'identification annuelles âge-longueur sont utilisées. On a également estimé que les taux de croissance changent à une échelle décennale (thon rouge du sud, Polacheck *et al.* 2004) et pourraient être une réponse dépendant de la densité à une diminution de la taille de la population.

Des études de simulation peuvent permettre d'évaluer la sensibilité des clefs d'identification âge-longueur à d'éventuelles sources de biais et de déterminer les niveaux d'échantillonnage requis pour atteindre certains niveaux de précision.

Comparaisons entre les courbes de croissance

Le Groupe s'est penché sur les données utilisées afin de calculer les courbes de croissance actuellement adoptées pour les stocks de thon rouge de l'Atlantique est et ouest (Cort, 1991 et Restrepo *et al.*, 2010). Il a été convenu d'inclure une description détaillée du délai et des données utilisés pour ces deux courbes. Ces deux courbes se basent essentiellement sur la fréquence des tailles et les structures calcifiées échantillonnées dans les années 70 et 80. La courbe de croissance actualisée du thon rouge de l'Atlantique ouest d'après Restrepo *et al.* (2010) se

base sur des données sur l'âge sur une longue période. Dans ce dernier document, deux types de données ont été utilisés: la lecture de l'âge basée sur les otolithes et les distributions de fréquence de tailles des petits spécimens (âges 1-3) capturés par les senneurs dans les années 1970. Les otolithes utilisés dans cette fonction de croissance actualisée ont été essentiellement collectés dans l'unité de gestion de l'Atlantique ouest à la fin des années 1990 et 2000 mais la catégorie de thons rouges géants de l'Atlantique a surtout été collectée dans les années 70 et 80. Les deux extrêmes de la fonction de croissance de l'ouest actualisée se basent sur des échantillons collectés il y a de nombreuses décennies. Le même problème potentiel est constaté pour la courbe de croissance de l'est (Cort, 1991); cette courbe est également basée sur deux types de données: la lecture de l'âge basée sur les épines de thonidés capturés par les madraques en 1984 et les distributions de fréquences des tailles de thonidés juvéniles (âges 1-5) capturés par les canneurs de 1975 à 1984.

L'approche méthodologique d'ajustement de la courbe de croissance de l'est de Cort (1991) a également été décrite. Cet auteur ajustait les données au modèle de croissance de von Bertalanffy en appliquant la méthode de Ford & Walford. Les paramètres de croissance obtenus différaient légèrement des paramètres recalculés, obtenus lors de la réunion du Groupe de travail d'après les données de référence (longueurs à l'âge moyennes) en réduisant la somme des carrés des valeurs résiduelles (**Tableau 13**).

Les courbes de croissance actuellement adoptées pour les stocks de thon rouge de l'Atlantique est et ouest ont été comparées aux courbes calculées d'après les jeux de données disponibles sur les structures calcifiées du test du rapport des vraisemblances de Kimura (1980) (**Tableau 13**). Ce test a été effectué en utilisant des gammes d'âges équivalentes, tel que recommandé par Haddon (2001). Les paramètres correspondants, nouvellement estimés, ont été testés avec ceux d'autres auteurs, qui ont été recalculés d'après les données de référence (longueurs à l'âge moyennes) en réduisant la somme des carrés des valeurs résiduelles. Les jeux de données des otolithes du stock ouest n'ont pas été inclus dans l'analyse car ces estimations de l'âge étaient préliminaires et qu'il y avait relativement peu d'âge disponible en l'absence d'échantillonnage dans les deux extrêmes de la gamme d'âges. Il a été fait observer que les procédures statistiques utilisées ici comparaient les tailles moyennes à l'âge mais une utilisation plus appropriée pourrait consister à traiter les observations à titre individuel.

Les résultats du **Tableau 13** montraient que les estimations des paramètres de croissance et que l'importance de ces comparaisons sont sensibles aux facteurs suivants: la gamme d'âge comparée, l'utilisation d'âges fractionnaires et le nombre d'échantillons et d'années utilisés dans l'analyse. En règle générale, l'utilisation de jeux de données sur les âges fractionnaires et les structures calcifiées avec de nombreuses estimations de l'âge par âge et couvrant de vastes gammes d'âges donne lieu à des courbes de croissance qui n'étaient pas très différentes de celles actuellement adoptées par l'ICCAT.

Le Groupe a estimé que les comparaisons présentées étaient utiles et intéressantes. Il a été noté que les estimations de L_{∞} comparativement élevées, issues du jeu de données du GBYP, se rapprochaient des estimations précédemment publiées, étant donné que de nouvelles années d'informations avaient été rajoutées, ce qui reflète probablement l'ajout de poissons plus grands et plus âgés, qui sont en nombre relativement restreint dans les échantillons actuels.

3.3 Reproduction: sex ratio, maturité, fécondité et frai

3.3.1 Age à maturité

Le Groupe a convenu d'adopter les définitions ci-après:

Maturité – statut histologique des gonades et/ou expression des ratios du niveau hormonal qui indiquent un changement par rapport à ceux exprimés chez les juvéniles.

Frai – expression des œufs ou du sperme dans la colonne d'eau aux fins de reproduction.

Age à la première reproduction/au premier frai – âge le plus jeune auquel les spécimens sont en état de frai.

Age à maturité le plus jeune – âge le plus jeune auquel les spécimens de la population présentent le développement de gonades et/ou expression des ratios du niveau hormonal qui indiquent un changement par rapport à ceux exprimés chez les juvéniles.

Age à maturité (50% des poissons) – classe d'âge à laquelle la majorité des poissons de la population présente le développement de gonades et/ou expression des ratios du niveau hormonal qui indiquent un changement par rapport à ceux exprimés chez les juvéniles.

Age au frai (50% des poissons) – classe d'âge pour laquelle 50% des poissons de la population sont en état de frai.

Age au frai (100% des poissons) – classe d'âge à laquelle tous les poissons de la population sont en état de frai.

Le Groupe a débattu des avantages et des inconvénients de certaines techniques actuellement utilisées dans les études de maturité. Les techniques histologiques sont utiles pour identifier les poissons en état de frai. Toutefois, elles ne peuvent pas identifier les poissons matures lorsqu'ils sont en dehors de leur cycle de reproduction. En revanche, les études endocrines peuvent identifier sans ambiguïté les poissons qui sont matures sexuellement, mais elles ne peuvent pas identifier si un poisson mature a frayé ou procédera au frai pendant la saison en cours (Heinisch *et al.* document soumis). Dans l'idéal, la combinaison de ces deux techniques, conjointement avec les indices gonado-somatiques, devrait être utilisée aux fins des études de maturité/frai. Le Groupe a également recommandé de convenir d'un jeu de techniques standard devant être utilisées simultanément pour les deux stocks en vue de faciliter la comparaison des résultats des deux côtés de l'Atlantique (Knapp *et al.* soumis). Le Groupe a recommandé, en outre, de poursuivre les études visant au développement de techniques (marqueurs histologiques par exemple) qui permettraient d'identifier les activités de frai antérieures.

Le Groupe a discuté de l'état actuel des connaissances et des facteurs qui pourraient avoir une influence sur l'estimation de la maturité et du frai à l'âge pour les deux stocks. Parmi les plus importantes, d'un point de vue historique, les échantillons collectés pour estimer la maturité ont été obtenus uniquement des zones de ponte (c'est-à-dire Golfe du Mexique et Mer Méditerranée). Comme précédemment discuté par le SCRS, les échantillons visant à estimer la maturité devraient être collectés de toutes les portions de la population et ne pas se limiter aux zones de ponte. Certaines études de maturité ont été réalisées pour le stock ouest à l'aide d'échantillons obtenus en dehors du Golfe du Mexique (par exemple Goldstein *et al.* 2007). Cependant, ceci n'est pas le cas pour le stock de l'Atlantique Est et de la Méditerranée ces dernières années/décennies et par conséquent, le Groupe a recommandé d'obtenir des échantillons de thon rouge de l'est en dehors de la Méditerranée, au cours de la saison de reproduction, pour réaliser des études sur la maturité.

Stock de l'Atlantique et de la Méditerranée

Dans le cas du stock de l'Atlantique et de la Méditerranée, le Groupe a identifié d'autres sources de biais potentiels pouvant avoir une influence sur l'estimation de la maturité à l'âge. A titre d'exemple, les scientifiques du thon rouge ont soumis l'hypothèse, sur la base du marquage électronique, que la Méditerranée pourrait avoir une population "résidente"¹ composée à la fois de poissons matures et immatures en plus d'une population transitoire de poissons matures qui migrent de l'Atlantique à la Méditerranée aux fins de frai. Lorsque l'on échantillonne uniquement les zones de ponte au cours de la saison de reproduction, les échantillons de poissons totalement matures de la population transitoire et les échantillons de la population résidente avec des poissons matures et immatures sont combinés. Ceci peut produire une estimation biaisée de l'âge à maturité (c'est-à-dire une augmentation de la proportion de poissons matures à certaines classes d'âge qui ne reflète pas la véritable proportion de la population).

L'indice gonado-somatique (GSI) peut évoluer très rapidement en Méditerranée. Les scientifiques de l'IEO (UE-Espagne) ont constaté que des femelles gardées dans des madragues peuvent donner des valeurs de GSI très faibles à très élevées en deux semaines ou moins. De la même façon, la transition de valeurs GSI élevées à faibles peut également survenir rapidement (Medina *et al.* 2002, Goldstein *et al.* 2007). Cette caractéristique particulière est un défi complexe à relever pour les études sur la reproduction. Etant donné qu'une forte proportion d'échantillons collectés pour les études de maturité a été obtenue au cours de la saison de pêche à la senne ou à la madrague, la durée de la saison de pêche peut influencer les résultats des études. La durée de la saison de pêche a changé au cours de ces dernières années et est actuellement limitée à un mois. De nombreux événements liés au frai se produisant en dehors de la zone et saison de pêche à la senne et à la madrague sont donc manquants ou ne sont pas détectés. Cette difficulté est exacerbée par la rapide évolution de GSI expliqué ci-dessus, les poissons pouvant avoir frayé ou être prêts à frayer mais les phases physiologiques ne sont pas détectées.

¹ L'interprétation de thons rouges "résidents" de la Méditerranée (thonidés résidant plus d'une année en Méditerranée) provient de Di Natale *et al.*, 2005 – Pêcheries de ligneurs de thon rouge (*Thunnus thynnus* L.) dans les mers italiennes. Données anciennes et récentes. ICCAT Coll. Vol. Sci. Pap., 58(4), 2005: 1285-1295.

Une autre source de biais discutée par le Groupe est l'absence ou le faible nombre d'échantillons provenant de certaines zones de ponte connues en Méditerranée. Les zones de ponte des eaux de la Méditerranée de l'Afrique du nord/ de l'est ont notamment été sous-échantillonnées aux fins des études de maturité, surtout ces dernières années. Les scientifiques de l'IEO (UE-Espagne) ont analysé un petit échantillon (n=21) de thons rouges femelles capturés par les madragues des eaux libyennes. Toutes les femelles analysées étaient d'âge 3 et 4 et étaient totalement matures (Tawill *et al.* 2002). Cependant, ce programme d'échantillonnage fait également l'objet de biais potentiels, évoqués ci-dessus, survenant lorsque l'on n'échantillonne que les zones de ponte durant la saison du frai.

Actuellement, pour l'évaluation du stock est, le SCRS part du postulat que 50% de la population fraie à l'âge 4 et 100% à l'âge 5 et à un âge plus avancé. Ce postulat se base sur un grand nombre de documents qui indiquent que des poissons matures d'âge 3 peuvent être présents en Méditerranée et que des poissons échantillonnés dans une vaste gamme de zones de ponte étaient matures à 100% à l'âge 4 (par exemple, Mather *et al.* 1995, Piccinetti *et al.* 2012). Néanmoins, compte tenu des biais potentiels décrits ci-dessus, les postulats actuels utilisés par le SCRS pourraient être révisés étant donné notamment que la proportion de poissons de la population totale qui fraient à chaque âge reste incertaine. Le Groupe a estimé que les données de prise par taille de certaines pêcheries pourraient être étudiées comme indice approchant pour la proportion de poissons de chaque classe d'âge qui fraient. Néanmoins, il pourrait exister de multiples évolutions de la maturité en fonction de la structure de la population. Ceci implique, par ailleurs, que toutes les zones de ponte sont connues, alors que de Buen, 1925 et 1926 et Mather *et al.*, 1995 ont suggéré d'autres zones de ponte potentielles. Profitant des caractéristiques particulières de la pêcherie de madrague dans la zone du Déroit de Gibraltar (qui vise à capturer des géniteurs migratoires à l'aide d'engin non-sélectif), les scientifiques de l'IEO (UE-Espagne) ont mené une analyse préliminaire pour estimer la reproduction (50% des poissons) en utilisant une approche d'analyse de courbe de capture structurée par taille. Les échantillons ont été collectés en mai par la madrague de Barbate (près du Déroit de Gibraltar, le long de la côte atlantique espagnole), juste avant la saison du frai. Les résultats préliminaires plaçaient l'âge de la reproduction (50% des poissons) aux alentours de l'âge 6 après avoir estimé l'âge d'après la longueur à l'aide de la courbe de croissance développée par Cort (1991) pour cette composante migratoire du stock de l'Atlantique est. Même si l'approche utilisée était simple et se fondait sur plusieurs postulats, les résultats obtenus étaient considérés plausibles et étayaient les préoccupations exprimées quant à la sous-estimation de l'âge de la reproduction (50% des poissons) du stock de l'est. Certains participants ont signalé la divergence entre ce récent échantillonnage et celui obtenu par Rodriguez Roda (1967) dans la même madrague sur plusieurs années et ont fait part de leurs inquiétudes quant au fait que l'âge actuel de maturité (50% des poissons) pour le stock de l'Atlantique est et de la Méditerranée pourrait être remis en question d'après ces résultats. Le Groupe a recommandé de réaliser des analyses de courbes de captures structurées par taille ou des analyses de prise par taille sur d'autres concentrations de reproducteurs au sein de la Méditerranée en tant qu'outil pour mieux estimer la proportion de poissons en état de frai par âge.

Stock de l'Atlantique ouest

Les zones de ponte connues pour le thon rouge de l'Atlantique ouest comprennent le Golfe du Mexique, le Déroit de Floride et la Mer des Caraïbes du nord (Mather *et al.* 1995; McGowan et Richards 1989, Muhling *et al.*, données non publiées). Contrairement à la Méditerranée, les thons rouges ne sont pas présents dans les zones de ponte de l'ouest tout au long de l'année (Mather *et al.* 1995). Les données de la pêche palangrière pélagique et les données de suivi électronique indiquent la présence de thon rouge dans le Golfe du Mexique de novembre à juin, avec un pic de résidence de mars à mai (Block *et al.* 2005, Galuardi *et al.*, 2006). A l'heure actuelle et à des fins d'évaluation de stock, le SCRS se base sur le postulat que l'âge de reproduction (100% des poissons) pour le thon rouge de l'Atlantique ouest se situe à l'âge 9, d'après les conclusions de Baglin (1982) et la courbe de croissance développée par Restrepo *et al.* (2010).

Schirripa (2011) a révisé les documents disponibles sur les calendriers de maturité des stocks est et ouest et les explications potentielles des différences entre les deux. Les études portant sur des preuves directes (c'est-à-dire histologie) et indirectes (calculées d'après les statistiques de capture) du frai ont été incluses. Sur la base de l'histologie, les estimations de maturité pour le stock est étaient très vastes, d'une maturité (50% des poissons) à 97,5 cm FL et d'une maturité (100% des poissons) à 130 cm FL jusqu'à une maturité (50% des poissons) à 140 cm et une maturité (100% des poissons) à >150 cm. De la même façon, les estimations de la maturité pour le stock de l'ouest variaient dans une large mesure de 95,5 cm FL à l'âge 10. Les critiques exprimées quant à ces études ont également été discutées. Le document évoquait aussi les recherches qui ont trouvé des éléments de preuves hormonales de maturité pour des poissons de l'est de petite taille (110 cm FL). Deux études qui utilisaient des statistiques de capture dans la zone de ponte du Golfe du Mexique pour évaluer l'âge de reproduction du thon rouge de l'ouest ont également été révisées. L'auteur a conclu que les différences notées

entre les calendriers de maturité de l'est et de l'ouest sont plausibles, en raison de la séparation géographique, environnementale et génétique des deux stocks.

Une analyse de la distribution par taille des poissons capturés par les palangriers pélagiques dans le Golfe du Mexique ainsi que les taux de déplacements de poissons porteurs de marques électroniques a été utilisée pour estimer la proportion de poissons de chaque classe d'âge qui migre dans le Golfe du Mexique probablement à des fins de frai. Un consensus général s'est dégagé au sein du Groupe, selon lequel tous les poissons présents dans le Golfe du Mexique s'y sont déplacés à des fins de frai et pourraient donc être considérés comme des poissons adultes en état de frai.

En étudiant la distribution de la prise par âge des palangriers américains et japonais dans le Golfe du Mexique, Diaz et Turner (2007) ont estimé la proportion de thon rouge en état de frai dans chaque classe d'âge, en se fondant sur le postulat qu'il n'existe pas de frai important en dehors des zones de ponte connues. Diaz (2011) a actualisé l'analyse précédente pour les données de capture de la palangre pélagique américaine uniquement en utilisant la courbe de croissance actualisée pour le thon rouge de l'ouest, élaborée par Restrepo *et al.* (2010). Il a conclu que moins de 1% des poissons de l'échantillon prélevé dans le Golfe du Mexique avait moins de 8 ans et que l'âge auquel la majorité des poissons de la population frayait était 15,8 ans. Il a été noté que les données de la palangre japonaise avant 1980 incluaient un plus grand nombre de poissons plus petits (Diaz et Turner 2007) que le jeu de données de la palangre américaine utilisé par Diaz (2011). Une explication possible est que la flottille palangrière américaine fait l'objet de certaines restrictions de pêche dans les eaux territoriales mexicaines où des thons rouges plus petits ont été observés dans la capture des palangriers mexicains ciblant l'albacore (Ramirez-Lopez et Abad, 2012). Si la ségrégation par taille existe au sein du Golfe du Mexique, la flottille palangrière japonaise, qui n'a pas été exclue de la ZEE mexicaine, pourrait avoir rencontré des poissons plus petits que la flottille américaine. Le Groupe a recommandé d'actualiser les estimations de la proportion de poissons en état de frai de chaque classe d'âge à l'aide des données de pêche palangrière japonaises et mexicaines et de la courbe de croissance développée par Restrepo *et al.* (2010). En effet, le recours aux données de capture américaines uniquement pourrait sous-estimer la proportion de thons rouges en état de frai dans les classes d'âge les plus jeunes. Il a également été fait observer que la palangre est un engin sélectif pour les tailles plus grandes.

Les données de marquage électronique de Block *et al.* (SCRS/2013/091) ont aussi été utilisées pour calculer le nombre de poissons marqués par classe d'âge, situés dans le Golfe du Mexique ou en dehors. L'âge a été attribué au moment du marquage sur la base de la longueur (Restrepo *et al.* 2010) et l'âge des poissons a été ajusté en fonction du temps en liberté. Selon le modèle de croissance pour le thon rouge de l'ouest développé par Restrepo *et al.* (2010), le poisson le plus jeune dont la présence a été observée dans le Golfe du Mexique était d'âge 10 (Block *et al.* 2005, Teo *et al.* 2007). Les graphiques mensuels montraient que le mois de mai était le mois enregistrant le plus grand nombre de thons rouges marqués présents dans le Golfe du Mexique. La distribution totale de tous les poissons marqués révélait qu'un petit pourcentage de poissons d'âge 10 était présent dans le Golfe (0% pour novembre-avril, 2,5% en mai et 6% en juin). Pour le mois de mai, les âges auxquels la majorité des poissons étaient présents dans le Golfe étaient des âges >16 (66% pour les âges 17 et 19, 80% pour l'âge 18 et 100% pour les âges 20-23). Lorsque l'on se penche sur les pourcentages de poissons marqués présents dans le Golfe du Mexique sur tous les mois, l'âge le plus jeune pour lequel plus de 50% de poissons marqués ont été observés dans le Golfe du Mexique était l'âge 15 (55%) et l'âge le plus jeune pour lequel tous les poissons ont été observés dans le Golfe du Mexique correspondait à l'âge 22. Même si ce jeu de données était bien plus restreint, les résultats obtenus des données de marquage correspondaient bien à ceux communiqués par Diaz (2011) pour les registres de capture du Golfe du Mexique.

D'après d'autres études de marquage à l'aide de marques PSAT sur des thons rouges adultes remis à l'eau dans le Golfe du Maine et au sud-ouest de la Nouvelle Ecosse, au Canada, en 2001-2010, (par exemple, Wilson *et al.* 2005, Sibert *et al.* 2006, Galuardi *et al.* 2010), moins de la moitié des spécimens > 185 cm CFL conservant les marques au cours de la période de ponte présumée dans le nord du Golfe du Mexique avait pénétré dans le Golfe. Les spécimens l'ayant fait (n= 22) y ont pénétré en novembre (1), décembre-janvier (6), février-mars (12), avril-juin (3) (Lutcavage *et al.*, SCRS/2012/157).

Le Groupe a également discuté de la possibilité d'une omission de la fraye par les poissons matures. Même si la taille de l'échantillon était limitée, à l'aide des données de marquage, Teo *et al.* (2007) et Block *et al.* (2005) n'ont pas trouvé d'élément probant de l'omission de la fraye par des thons rouges de l'Atlantique ouest. Bien que le Groupe ait convenu que les résultats de ces études ne pouvaient pas être considérés comme des preuves définitives de la non-omission de la fraye, un consensus général s'est dégagé quant au fait que l'omission de la fraye pourrait être plus commune chez les classes d'âges plus jeunes (Rideout *et al.*, 2006; Goldstein *et al.*,

2007). Sur la base des conditions somatiques des grands thons rouges (par exemple 185 cm CFL) quittant les zones trophiques de l'Atlantique nord-ouest (par exemple Estrada *et al.* 2005, Goldstein *et al.* 2007, Golet *et al.* 2007), des profils de reproduction d'autres thonidés (Schaeffer *et al.*, 19XX) et de la modélisation du cycle vital du thon rouge (Chapman *et al.* 2011), l'omission de la fraye semble moins probable chez les plus grands poissons, tout du moins sur la base de leur état énergétique (Heinisch *et al.* document soumis).

Des éléments de preuves de schémas de dispersion de thons rouges porteurs de marques PSAT, remis à l'eau dans les zones de fourrage de Nouvelle Angleterre et du Canada (n=126, 150-185 cm CFL), avec PSAT montraient que la plupart des spécimens conservant les marques jusqu'en avril-juin (20/36) n'avaient pas pénétré dans le Golfe du Mexique. Conformément aux observations historiques (par exemple, Mather *et al.*, 1995) et aux données spatiales et environnementales, les auteurs prévoient que certains thons rouges pourraient frayer ailleurs, possiblement à la fin de l'hiver ou au printemps, près du Gulf Stream (Lutcavage *et al.*, (SCRS/12/157; en préparation). Les schémas de dispersion présentés par des thons rouges sexuellement matures sont conformes aux modèles du cycle vital qui prévoient que les poissons plus petits/jeunes se reproduisent dans des zones plus proches des zones de fourrage que les spécimens plus grands (Chapman *et al.* 2011), ce qui est similaire aux schémas documentés pour le thon rouge du Pacifique (Itoh *et al.* 2006).

Knapp *et al.* (document soumis) utilisait une analyse stéréologique du tissu ovarien pour identifier les similitudes et les différences en ce qui concerne la fréquence de la reproduction, la fécondité et la périodicité de reproduction du poisson échantillonné dans le Golfe du Mexique et en Méditerranée. Le thon rouge de l'Atlantique échantillonné dans les zones de ponte de l'est et de l'ouest présentait la même durée de reproduction (trois mois) mais la reproduction dans le nord du Golfe du Mexique survenait un mois plus tôt que dans la plupart de la Méditerranée. Le thon rouge échantillonné présentait une fréquence de reproduction plus faible dans le Golfe du Mexique qu'en Méditerranée (<50% et 60%, respectivement), alors que la fécondité (59 œufs g⁻¹) coïncidait avec celle des poissons échantillonnés en Méditerranée (48,22 œufs g⁻¹).

Heinisch *et al.* (document soumis) utilisait des analyses histologiques et endocrines pour déterminer l'état de maturation sexuelle de 93 thons rouges de l'Atlantique (134-292 cm longueur courbée à la fourche, CFL) échantillonnés dans des zones de fourrage de l'Atlantique nord-ouest au large de la Nouvelle Angleterre et de la Nouvelle Ecosse et chez dix-sept jeunes de l'année (YOY) au large de la Virginie. Il n'y avait pas de différence physiologique entre les petits et les grands thons rouges. Des contenus testiculaires partiellement épuisés ainsi qu'un contenu lipidique des ovocytes étaient présents chez les thons rouges de toutes les tailles >134 cm CFL, ce qui indique que le frai était possible au cours de la saison précédente ou suivante. Les ratios d'hormone de stimulation folliculaire (FSH) par rapport aux ratios d'hormone lutéinisante (LH), détectés chez des thons rouges >134 cm CFL (<0,4), étaient similaires à ceux des géniteurs de la Méditerranée, ce qui indique que des thons rouges de l'ouest de taille bien inférieure à la taille à la première maturité actuellement postulée (≥185 cm CFL) pourraient bien être matures. Heinisch *et al.* (document soumis) a également conclu à des preuves de comportement de reproduction asynchrone chez des thons rouges femelles « géantes » (221–292 cm CFL) débarquées au large de la Nouvelle Ecosse en septembre-octobre, chez lesquelles une sécrétion LH pituitaire pourrait résulter d'une récente reproduction. Il s'agit de la première étude intégrant des approches endocrines et histologiques pour définir la maturité du thon rouge de l'ouest échantillonné en dehors de zones de ponte et de saison de reproduction connues. Les résultats combinés de l'analyse endocrine et des résultats histologiques ne correspondent pas aux calendriers de maturité actuellement postulés pour le thon rouge de l'ouest.

Même si on ne peut pas écarter le fait que des zones de ponte additionnelles existent en dehors de celles déjà identifiées dans l'Atlantique Ouest, les données de prise par âge et de marquage électronique n'étaient pas la notion que la majorité de la population de thon rouge fraye dans le Golfe du Mexique avant l'âge 15. Toutefois, les résultats présentés par Heinisch *et al.* (document soumis), qui indiquaient que de jeunes poissons, de 5 ans, sont matures sexuellement donnent à penser que ces jeunes poissons: 1) frayent dans des zones inconnues en dehors du Golfe du Mexique ou 2) même s'ils sont matures sexuellement ils ne frayent pas tant qu'ils n'ont pas atteint un âge plus avancé.

Fécondité

Aux fins de l'évaluation du stock, la connaissance du nombre moyen d'œufs produit par spécimen de chaque classe d'âge est d'une importance capitale. Dans l'idéal, ceci est estimé comme le produit de la fécondité par fraction de ponte (nombre moyen d'œufs produit lorsque le poisson fraye) et fréquence de fraction de ponte (nombre moyen de fois qu'un poisson fraye). Si la fréquence du frai ne change pas avec l'âge, on peut alors remplacer le pourcentage de poissons frayant à l'âge par la fréquence de reproduction à l'âge. De la même manière, si la fécondité par fraction de ponte est proportionnelle au poids total, on peut alors remplacer le poids

par âge par la fécondité par fraction de ponte à l'âge. Le produit du pourcentage de poisson en état de frai et le poids à l'âge est alors une mesure du nombre relatif d'œufs produit par spécimen de chaque classe d'âge, qui, multiplié par le nombre de poissons dans chaque classe d'âge est généralement désigné comme étant la biomasse reproductrice.

Pour le stock de l'est, Aranda *et al.* (2012) montrait un rapport exponentiel entre le volume ovarien et la taille avec une valeur pour le paramètre $a = 0,0009$ et une valeur d'exposant $b = 2,9586$ (qui à son tour correspond à un rapport linéaire avec le poids) et il concluait que le volume ovarien et la fécondité sont reliés de façon linéaire (fécondité potentielle = $1920,4 \times \text{volume ovarien} - 0,59 \times 10^{-6}$). L'étude d'Aranda *et al.* (2012) a été réalisée avec une taille d'échantillons relativement restreinte ($n=49$), collectés sur trois ans et toutes les données ne semblaient pas s'adapter correctement à ce rapport. Medina *et al.* (2002), également pour le stock est, a soumis des informations sur le nombre d'ovocytes par gramme de masse corporelle pour différentes phases du développement et il a estimé la fécondité par fraction de ponte pour les femelles frayant aux Baléares à 92,8 ovocytes par gramme corporelle. Des études approfondies sur la fécondité et la corrélation entre le poids et la taille du corps et les gonades ont été menées dans le passé, sur de plus grands échantillons (Rodríguez Roda, 1967). Pour le thon rouge de l'ouest, Baglin (1982) a élaboré un rapport sur les estimations du nombre d'œufs par poids (estimé) et par taille mais une fonction de fécondité n'a pas été estimée d'après ces données (voir Tableau ci-dessous). Le Groupe a reconnu qu'il était important d'identifier des fonctions de fécondité pertinentes afin de réduire les incertitudes et les biais de l'évaluation. De surcroît, le Groupe a discuté du fait que des postulats erronés sur la fécondité du stock pourraient avoir un plus grand impact sur les résultats de l'évaluation que la sous-estimation/surestimation de l'âge de maturité par 1-2 ans. Le Groupe a convenu que, compte tenu de l'état actuel des connaissances sur la fécondité, un rapport linéaire entre la fécondité et le poids semble être un postulat pertinent aux fins de l'évaluation. Mais, en raison de l'impact potentiel de l'utilisation de postulats erronés sur la fécondité, le Groupe a également recommandé de mener davantage d'études sur la fécondité pour confirmer si un rapport linéaire entre la fécondité et le poids (ce qui est actuellement postulé par le SCRS) est un postulat adéquat ou si de nouvelles fonctions devraient être adoptées à des fins d'utilisation dans les futures évaluations du stock.

Body length (cm)	Estimated body weight (kg)	Dry weight of eggs (g)	Gono-somatic index (%)	Estimated no. of eggs	
				>0.46 mm diameter (millions)	>0.32 mm diameter (millions)
205	156	1,260	5.3	13.6	32.7
222	¹ 188	696	2.1	16.7	22.7
229	217	1,202	3.1	24.2	46.4
229	217	2,177	5.0	55.5	96.0
229	217	1,481	2.8	33.9	64.4
231	224	1,330	4.4	26.8	41.1
236	¹ 197	1,329	3.2	28.4	40.3
236	¹ 189	1,404	3.2	29.6	44.7
238	246	1,788	4.1	39.0	63.9
238	246	1,703	4.2	40.1	64.5
238	246	1,796	3.8	34.4	61.7
241	254	1,483	3.4	29.8	62.4
241	254	2,436	4.8	48.0	84.9
241	¹ 247	1,560	3.9	33.0	44.0
244	263	1,750	3.6	25.2	56.7
244	263	1,452	3.4	23.2	42.1
244	263	2,121	5.0	49.3	93.3
252	289	2,770	4.7	39.6	94.6
254	298	1,942	2.9	41.6	76.0
—	307	1,681	2.5	32.0	59.2
256	307	1,950	2.6	42.2	79.5
257	¹ 232	1,200	2.9	24.3	33.8
257	309	750	1.9	16.2	26.2
259	316	2,750	4.2	32.6	76.9
259	316	2,500	4.4	48.8	80.6
261	¹ 272	1,488	2.6	31.4	42.3
262	¹ 324	2,593	4.5	57.6	81.6
269	¹ 284	1,950	4.6	40.6	74.8
\bar{X} 243	255	1,734	3.7	34.2	60.3
SE 2.78	8.37	102.79	0.18	2.15	4.04

¹Actual weight determined.

Longueur, poids et données gonadales pour 28 thons rouges femelles de l'Atlantique ouest du Golfe du Mexique et du Détroit de Floride en avril, mai et juin 1967, 1968, 1974, 1975, 1976 et 1978. La moyenne et l'erreur standard de la moyenne sont indiquées en bas des colonnes. Tableau tiré de Baglin (1982).

Sex ratios

Le document SCRS/2013/083 faisait état des sex ratios estimés d'après les données collectées des fermes de thon rouge en Méditerranée, soumises au Secrétariat depuis 2008. Ce document montrait que, bien qu'il semble y avoir une certaine variabilité du sex ratio par taille, les différences n'étaient pas significatives et un sex ratio de 1:1 peut être postulé. Les résultats présentés semblent être en contradiction avec ceux présentés par Aranda *et al.* (2012) qui montraient d'importantes divergences par rapport au sex ratio de 1:1 à différentes gammes de tailles. Cependant, un examen approfondi des résultats de ces deux études montrait que le document SCRS/2013/083 soulignait des divergences, même si légères, dans le sex ratio 1:1 dans des gammes de tailles similaires à celles pour lesquelles Aranda *et al.* (2012) concluaient à d'importantes différences. Pour le stock de l'Atlantique ouest, l'information sur les sex ratios n'est pas généralisée. Toutefois, Beerkircher *et al.* (2009) a indiqué que légèrement plus de femelles (60%) que de mâles étaient observées dans les prises de thon rouge en état de frai de la flottille palangrière pélagique américaine opérant dans le nord du Golfe du Mexique. Baglin (1982) a également estimé certains sex ratios par mois et catégorie de taille et a conclu à certaines divergences importantes par rapport au sex ratio 1:1. Néanmoins, Baglin (1982) ne soumettait pas d'informations détaillées sur les gammes de taille auxquelles ces divergences se produisaient.

3.4 Mortalité naturelle

Le Groupe a examiné les conclusions du document SCRS/2013/077 qui faisait état des valeurs du taux de mortalité naturelle par âge (M) susceptibles d'être utilisées dans les prochaines évaluations de stock de thon rouge. Alors que la mortalité naturelle est de toute évidence un paramètre de la plus haute importance dans la plupart des évaluations de stocks de thonidés, elle reste aujourd'hui un des paramètres les moins bien estimés dans la plupart des modèles de pêcheries de thonidés. Dans le cas du thon rouge de l'Atlantique, il est à noter que pour ce paramètre les niveaux et tendances de la mortalité naturelle spécifiques à l'âge utilisés par le SCRS ces dernières années sont très différents dans l'Atlantique est et ouest, comme indiqué à la **Figure 22**.

Il y a très peu, voire aucune, justification scientifique qui explique qu'un tel stock migratoire qui présente des courbes de croissance très semblables dans l'Atlantique est et ouest fait apparaître de telles différences en termes de mortalité naturelle à l'est et à l'ouest de la ligne située à 45° W, qui est assez artificielle. Le Groupe a aussi noté que le postulat d'une M constante avec l'âge a longtemps été considéré comme peu plausible biologiquement mais qu'il a été retenu dans les évaluations du stock ouest afin de maintenir une base cohérente pour le suivi de son rétablissement dans le cadre du programme de rétablissement.

Le Groupe a conclu que la future analyse d'évaluation du stock de thon rouge devrait se baser sur un meilleur vecteur commun de M à l'âge utilisé pour tout l'Atlantique. Des travaux précédents donnaient à penser que les données de marquage-recapture disponibles étaient insuffisantes pour estimer le niveau de mortalité naturelle à l'âge (Mi) mais de nouvelles données issues d'études récentes de marquage conventionnel et électronique permettent une analyse de ce type. Cette perspective d'analyse des données devrait être étudiée avec le plus grand soin.

Quatre séries indirectes de Mi ont été étudiées et discutées par le Groupe (**Figure 23**):

- 1) Mi du thon rouge du sud, telle qu'actuellement postulée dans l'Atlantique est (SCRS/1998/022)
- 2) Mi estimée par la méthode de 1996 de Lorenzen
- 3) Mi estimée par la méthode de 2010 de Gislason *et al*
- 4) Mi estimée par la méthode de Watanabe (Chen & Watanabe 1989)

Les différences dans les niveaux et tendances des vecteurs Mi estimés par les méthodes de Gislason et Lorenzen ou Watanabe sont facilement identifiables mais les incertitudes quant aux résultats de chaque méthode semblent être assez limitées dans le cadre des courbes de croissance très similaires, actuellement acceptées pour l'Atlantique ouest (Restrepo) et est (Cort).

Tous ces vecteurs de Mi présentent une tendance à la baisse vers leurs niveaux asymptotiques inférieurs de M naturelle subie par les adultes à des niveaux proches de 0,075 (Lorenzen & Gislason) ou 0,10 (Mi du thon rouge du sud et de Watanabe). Aucune de ces quatre Mi ne présente de tendance ascendante après le premier frai,

comme cela a souvent été postulé dans diverses évaluations de stocks de thonidés tropicaux (albacore et thon obèse). Il convient de noter qu'alors que les niveaux de mortalité naturelle estimés pour les adultes sont très analogues pour ces quatre vecteurs de M_i , ceux-ci sont assez différents pour les juvéniles. Les estimations de M à l'âge 0 à 2 d'après la méthode de Gislason sont bien plus élevées que les niveaux estimés par les trois autres sources. Il est à noter que certains niveaux élevés de M à l'âge 0 estimés par la méthode de Gislason correspondent à l'estimation préliminaire de 1,6 pour M_0 estimée par le marquage japonais sur le thon rouge du Pacifique (Iwata *et al* 2012).

La méthode de VPA de l'évaluation du stock postule un groupe plus de 10. Toutefois, les récupérations de thon rouge marqué ont été observées plus de dix ans plus tard et il est indéniable que des spécimens de thon rouge peuvent vivre à des âges plus avancés (par exemple, Secor, SCRS/2008/084; Fromentin et Fonteneau 2001). Au fur et à mesure du rétablissement de la population, la dynamique du groupe plus aura un effet de plus en plus important sur la productivité postulée du stock, les estimations des points de référence et les projections des stocks utilisées dans le cadre de l'avis de Kobe. A titre d'exemple, des processus tels que la mortalité naturelle à l'âge augmentent (Chen et Watanabe, 1989), ou diminuent lentement avec l'âge (Lorenzen, 1996).

Le Groupe a envisagé que l'hypothèse de l'augmentation de la mortalité naturelle des vieux thons rouges (Chen & Watanabe 1989) est par exemple due à la grande énergie employée dans le frai (migration pré et post frai et maturation des gonades) et à une sénescence biologique des poissons âgés en raison de l'âge et des facteurs négatifs cumulés subis par des thons rouges plus âgés (augmentation des parasites, hameçons accidentels, lésions accumulées sur les épines dues aux pêcheries, distances accrues parcourues lors des migrations, etc.).

Le Groupe a recommandé d'étudier de façon plus approfondie cette potentielle augmentation de la mortalité naturelle des thons rouges plus âgés dans le cadre des futurs travaux du GBYP.

Les incertitudes de base liées aux divers vecteurs de M durant la réunion du Groupe devraient être mieux analysées avant de faire un choix final à utiliser dans la prochaine évaluation du stock, par exemple en prenant davantage en considération les incertitudes associées à la croissance et longévité du thon rouge.

3.5 Structure de la population et mélange des stocks: microchimie des otolithes, génétique, marquage, tableaux clefs stock-âge

Examen de l'état des connaissances

3.5.1 Population de la Méditerranée

Les données de marquage et des pêcheries étayent l'idée de composantes migratoires et résidentes en Méditerranée. Le groupe migratoire semble provenir principalement de la reproduction des portions occidentales et centrales de la Méditerranée. Les géniteurs de la Méditerranée orientale constituent probablement une sous-population distincte qui pourrait avoir des liens avec la population historique de la Mer Noire.

3.5.1.1 Composante migratoire

Jeunes migrants

Certains juvéniles d'âge 0 et 1 quittent la Méditerranée occidentale (Baléares par exemple) et utilisent les eaux du Maroc en hiver et se déplacent vers les zones de nourricerie de l'Atlantique nord (Golfe de Gascogne par exemple) en été.

Sur la base de conditions océanographiques, environnementales et de production similaires, les eaux littorales du Maroc et de l'Atlantique nord-est constituent des habitats équivalents pour les juvéniles d'âge 0 et 1 qui recherchent de la nourriture.

Vieux migrants

A partir de l'âge 2, une fraction mineure de juvéniles migratoires pénètre dans les unités de gestion du stock de l'ouest mais la fraction dominante occupe l'Atlantique nord-est (Rooker *et al.* 2008; Busawon *et al.* 2013) et données récentes obtenues dans le cadre du GBYP).

Les adultes (âge 4+) sont interceptés lors de migrations de reproduction de l'Atlantique nord vers la Méditerranée par les pêcheries historiques de madragues. Le cycle de pénétration saisonnière très marqué (avril à mai) et de départ (fin juin-juillet) de la Méditerranée est observé dans les données historiques des madragues et correspond à la période de reproduction connue. Les données des madragues montrent aussi de forts cycles de l'abondance à une échelle décennale et centennale (Ravier et Fromentin 2001).

Le marquage électronique étaye l'hypothèse de migrations reproductrices en Méditerranée en provenance de régions de l'Atlantique nord. Les adultes de ce groupe migratoire occupent surtout la Méditerranée occidentale, sans doute à des fins de frai. Le marquage électronique ne montre que peu de preuve de cette composante migratoire dans la Méditerranée orientale.

Les données historiques (hameçons norvégiens) indiquent une influence de la composante migratoire de l'Atlantique nord dans les zones de ponte de la Méditerranée occidentale et centrale (Sella 1929; Genovese 1959). Les marques naturelles (morçures de squallets féroces) vont également dans le sens de cette influence dans cette région de la composante migratoire.

Portée

La composante migratoire est présente dans les eaux de l'Atlantique nord, du Canada et des Etats-Unis. Il n'y a pas d'élément de preuve de la présence de cette composante dans le Golfe du Mexique. L'analyse historique suggère que la composante brésilienne n'a pas été mise en relation avec la population de la Méditerranée (Fromentin *et al.* document soumis).

3.5.1.2 Composante de résidents

Résidence au sein de la Méditerranée

La génétique et le marquage électronique étayaient l'hypothèse de deux composantes dominantes de résidents dans la région occidentale-centrale et est de la Méditerranée mais le retour vers les frayères natales (ou « homing ») ou la fidélité à certaines zones de ponte restent non documentés.

Le comportement de résidence du thon rouge de la Méditerranée est étayé par son influence dans les petites pêcheries, telles que la pêcherie de ligne à main tout au long de l'année (Di Natale *et al.*, 2005).

Le marquage électronique suggère un homing saisonnier vers les zones trophiques, ce qui pourrait sous-tendre une résidence à vie en Méditerranée.

Sous-populations au sein de la Méditerranée

Le fait que la structure de sous-populations dépende de la résidence en Méditerranée demeure inconnu.

La taille des géniteurs et les dates de frai varient entre la Méditerranée occidentale, centrale et de l'est mais ne montrent pas de séparation cohérente avec une différenciation de sous-populations. La taille des géniteurs est souvent mélangée dans la même concentration de reproduction.

Les juvéniles d'âge 0 et 1 se répartissent dans toute la Méditerranée mais présentent une répartition fragmentée. La plus grande zone de concentration de juvéniles d'âge 0 se trouve dans la Méditerranée centrale, de plus petites concentrations se produisent en Méditerranée orientale et occidentale. Les concentrations d'âge 0 semblent être individuelles, d'après la génétique et la chimie des otolithes (Rooker *et al.* 2003).

Hypothèses spécifiques aux composantes de résidents de la Méditerranée

Les juvéniles présentent des gammes spatiales individuelles en Méditerranée, ce qui pourrait sous-tendre une possible structure de la population.

La Méditerranée orientale pourrait être le centre de l'habitat de frai de la population historique de la Mer Noire. La recolonisation de la Mer Noire pourrait dépendre des thons rouges provenant de la Méditerranée orientale.

La Mer Noire pourrait faire l'objet d'une reproduction et d'une sous-population distincte (Mather *et al.* 1995). Des adultes ont été capturés au cours de la dernière partie de la saison du frai dans la Mer Noire et la Mer

d'Azov (McKenzie et Patrizio 2012) mais les conditions pourraient être trop froides aux fins de la survie des œufs et des larves.

3.5.2 Population du Golfe du Mexique

Des éléments de preuve de l'existence d'une population occidentale de thon rouge de l'Atlantique distincte incluent l'influence des larves, une structure de taille qui indique un âge à la maturité très différent de celui de la population de la Méditerranée et le marquage conventionnel (Fromentin et Powers 2005). Le marquage électronique, la microchimie des otolithes, les études des traceurs naturels et la génétique étayent fortement la prémisse d'une population de l'Atlantique ouest qui est distincte de celle de la Méditerranée (Carlsson et al 2007; Boustany et al 2008; Rooker *et al.* 2008). Cependant, tout comme la population de la Méditerranée, la population du Golfe du Mexique pourrait inclure des composantes différentes avec des comportements uniques de reproduction et de migration.

3.5.2.1 Séparation de la population de la Méditerranée

Les marqueurs naturels, la génétique et la structure différente de la taille des géniteurs concordent avec l'idée de populations de reproducteurs différentes entre le Golfe du Mexique et la Méditerranée. Les géniteurs de la Méditerranée et du Golfe du Mexique présentent de très forts niveaux de « homing » naturel (>90%) à ces vastes centres d'origine (Rooker *et al.* 2013; Secor *et al.* 2013a).

Les données de marquage et des pêcheries étayent la prémisse que le Golfe du Mexique est un habitat de reproduction unique. Les marques PSAT montrent une occupation individuelle de ~2 mois, avec la présence de thons rouges de novembre à juin. L'apparition de certains poissons au début de l'hiver pourrait donner à penser à une saison du frai prolongée ou à une composante migratoire distincte (par exemple contingents du Golfe du Mexique de l'est par opposition à celui de l'ouest). Les registres de captures indiquent aussi une influence du thon rouge de l'Atlantique pendant les mois d'hiver.

L'importance d'une saison de reproduction précoce devrait faire l'objet de recherches par le biais de prospections larvaires et de modélisation d'adaptabilité de l'habitat.

Aucun adulte porteur de marque électronique n'a pénétré dans les deux zones : à la fois le Golfe du Mexique et la Méditerranée.

3.5.2.2 Sous-populations distinctes

Les prises de thon rouge récemment documentées dans le sud-ouest du Golfe du Mexique incluent une plus forte proportion de petits poissons (110-180 cm CFL) que celles observées dans le nord du Golfe du Mexique (Ramirez et Abad 2013). De nouvelles études sont requises mais ceci pourrait donner à penser à une composante avec une unique migration et / ou des comportements de reproduction différents.

3.5.2.3 Gamme

Dans le cadre des efforts visant à documenter les déplacements des poissons provenant du Golfe du Mexique, des spécimens ont été attribués à la population du Golfe du Mexique, selon s'ils avaient été marqués dans le Golfe du Mexique ou s'ils avaient pénétré dernièrement le Golfe du Mexique après avoir été marqués ailleurs (Block *et al.* 2005; Walli *et al.* 2009). Ces poissons se sont déplacés dans l'Atlantique nord-ouest, centre et nord-est. La destination prédominante pour les poissons du Golfe du Mexique était l'Atlantique nord-ouest. Quelques poissons de l'Atlantique nord-ouest (Canada) montraient un déplacement saisonnier vers l'Atlantique nord-est.

L'analyse historique des données palangrières et océanographiques suggère que certains contingents de poissons pourraient avoir migré entre le Golfe du Mexique et le Brésil et auraient disparu par la suite en raison du changement océanographique et d'une possible surpêche (Fromentin *et al.*, document soumis).

3.5.3 Autres structures de population

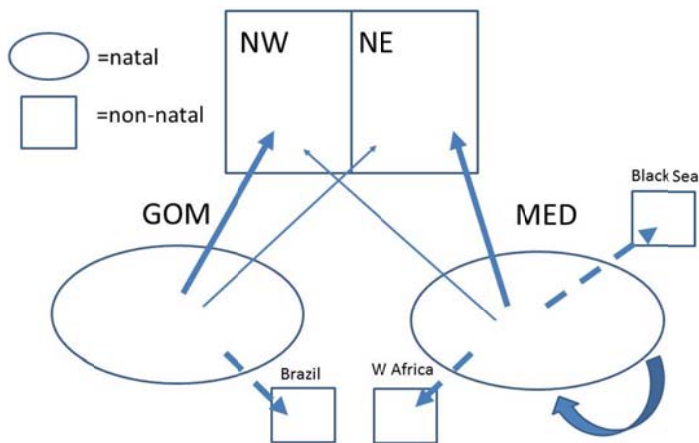
Le thon rouge du Pacifique présente une structure de population intéressante qui pourrait être envisagée comme structure de population alternative pour les populations du Golfe du Mexique et de la Méditerranée. Le thon rouge du Pacifique fraye sous plusieurs latitudes (du Taïpei chinois à la Mer du Japon), les petits géniteurs montrant une propension croissante à utiliser la Mer du Japon et les plus grands utilisant davantage les zones de

ponte plus au sud (Itoh 2006). Il a été suggéré qu'une structure similaire pourrait être appliquée dans l'Atlantique ouest.

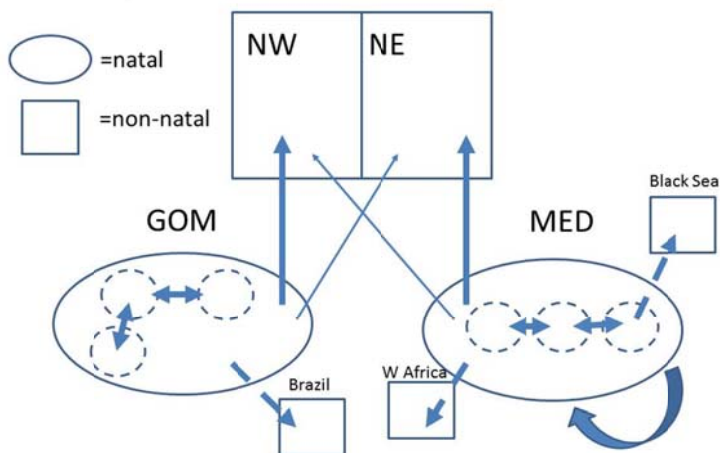
Concepts de la structure de la population– Diagrammes

Les scientifiques ont proposé toute une gamme de structures de la population pour le thon rouge de l'Atlantique. Les diagrammes ci-après représentent des structures de population qui dépendent d'entités se reproduisant elles-mêmes (populations et sous-populations) et de groupes ayant des comportements migratoires similaires du cycle vital, ce qui ne dépend pas forcément d'un isolement de la reproduction (contingents). Ces structures de populations ne sont pas exhaustives : par exemple, on pourrait concevoir des combinaisons de sous-populations et de contingents au sein de la même structure. Ceci vise à créer des structures de populations principales et de les confronter aux données existantes.

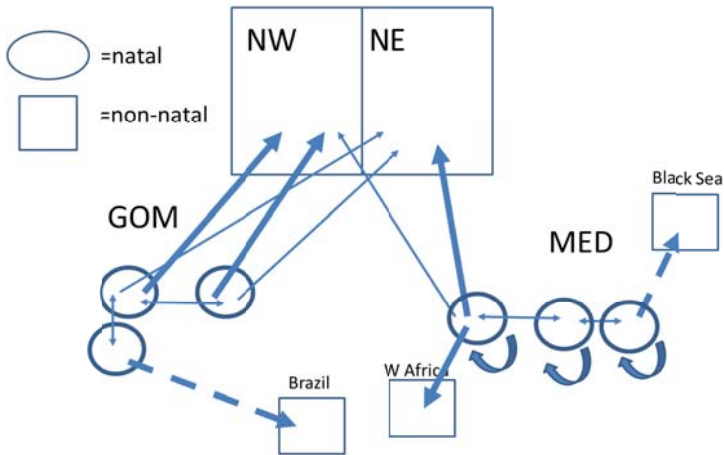
Two Population Model with No Sub-populations



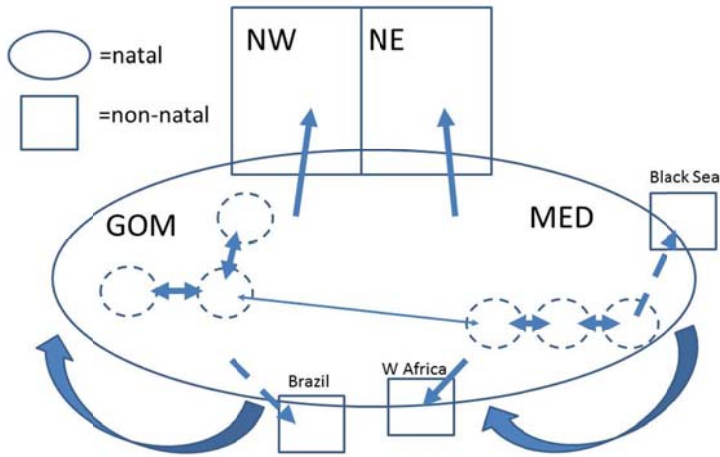
Two Population Model with Contingents



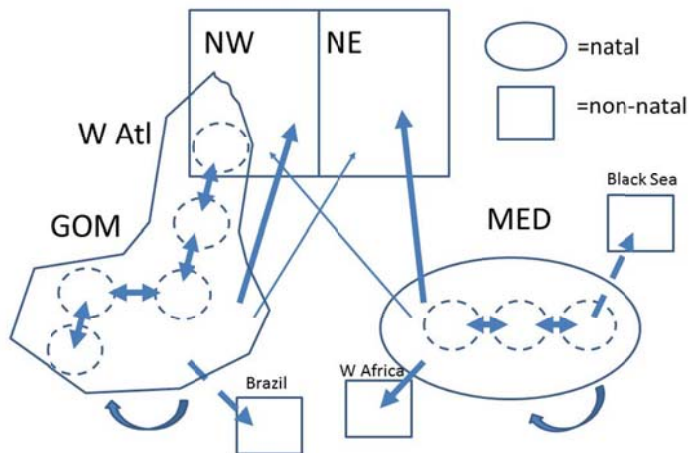
Metapopulation Model



Panmictic Population with Some Patchiness



Extended W. Atl. Two Population Model w Contingents



Approches d'évaluation de la structure de la population

Les approches qui traitent de la structure de la population incluent des marqueurs moléculaires, la microchimie des otolithes, des contaminants, des marques « naturelles » et électroniques. Les déplacements et le mélange des stocks sont plus précisément évalués par le biais des données de marquage mais les marques naturelles peuvent également comporter des informations sur les déplacements régionaux. Les traceurs de la structure de la population, essentiellement des approches génétiques et de la chimie des otolithes, varient considérablement en fonction du mode de représentation de la structure spatiale historique de la population.

Approches moléculaires

Ces 15 dernières années, plusieurs techniques moléculaires ont été exploitées afin d'élucider une description plus précise de la structure de population et de la dynamique du thon rouge conformes aux résultats développés par les campagnes de marquage électronique et des connaissances écologiques traditionnelles. La sophistication et la résolution de ces techniques évoluent et les résultats récents montrent un grand potentiel d'éclaircissement de cette question évasive qui a des conséquences sur la gestion de cette espèce (**Tableau 14**).

La preuve la plus lointaine de la différenciation entre les populations de l'Atlantique et de la Méditerranée provient d'Alvarado Bremer *et al.* (1999), qui a procédé au génotypage du thon rouge de l'Atlantique à l'aide de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial (mtDNA CR), même si l'efficacité de ce marqueur a été remise en question lorsqu'une étude ultérieure n'a pas été en mesure de différencier des échantillons collectés de plusieurs années (Ely *et al.* 2002). Des études ultérieures utilisant une analyse des allozymes ne sont pas parvenues à établir une distinction entre les populations (Ely *et al.* 2002; Pujolar 2003). La différenciation des populations au sein de la Méditerranée a tout d'abord été révélée à l'aide des marqueurs moléculaires en 2004, lorsque Carlsson *et al.* ont procédé au génotypage d'une collecte de jeunes de l'année de thons rouges de l'Atlantique à l'aide de mtDNA CR et de microsatellites. Depuis, plusieurs études ont appuyé la thèse d'une différenciation de la population du Golfe du Mexique et de la Méditerranée (Carlsson *et al.* 2005; Boustany *et al.* 2008) ainsi qu'au sein de la Méditerranée (Carlsson *et al.* 2005; Riccioni *et al.* 2010), même avec de faibles valeurs de FST par rapport aux autres espèces marines (Waples 1998). En revanche, d'autres études n'ont pas réussi à révéler la même structure de la population en utilisant les mêmes techniques moléculaires (Alvarado Bremer *et al.* 2005; Viñas *et al.* 2011). Albaina *et al.* (2013) est le premier à avoir caractérisé la structure de la population entre l'Atlantique ouest et l'Atlantique est/Méditerranée en utilisant le polymorphisme du nucléotide simple (SNP), marqueur relativement récent avec un grand potentiel d'efficacité, d'accessibilité et de capacité. Les 17 SNP utilisés dans cette étude donnent les éléments de preuves les plus importants de la différenciation des populations jusqu'à ce jour. Toutefois, compte tenu du nombre limité d'échantillons utilisés dans cette étude, il est nécessaire que son potentiel d'attribution des populations soit suffisamment validé avant de réaliser des applications à grande échelle. (Cf. Appendice X pour plus de détails sur toutes les analyses génétiques précédentes du thon rouge de l'Atlantique).

A l'heure actuelle, dans le cadre du projet ICCAT-GBYP un ensemble de SNP est en cours de développement via une représentation réduite du séquençage et du génotypage (RRSG), technologie de séquençage de nouvelle génération (NGS). L'objectif ultime de cette recherche vise à résoudre la structure de la population de thon rouge de l'Atlantique et à développer un ensemble de SNP, à même de donner lieu à une attribution de la population pouvant être utilisée par les diverses parties qualifiées de l'ICCAT. Ceci pourra avoir une applicabilité directe sur les évaluations des stocks et une traçabilité commerciale. A l'avenir, des SNP individuels pourraient être attribués aux gènes associés aux pressions de sélection, soulignant ainsi les différences de fonctionnement entre les populations ou les contingents de thon rouge de l'Atlantique. Par conséquent, les SNP issus de ce projet pourraient également révéler des informations concernant l'influence de facteurs environnementaux sur la survie des recrues au sein de la même population.

Les analyses préliminaires des données réalisées lors la Phase 3 du GBYP sur un total de 555 spécimens de thon rouge de l'Atlantique, dirigées essentiellement sur des échantillons larvaires et de jeunes de l'année issus de zones de ponte, n'ont révélé qu'un nombre limité de SNP très performants pour l'identification et la différenciation de trois populations, au moins, de thons rouges de l'Atlantique en état de frai (GOM, WMED, EMED), qui sont génétiquement regroupées et temporairement stables. Les travaux génétiques réalisés actuellement dans le cadre du GBYP se concentrent sur l'analyse de 1.332 échantillons provenant de toute la gamme de l'espèce déjà séquencée ainsi que sur la validation d'un ensemble réduit de SNP (48-192 plex). En raison de la complexité et de la quantité de données génomiques générées par RRSG et obtenues pour le thon rouge de l'Atlantique (données génomiques insuffisantes avec des poissons qui ne s'ajustent pas au modèle du fait qu'ils présentent une écologie et une biologie complexes et partiellement non résolues). Diverses analyses

supplémentaires sont requises pour perfectionner la sélection/validation des SNP à des fins de traçabilité et de gestion, et fournir des conclusions scientifiques solides visant à appuyer les mesures de gestion de l'ICCAT sur le thon rouge de l'Atlantique dans un proche avenir. Dans le cadre du GBYP, les résultats des analyses de la structure de population et du génotypage de l'ensemble des SNP sont attendus pour 2013 et 2014. Il est donc raisonnable de prévoir que les données développées au cours de ce projet exhaustif et à grande échelle seront disponibles pour les activités d'évaluation du stock de 2015.

Isotopes stables des otolithes

Les traceurs des isotopes stables des otolithes représentent l'environnement physique rencontré par les jeunes thons rouges. Des différences stables surviennent dans les isotopes mesurés entre les principales nourriceries de thon rouge de l'Atlantique, différences reflétées dans les échantillons de juvéniles prélevés durant plus de 10 ans (Secor *et al.* 2013 b,c). Les lignes de référence (limites) établies pour les échantillons originaires de chaque zone de nourricerie présentent un chevauchement mais sont suffisamment distinctes pour permettre d'assigner les échantillons inconnus à des nourriceries (zones natales). Un postulat important est que les juvéniles n'entreprennent pas de migrations transocéaniques au cours de leur première année de vie. Cette approche a été développée dans plusieurs documents ayant fait l'objet d'examen par des pairs et à travers la formation réciproque de scientifiques dans des laboratoires de l'Union européenne, du Canada et des Etats-Unis, ce qui permet actuellement que le traitement intensif des otolithes étaye l'analyse de la structure du stock. Cette approche nécessite davantage de travail (retrait et traitement des otolithes) et plus de coûts analytiques par échantillon que les approches moléculaires, telles que l'utilisation de SNP, mais elle se trouve actuellement en phase d'application. On prévoit qu'avant l'évaluation de 2015, les estimations du niveau de mélange basées sur des isotopes seront disponibles pour les principales pêcheries de thon rouge de l'Atlantique sur la base de l'analyse de >4.000 otolithes (cf. **Tableau 15**).

Marques polluantes

Les marques polluantes fonctionnent comme une « marque de régime » comportant des informations sur l'historique de croissance et le comportement trophique récent. Des ratios d'organochlorés (trans-nonachlore/PCB 153, cis-nonachlore/PCB 187; Dickhut *et al.*, 2009) sont un moyen particulièrement efficace d'utiliser les différences régionales dans les sources de polluants pour évaluer les déplacements mais cette approche implique l'établissement de distributions de référence régionale. Des différences particulièrement importantes existent entre les ratios d'organochlorés de l'Atlantique nord-ouest et de la Méditerranée pour pouvoir détecter des migrants récents entre ces deux régions. En ce qui concerne les juvéniles, les déplacements ou l'absence de déplacement des poissons (résidence) sont conformes aux attentes de migrations transocéaniques par les poissons d'âge 2-3 (Dickhut *et al.*, 2009). D'un point de vue opérationnel, il s'agit de l'approche la plus onéreuse parmi toutes celles étudiées mais elle fournit des informations capitales liées à l'historique migratoire récent ($\sim \leq 1$ an). A l'heure actuelle, cette approche peut fournir une corroboration critique des résultats d'autres approches telles que la génétique ou l'analyse des otolithes au moyen d'isotopes stables. Les futurs travaux pourraient permettre d'appliquer des ratios d'organochlorés aux déplacements spécifiques de l'âge entre de vastes régions océaniques même si des signaux régionaux sont vraisemblablement causés par le climat saisonnier, interannuel et les conditions océanographiques.

Marques électroniques

Les technologies de marquage électronique (par exemple, marques archives, marques acoustiques et marques satellite) ont été utilisées dans de nombreuses études (Lutcavage *et al.* 1999, Block *et al.* 2001, Block *et al.* 2005, Teo *et al.* 2005, De Metrio *et al.* 2005, Boustany *et al.* 2008, Walli *et al.* 2009, Stokesbury *et al.* 2007, 2001, Wilson *et al.* 2005, Wilson *et al.* 2009, Lawson *et al.* 2010, Galuardi *et al.* 2010, Fromentin 2010, Galuardi *et al.* 2012) dans l'Atlantique est et ouest, le Golfe du Mexique et la Méditerranée pour étudier la dynamique spatio-temporelle du thon rouge (Fromentin et Powers, 2005). Nombre de ces conclusions ont été enrichies par l'intégration d'analyses génétiques (Boustany *et al.*, 2008), la microchimie des otolithes (Rooker *et al.* 2008), et les données des pêcheries (Diaz *et al.* 2006) pour déduire la structure de la population et procéder au développement de modèles d'évaluation des stocks structurés spatialement (Taylor *et al.* 2011). Le marquage électronique à l'aide de marques archives a révélé des migrations répétées aux habitats de frai dans le Golfe du Mexique et en Méditerranée, ce qui indique une fidélité à la zone de reproduction (Block *et al.* 2005) et des migrations individuelles vers ces deux régions n'ont pas été observées. Les données de marquage étayent l'hypothèse d'une structure de population multiple dans l'Atlantique et ses mers adjacentes avec des populations reproductrices distinctes en Méditerranée et dans le Golfe du Mexique. Les données génétiques de poissons porteurs de marques étayent également l'hypothèse d'une population multiple (cf. Approches moléculaires ci-

dessus). Des données de marquage supplémentaires élucideront davantage la « frontière » entre ces populations. Les récentes données de marquage en Méditerranée, présentées depuis 2009 et au cours de cette réunion par G. Quilez-Badia *et al.* et JM Fromentin, indiquent un fort niveau de résidence dans le bassin occidental avec certains déplacements au bassin central (cf. également Medina *et al.* 2011; Tudela *et al.* 2010; Fromentin 2010, Quilez-Badia *et al.* 2013), mais aucune connexion vers le bassin oriental n'a été détectée (jusqu'à ce jour à partir des données de suivi). Des déplacements inattendus dans l'Atlantique centre-est au cours de la saison du frai ont aussi été détectés par les activités de marquage du GBYP (Quilez-Badia *et al.* 2013). Le déploiement de marques additionnelles dans des régions spécifiques au sein du Golfe du Mexique (zones NE, NW, SW) améliorera les connaissances sur les déplacements et comportements du thon rouge dans le Golfe et renforcera la recherche génétique en cours pour élucider la structure de la population.

4. Incorporation des données recueillies et/ou récupérées dans la base de données de l'ICCAT

La procédure à suivre pour inclure les nouvelles informations disponibles sur les statistiques de pêche dans les bases de données de l'ICCAT est décrite au point 2.1.

5. Recommandations

Recommandations de recherche

Données biologiques et de Tâche II

- Le Groupe a recommandé de vérifier et valider toutes les données provenant des fermes, tel qu'indiqué dans le rapport, et d'inclure ces données dans la prise par taille du thon rouge de la Méditerranée afin que cette considérable source d'informations puisse être utilisée dans l'évaluation de stock de 2015.
- Le Groupe a recommandé de poursuivre les analyses des données de VMS pour obtenir de meilleures estimations des variations spatio-temporelles de l'effort de pêche des principales flottilles ainsi qu'un indice d'abondance de la flottille de senneurs de la Méditerranée par une modélisation état-espace. A cet effet, le Groupe a recommandé également que les données de VMS soient transmises à la résolution temporelle la plus élevée possible (1 heure ou moins).

Conversions des tailles

- Le Groupe a recommandé d'utiliser des algorithmes de conversion de taille actualisés, basés sur les jeux de données plus récents et exhaustifs, pour l'évaluation du stock de 2015.

Conversions des âges : Recommandations pour les travaux à venir

- Le Groupe a noté qu'il existe des problèmes continus pour l'obtention d'échantillons de structures calcifiées, notamment d'otolithes sur certains marchés, face à une certaine résistance à endommager physiquement le poisson précieux au cours du processus d'échantillonnage. Une méthode pour contourner ce problème consiste à lancer une campagne de sensibilisation auprès des acheteurs et des personnes procédant au traitement, visant à promouvoir le concept qu'un poisson échantillonné contribue aux efforts scientifiques et de conservation. Un programme de ce type a été lancé pour le thon rouge du sud et s'est avéré fructueux (Anon. 2002). Le Groupe a également constaté qu'après avoir étudié les tailles minimales d'échantillon requises pour l'élaboration de clefs d'identification taille-âge, le SCRS devrait envisager de demander à la Commission d'inclure des niveaux d'échantillonnage minimum pour les pièces dures dans la prochaine recommandation de gestion qui sera adoptée.
- Le Groupe a discuté de l'importance des collectes des pièces dures de référence. Ces collectes pourraient être un outil inestimable à des fins de formation et de contrôle de la qualité et sont régulièrement utilisées par les laboratoires procédant à la détermination de l'âge (Jerald 1983, Kimura et Anderl 2005, Campana 2001). Il a été fait remarquer que d'autres instituts avaient manifesté leur intention de contribuer à la détermination de l'âge mais qu'ils souhaitent s'assurer que leurs interprétations étaient conformes à celles développées par les scientifiques du SCRS. Le Groupe a recommandé que soit organisée une collecte de référence commune pour aider les instituts dans ces efforts.

- Le Groupe a recommandé le développement de conventions pour réaliser la détermination de l'âge. Les exemples incluent le nombre d'âges impliqués dans les interprétations, les postulats sur la date de naissance, l'utilisation d'âges fractionnaires basés sur des âges par mois ou des âges multiples, l'utilisation de seuils de précision pour l'exclusion des interprétations.
- Etant donné que les otolithes et les épines constituent des informations utiles pour les interprétations de l'âge, le SCRS pourrait développer une approche d'attribution de l'âge en utilisant les otolithes et les épines, en pondérant possiblement la contribution de ces deux pièces dures à la variance de l'âge moyen par taille, ou la confiance relative des lecteurs envers la détermination de l'âge.
- Avant l'évaluation de 2015, une compilation des pièces dures et des déterminations des âges disponibles (**Tableau 12**) devrait être diffusée auprès des laboratoires participant aux études sur l'âge et la croissance aux fins d'examen et actualisation. Une version complète de ce tableau serait une aide précieuse pour la planification des efforts d'échantillonnage.
- Compte tenu de la volonté du SCRS de développer des approches d'évaluation s'appuyant davantage sur des informations structurées par âge, des investissements prolongés en matière d'échantillonnage biologique et d'âge et de croissance restent une haute priorité.
- Il est recommandé de développer des méthodes visant à séparer les poissons de l'est de la prise par âge des poissons de l'ouest.
- Le Groupe a recommandé de nouvelles analyses des données de marquage-recapture pour l'estimation de la croissance et de la variabilité de la croissance entre les spécimens et dans le temps.
- En vue de la prochaine évaluation de stock, le Groupe a recommandé une analyse des variations entre les clefs d'identification longueur-âge combinées sur plusieurs années pour intégrer les classes de tailles sous-représentées (en particulier les plus grands poissons) et les clefs d'identification longueur-âge annuelles (qui détectent mieux les variations de la force de la classe d'âge).
- Afin de mieux comprendre les biais potentiels et l'incertitude associée à la prise par âge utilisée dans l'évaluation du stock, le Groupe a recommandé de nouvelles analyses sur la méthodologie employée pour calculer la prise par âge. Il est suggéré de faire appel à une approche de simulation incluant le processus d'échantillonnage et une gamme de méthodes alternatives pour convertir la prise par taille en prise par âge. Cette approche de simulation peut être intégrée à l'approche de MSE à l'avenir (par exemple, en tant que modèle d'erreur d'observation) et permettrait de mieux identifier et classer les différentes sources d'incertitude (échantillonnage par opposition à modélisation) par rapport à l'avis de gestion. Elle permettra également de spécifier les processus des modèles statistiques de prise par âge.

Reproduction

- Le Groupe a recommandé de réviser les calendriers de maturité actuellement postulés pour l'évaluation du stock aussi bien pour le stock de l'est que de l'ouest, à l'aide d'ogives de reproduction, et de déterminer une ogive de maturité exhaustive pour l'Atlantique ouest.
- Le Groupe a recommandé de réaliser un échantillonnage afin d'obtenir des échantillons de reproduction (e.g., histologie, GSI, FSI, etc.) et des prospections larvaires pour le thon rouge de l'Atlantique ouest dans toute sa gamme, surtout dans des zones qui ne sont pas très bien échantillonnées, comme l'Atlantique pélagique (c'est-à-dire les régions palangrières), de la fin février jusqu'en juillet afin d'examiner si la reproduction du thon rouge se produit dans l'Atlantique en dehors du Golfe du Mexique.
- Le Groupe a recommandé d'examiner l'utilité d'employer les données d'autres programmes de prospection larvaire (par exemple, MARMAP) pour tester la présence de larves de thon rouge en dehors des zones de pontes actuellement identifiées.
- Le Groupe a recommandé de convenir d'un jeu de techniques standard histologiques et endocrines à utiliser simultanément pour les deux stocks pour faciliter la comparaison des calendriers de maturité des deux côtés de l'Atlantique et développer des méthodes (marqueurs histologiques par exemple) qui permettront d'identifier les activités de reproduction passées.

- Le Groupe a recommandé d'obtenir des échantillons de thon rouge de l'est en dehors de la Méditerranée au cours de la saison de reproduction pour réaliser des études de maturité et utiliser des approches de courbes de captures structurées par taille et des analyses de prise par taille pour étudier les calendriers de reproduction pour différentes pêcheries de la Méditerranée.
- Le Groupe a recommandé d'actualiser l'estimation réalisée par Diaz (2011) de la proportion de poissons en état de frai dans chaque classe d'âge dans le Golfe du Mexique en utilisant les données de la prise palangrière japonaise et mexicaine ainsi que la courbe de croissance du thon rouge de l'ouest réalisée par Restrepo *et al.* (2011).
- Le Groupe a recommandé de mener davantage d'études sur la fécondité pour confirmer si un rapport linéaire entre la fécondité et le poids est un postulat correct ou si de nouvelles fonctions devraient être adoptées aux fins d'utilisation dans les futures évaluations de stock. Il convient de s'assurer que le jeu de données de Medina *et al.* (2002, 2007) soit inclus dans cet effort.

Mortalité naturelle

- Le Groupe a recommandé d'utiliser d'autre vecteurs de mortalité naturelle pour le stock est et ouest pour l'évaluation du stock de 2015. Ce vecteur devrait être identique pour tous les stocks de thon rouge de l'Atlantique. De nouvelles recherches devraient être effectuées, en fonction des nouvelles données disponibles (telles que les données de marquage). Le vecteur M estimé dans la méthode de Lorenzen (1996) est recommandé comme étant la meilleure hypothèse de travail mais les estimations basées sur les hypothèses de Gislason *et al.* (2010) devraient aussi être prises en considération.
- Des recherches biologiques actives et explicites portant sur la mortalité naturelle du thon rouge devraient être recommandées et incluses, de préférence, dans le GBYP afin de mieux estimer la mortalité naturelle par âge du thon rouge (en analysant par exemple les données de marquage/recapture) ou d'étudier l'âgeage et la sénescence potentielle du thon rouge.

Structure et mélange de la population

- Etant donné qu'il se pourrait qu'il existe une structure de la population plus complexe que celle actuellement postulée, le Groupe a recommandé de commencer à tester les conséquences d'une telle structure sur l'avis scientifique à l'évaluation de stock de 2015.
- L'évaluation de stock de 2015 devrait être une étape essentielle pour le SCRS car l'on prévoit que de nouvelles informations capitales sur le mélange des stocks seront disponibles et que de nouvelles approches de modélisation incluant le mélange seront entreprises. Le Groupe a souligné les données qui seront disponibles des isotopes stables des otolithes et des molécules (**Tableaux 14 et 15**). Cependant, les efforts déployés pour réunir des informations similaires sur les marques électroniques et conventionnelles ont été bien plus complexes en raison du grand nombre de chercheurs concernés, du rôle prépondérant joué par les groupes académiques et les ONG et des divers objectifs de ces études. Pour mieux contribuer à ce processus et une fois que les exigences en matière de modélisation seront établies pour l'évaluation de 2015, le Groupe a recommandé de solliciter toutes les parties menant ce type de recherches sur le thon rouge de l'Atlantique pour obtenir les données du marquage électronique et conventionnel. Dans le cas du marquage électronique et pour éviter les préoccupations quant à savoir si ces données pourraient remettre en question les possibilités de publication, la requête devrait identifier l'inclusion des données suivantes requises:

- 1) date, localisation et taille de tous les spécimens marqués lors de l'étude
- 2) date, localisation et taille (ou âge) de tous les spécimens récupérés lors de l'étude
- 3) le cas échéant, durée du temps passé par carré de X par X degré
- 4) le cas échéant, stock d'origine, déduit par la génétique ou la microchimie des otolithes

6. Autres questions

6.1 Révision d'autres données disponibles (à savoir VMS)

Le système de VMS de l'ICCAT pour la flottille de thon rouge de l'est est totalement opérationnel depuis 2008. Une analyse préliminaire des données de VMS de 2010-2011 a conclu qu'il est possible d'estimer une

probabilité de l'effort de pêche effectif compte tenu de l'identification de l'engin-flottille principal par navire (SCRS/2012/125). L'analyse et examen des données de VMS indiquaient que compte tenu de l'engin principal, il existe des différences identifiables dans les variables de vitesse du navire, temps en mer et comportement de pêche général entre les flottilles de palangriers, de pêcheurs à la canne et hameçon et de senneurs. Ces variables peuvent être utilisées pour identifier les sorties de pêche et estimer l'effort de pêche effectif. Il a été recommandé de réaliser la validation à l'aide de données auxiliaires telles que les carnets de bord, ou les rapports des observateurs à bord. En outre, il a été recommandé, pour le thon rouge, de relier les opérations des navires individuels aux fichiers de documentation des captures de thon rouge (BCD) afin d'associer l'effort de pêche individuel à la prise associée et à la distribution par taille de la capture.

6.2 Proposition concernant le développement d'un modèle opérationnel aux fins de son utilisation dans l'évaluation des stratégies de gestion (MSE)

Le Comité de direction du GBYP (SC) a examiné à sa réunion de décembre 2012 un programme de travail pluriannuel, incluant des objectifs, des délais et des résultats à atteindre pour les travaux de modélisation. Dans le cadre de ce programme de travail, le SC a recommandé de mettre en place un groupe, au sein du SCRS, pour contribuer au développement d'un modèle opérationnel. Ce groupe devrait travailler avant cette réunion et présenter ses résultats à une réunion de trois jours du GBYP, devant se tenir à l'issue de cette réunion en vue de développer des spécifications pour le modèle opérationnel.

Pour diverses raisons, les travaux préparatoires n'ont pas été réalisés avant la réunion et la réunion de trois jours a donc été utilisée pour mener les travaux préparatoires. Par conséquent, les travaux sur la conception du modèle opérationnel seront donc réalisés avant la réunion du thon rouge du SCRS à Boston avec la participation des scientifiques du thon rouge du SCRS.

7. Adoption du rapport et clôture

Le rapport a été adopté.

Le Président a remercié les participants pour tous les travaux réalisés.

La réunion a été levée.

TABLEAUX

- Tableau 1.** Documents du SCRS concernant les données du GBYP (Inventory.xlsx, dans Sharepoint).
- Tableau 2.** Catalogue de données existantes sur le thon rouge de l'Atlantique Est dans les bases de données de l'ICCAT.
- Tableau 3.** Catalogue de données sur le thon rouge de l'Atlantique Est récupérées dans le cadre du GBYP (F: opération de pêche (capture uniquement); CE: prise et effort; S: taille; F + S : prise+ taille); CE + S : CE + taille.
- Tableau 4.** Catalogue de données existantes sur le thon rouge de la Méditerranée dans les bases de données de l'ICCAT.
- Tableau 5.** Catalogue de données sur le thon rouge de la Méditerranée récupérées dans le cadre du GBYP (F: opération de pêche (capture uniquement); CE: prise et effort; S: taille; F + S : prise+ taille); CE + S : CE + taille.
- Tableau 6.** Nombre d'opérations de pêche récupérées dans le cadre du GBYP par pavillon, engin et lieu de pêche.
- Tableau 7.** Nombre annuel de thon rouge mesuré à la mise à mort dans les fermes, poids total estimé de cet échantillon à la capture (en postulant une durée d'engraissement de 5 mois pour tous les thonidés) et poids moyen correspondant estimé à la capture.
- Tableau 8.** Données de longueur-poids pour l'Atlantique est.
- Tableau 9.** Données de longueur-poids pour l'Atlantique ouest.
- Tableau 10.** Exclusions des données.
- Tableau 11.** Estimations finales des paramètres pour les modèles de longueur-poids.
- Tableau 12.** Catalogue des pièces dures sur la période récente 2010-2013.
- Tableau 13.** Paramètres estimés du modèle de croissance de von Bertalanffy et comparaisons de la courbe de croissance. Test du ratio de vraisemblance, n. s.: non significatif, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.
- Tableau 14.** Résumé de l'approche génétique novatrice de l'ICCAT.
- Tableau 15.** Analyse complète ou en cours sur l'attribution de la population de thon rouge de l'Atlantique basée sur les isotopes stables des otolithes. Les périodes de collecte sont divisées entre période récente (2009-2014) et historique (<2008). L'estimation de l'âge indique la fraction de l'échantillon d'otolithe dont l'âge a été déterminé; yes=100% de l'échantillon a été utilisé aux fins des estimations de l'âge.

FIGURES

- Figure 1.** Fréquence annuelle de tailles de thon rouge échantillonnées à la mise à mort par les observateurs dans les fermes de 2003 à 2012 (SCRS/2013/083).
- Figure 2.** Tailles moyennes échantillonnées à la mise à mort et estimées aux dates de pêche, par rapport à la prise moyenne par taille utilisée par le SCRS, période 2003-2011.
- Figure 3.** Prise par taille moyenne échantillonnée par Arena de 1982 à 1989 (1560 thonidés échantillonnés) et dans les fermes de 2005 à 2011.
- Figure 4.** Résultats de l'application des valeurs de K de Fulton entre 1 et 2,8 ($K=100*wt(\text{grammes})/SFL^3$) au jeu de données d'observations de longueur-poids.
- Figure 5.** Graphique des données par sources après application du filtre K.
- Figure 6.** Analyse de PCA des estimations initiales des paramètres a et b de la relation longueur-poids indiquant que les différences spatiales tendent à être plus importantes que les différences temporelles.
- Figure 7.** Graphique des données de longueur-poids pour l'est par an et mois.
- Figure 8.** Données de longueur-poids pour l'est par mois et zone.
- Figure 9.** Estimations des paramètres initiaux par mois indiquant des différences dans la condition par mois. Les lignes du haut (lignes vertes) et du bas (lignes rouges) représentent 95 percentiles des estimations de MCMC pour les paramètres. La ligne bleue et les barres d'erreur représentent la médiane +/- 1 unité d'erreur standard. Ces estimations montrent l'existence de trois « saisons » potentiellement différentes.
- Figure 10.** Coefficients (+/- 1SE) pour l'effet zone du modèle initial (A) pour évaluer la condensation des zones homogènes dans les modèles.

Figure 11. Relations de longueur-poids estimées du modèle pour 3 saisons condensées présentant de très légères différences. Les estimations saisonnières correspondent au CI d'autres estimations du modèle.

Figure 12. Estimations des paramètres et examen des convergences pour les modèles finaux; a) Atlantique par le Modèle E, et b) Méditerranée par le Modèle F.

Figure 13. Modèles finaux de cette analyse superposés aux données brutes avec d'autres modèles de longueur-poids et poids moyen à la longueur du document de Arena (1980) et des relations de Rey et Cort.

Figure 14. Comparaison des modèles de longueur-poids pour le stock de thon rouge de l'Atlantique est et de la Méditerranée.

Figure 15. Comparaison de la proportion estimée à l'âge de thon rouge de l'Atlantique ouest en utilisant la routine de découpage des âges (carrés rouges) appliquée au modèle de base de la VPA et de la clef d'identification âge-longueur préliminaire (ALK) développée pour le GBYP (losanges bleus). Aux fins de cette comparaison, seuls les échantillons d'âge-longueur disponibles de l'Atlantique ouest ont été utilisés pour créer l'ALK.

Figure 16. Comparaison de la proportion estimée à l'âge de thon rouge de l'Atlantique ouest en utilisant la routine de découpage des âges (carrés rouges) appliquée au modèle de base de la VPA et de la clef d'identification âge-longueur préliminaire (ALK) développée pour le GBYP (losanges bleus). Aux fins de cette comparaison, tous les échantillons d'âge-longueur disponibles ont été combinés pour créer une unique ALK (cad E-ATL otolithes, E-ATL épines et W-ATL otolithes).

Figure 17. Comparaison de la prise par taille extrapolée aux échantillons d'otolithes. Le premier panneau montre la distribution de fréquences de tailles de la population, le second les nombres à chaque âge (représentés par les différentes couleurs) pour chaque groupe de tailles et le troisième les proportions à l'âge.

Figure 18. Comparaison de la prise par taille extrapolée aux échantillons d'épines. Le premier panneau montre la distribution de fréquences de tailles de la population, le second les nombres à chaque âge (représentés par les différentes couleurs) pour chaque groupe de tailles et le troisième les proportions à l'âge.

Figure 19. Nombres échantillonnés à chaque âge comme "courbe de croissance" pour les otolithes.

Figure 20. Nombres échantillonnés à chaque âge comme "courbe de croissance" pour les épines.

Figure 21. Comparaison des estimations des nombres à l'âge pour le "découpage des âges" en utilisant la clef d'identification âge-longueur sur la base des otolithes et des épines.

Figure 22. Mortalité naturelle actuellement postulée pour le thon rouge de l'Atlantique est et ouest.

Figure 23. Mortalité naturelle potentielle à l'âge qui pourrait être utilisée pour la future évaluation du stock de thon rouge de l'Atlantique: Mi du thon rouge du sud (MiEst), et Mi estimée par la méthode de Gislason 2010 (Gis) et Lorenzen 2000 (Lor) pour la courbe de croissance de Cort 1991 (Cort) et de Restrepo 2010 (VR), et par la méthode de Chen & Watanabe 1989.

APPENDICES

Appendice 1. Ordre du jour.

Appendice 2. Liste des participants.

Appendice 3. Liste des documents.

Appendice 4. Traitement et extrapolation des données sur les tailles de thonidés échantillonnés dans les fermes.

Appendice 5. Description des variables pour la création de jeux de données centraux.

Appendice 6. Exemple de champs des jeux de données centraux.