

## Estrutura ecológica de populações marinhas em Cabo Verde

Anibal MEDINA \*

**Resumo:** No meio ambiente marinho, a apreensão e assimilação das escalas de variação espacial e temporal constitui condição indispensável na compreensão da dinâmica e da estrutura de populações. Em sistemas de arquipélagos, estes processos são influenciados por interações múltiplas entre os factores físicos do meio como a batimetria, a topografia, a morfologia das ilhas, a extensão das plataformas insulares e a distância geográfica, associados à variações hidrodinâmicas de curta e média escala. Esta tese de doutoramento pretende definir e modelar o funcionamento ecológico do arquipélago de Cabo Verde em termos de estrutura e dinâmica de populações demersais. O trabalho considera as escalas de ilha, mês e estação do ano e analisa as principais variáveis que influenciam a variação espacial e temporal da distribuição e abundância das espécies. O objectivo estabelecido foi alcançado graças a uma abordagem metodológica que privilegia a interdisciplinaridade. Procura assim otimizar as vantagens e possibilidades técnicas oferecidas em diversas disciplinas relacionadas, directa ou indirectamente, com a Oceanografia, tais como a Biologia Haliêutica, a Geoestatística, a Ecologia Numérica, a Geometria Morfométrica e a Física. Numa primeira etapa, a partir de capturas comerciais de 18 espécies de peixes demersais, este trabalho põe em evidência a existência de uma estrutura ecológica ligada à distância geográfica e à batimetria, estes como os principais factores de isolamento físico entre as ilhas. Esta estrutura é relativamente menos marcante durante a estação fria, entre Dezembro e Abril, do que durante a estação quente, entre Maio e Novembro. Estes mesmos dados de pesca são em seguida utilizados para ilustrar a existência de uma estratégia de ocupação do espaço independente da densidade das populações demersais, dependendo essencialmente do espaço disponível, que assume assim natureza de factor limitante da dinâmica espacial em sistemas insulares oceânicos. Assim, as populações das ilhas de plataforma mais reduzida tendem em se distribuir no espaço segundo uma dinâmica espacial de densidade proporcional em relação à sua abundância. Contrariamente, aquelas das ilhas de plataformas relativamente largas, revelam uma variação diferencial da densidade, provavelmente relacionada com a heterogeneidade do ambiente local. Numa segunda etapa, esta tese descreve a estrutura fenotípica das populações de uma espécie de peixe demersal – a Garoupa (*Cephalopholis taeniops*) baseada em variações de forma do corpo. As variações fenotípicas inter-ilhas são manifestamente significativas e mais expressivas do que as variações intra-ilhas. Estas divergências morfológicas estão correlacionadas positivamente com o isolamento físico, corroborando assim a hipótese segundo a qual a fragmentação natural dos habitats no Arquipélago de Cabo Verde pode ser interpretada em termos de estrutura de populações marinhas. Finalmente, um padrão hidrodinâmico é descrito para o arquipélago, pondo em evidência estruturas de circulação turbilhonária assimétrica (ciclónica e anti-ciclónica) e correntes este-oeste e norte-sul, à jusante das ilhas. Estes padrões de circulação são influenciados pelo isolamento físico entre as ilhas segundo uma variação sazonal que coincide com a sazonalidade climática e determinam a conectividade hidrodinâmica entre as ilhas. O estudo destes processos põe em evidência mecanismos de conexão potencialmente importantes nas trocas de matéria entre ilhas e, conseqüentemente, na manutenção das populações ao nível d'ilha e arquipélago. As ilhas orientais são as mais vulneráveis e representam uma fonte de matéria biológica para as ilhas do norte e para as do sul. Um balanço « larvar » resultante da definição e implementação de um modelo de deriva Lagrangiana de partículas fornece importantes elementos de diagnóstico sobre a situação de certos stocks explorados e levanta um interessante debate sobre a eficiência das estratégias actuais e futuras de gestão e conservação dos recursos marinhos em Cabo Verde.

**Kew-words:** Arquipélago, Estrutura de população, análise multivariada, deriva larvar, peixes demersais

\* [anibal.medina@indp.gov.cv](mailto:anibal.medina@indp.gov.cv)

Instituto Nacional de Desenvolvimento das Pescas (INDP)

Departamento de Investigação Haliêutica e Aquacultura (DIHA), C.p 132, Mindelo S.Vicente, Cabo Verde

## Introdução

Les tendances actuelles dans la gestion des ressources naturelles favorisent une approche écosystémique qui tient compte d'une vision plus large, plus dynamique, mais aussi plus complexe de l'écosystème, par rapport à une vision compartimentée de ses différentes composantes, comme le propose la «théorie de la pêche» classique. Les deux approches souffrent toutefois des mêmes limitations, liées à la variabilité spatio-temporelle des multiples facteurs du milieu et de leurs interactions. Cependant l'avancement récent des connaissances sur l'écosystème et son fonctionnement, plus particulièrement des relations entre les organismes et l'environnement, incluant l'activité prédatrice de l'homme par la pêche, ouvrent des voies à l'adoption de politiques d'exploitation et de conservation des ressources mieux ajustées aux cycles naturels des espèces et à leur variabilité spatio-temporelle.

Dans une situation idéale de prise de décision, on viserait une approche de gestion qui s'intéresserait aux différentes échelles spatiales, locales et régionales, et aux différentes échelles temporelles, à court, moyen et long terme. On chercherait donc à préserver les composantes biotiques et abiotiques des écosystèmes. Cependant, souvent la méconnaissance de l'écosystème conduit à des scénarios où les approches durables sont freinées par des pratiques où l'on privilégie les bénéfices à court terme et à petite échelle, au détriment des avantages à long terme et à plus grande échelle.

En milieu marin, l'appréhension et la maîtrise des échelles de variation spatiale et temporelle représentent une condition indispensable à la compréhension de la dynamique et de la structure des

populations. Cette variabilité est présente dans toutes les phases du cycle de vie des individus (gamètes, œufs, larves, juvéniles et adultes) en raison de différents phénomènes: dérive, rétention, migration, advection et diffusion, induits et contrôlés par des facteurs biotiques et abiotiques. Parmi ces facteurs, la littérature scientifique, issue d'importants programmes internationaux de recherche océanographique, met en évidence le rôle de l'hydrodynamisme dans la variabilité des populations de poissons à travers des phénomènes de dérive et de rétention pendant la phase pélagique de développement (Werner *et al.* 1997; Van der Veer *et al.* 1998; Jager 2001; Shank & Halanych 2007) induits par des processus physiques dont le vent assume une importance déterminante (Nielsen *et al.* 1998). D'autres facteurs liés au comportement des individus dans l'occupation de l'habitat jouent un rôle important dans leur distribution spatiale à petite ou grande échelle, à court et à long terme (MacCall 1990; Fréon & Misund 1999).

La définition appropriée du concept de stock, du point de vue biologique ou du point de vue de la gestion, et l'estimation du degré d'échange entre les membres d'un stock demeurent encore un défi scientifique important pour les biologistes et les gestionnaires des pêches (Begg *et al.* 1999a). En effet, il n'est pas encore possible de cartographier directement l'étendue et la direction de la dispersion larvaire (Thresher 1999) ce qui rend particulièrement difficile leur rattachement à un stock donné ainsi que le suivi de leur recrutement. Pour ces raisons, il existe dans la littérature des nombreuses études portant sur l'identification des stocks, leurs dynamiques et leurs structures, basées sur une multitude de techniques et d'approches qui fait appel à plusieurs

disciplines dont la génétique, la biochimie, la chimie, la biométrie, la parasitologie et la science halieutique.

### **Structure des populations**

Du point de vue de la biodiversité, les populations marines tendent à se structurer et se distribuer dans l'espace en fonction des conditions favorables du milieu et cherchent à adapter leurs stratégies de développement – reproduction, croissance, dispersion, migration - aux cycles naturels de l'environnement. Ainsi, le succès dans l'occupation de l'espace se fera en fonction de la capacité des espèces à s'adapter par le biais d'un équilibre entre le coût de ces stratégies et leur valeur écologique. Cela se fait toujours dans une logique d'optimisation de l'utilisation des ressources du milieu de façon à augmenter la cohésion et la stabilité des communautés (Legendre & Legendre 1998). C'est ainsi que la distribution des espèces en fonction des régimes hydrologiques et des caractéristiques intrinsèques des populations conduit à des situations d'isolement écologique et génétique, plus ou moins accentué, dont le degré de stabilité des communautés est à la base de la diversité de structures des populations marines. Des patrons écologiques dans la distribution et l'abondance des espèces sont donc liés aux caractéristiques des habitats, aux mécanismes de dispersion, aux capacités de colonisation, aux flux géniques et au pool génétique (Sinclair 1988; Bailey 1997).

### **Unité génétique et unité de gestion**

La maîtrise de cette complexité écologique est fondamentale dans la compréhension de la dynamique des populations et dans la gestion des

pêcheries (Sinclair 1988; Bailey 1997; Booke 1999). La définition de stock comme unité de base de la gestion est un concept important qui est en évolution depuis de nombreuses années. Déjà en 1957, Marr (in Begg & Waldman 1999) faisait une différence entre stock et sous-population, en considérant celle-ci comme l'entité génétique la plus petite capable de s'autoalimenter. Le stock serait la population ou une portion de la population dont tous les membres sont caractérisés par des similarités non héritées induites par l'environnement, pouvant comprendre des membres de plusieurs sous-populations différentes. Cette définition traduit le point de vue de la gestion et se base plutôt sur la similarité des paramètres de production de la population comme les taux de natalité, de croissance et de mortalité (Chadwick 1990) et se réfère à un groupe arbitraire d'une certaine espèce, suffisamment grand pour s'autoreproduire, disponible pour l'exploitation dans une aire donnée (Laurec & Le Guen 1981; Milton & Shaklee 1987).

Du point de vue biologique, la population est l'unité génétique d'une espèce pourvue du même capital génétique, vivant dans une aire suffisamment restreinte pour que tous les membres soient capables de se rencontrer et se reproduire (Chadwick 1990; Bailey 1997). La notion ainsi retenue implique la mono-spécificité, mais elle est plus restrictive que celle d'espèce, de sous-espèce ou de race géographique, car l'écosystème considéré peut être choisi d'étendue plus réduite (Laurec & Le Guen 1981). Les sous-populations peuvent diverger génétiquement soit par mutation, soit par dérive génétique et sélection naturelle favorisant l'adaptation aux environnements locaux. Elles peuvent converger à travers des processus d'homogénéisation par flux géniques, mouvements de gamètes, d'individus ou de populations. Swain & Foote (1999)

présentent le stock comme étant une population locale adaptée à un environnement particulier et portant des différences génétiques par rapport à d'autres groupes en conséquence de cette adaptation. Ces auteurs introduisent ainsi la notion de stock génétique pour le distinguer d'un stock phénotypique, caractérisé par des différences entièrement induites par l'environnement. Cependant, selon les situations, les différents concepts peuvent représenter les mêmes entités. Malgré ces nombreuses définitions suivant des points de vue différents, actuellement, la prémisses principale qui supporte le concept moderne de stock est, en général, l'existence d'un marqueur génétique ou phénotypique qui se maintient dans le temps, sans trop de variation selon les différents outils d'identification (Booke 1999, Palsbøll *et al.* 2006).

### **Concept de métapopulation**

Une population naturelle occupant une aire suffisamment étendue peut être composée de plusieurs populations locales (Laurec & Le Guen 1981; Bailey 1997). On parle alors de métapopulation, une entité plus vaste ayant la population locale comme unité spatiale à l'intérieur de laquelle se produisent la plupart des interactions (Diadov 1998). Harrison (1991) considère essentiellement cinq types de métapopulations (Figure 1) selon les différents degrés de dépendance et d'interaction: A) métapopulation de Levins – les populations locales ont toutes la même taille et interagissent dans un habitat fragmenté sur l'aire de distribution; B) métapopulation centre-satellite – les habitats sont fragmentés à l'intérieur de l'aire de distribution, mais il y a seulement une population plus grande qui est la source des populations satellites; C) métapopulation fragmentée – les habitats sont continus le long de l'aire de

distribution des espèces, mais il y a une agrégation des populations locales; D) métapopulation non équilibrée – semblable au modèle de métapopulation de Levins, mais il n'y a pas de mouvement entre les populations locales; E) un modèle mixte entre métapopulation centre-satellite et métapopulation fragmentée.

Considérant cette complexité, le concept de structure géographique est fondamental dans la compréhension de la dynamique des populations. L'identification des stocks est une composante intégrante de leur évaluation pour la gestion des pêcheries et la protection des espèces menacées (Bailey 1997; Begg *et al.* 1999a; Begg & Waldman 1999; Shaklee *et al.* 1999). La plupart des méthodes d'évaluation des stocks modélisent la dynamique d'une population isolée et estiment que les paramètres de production sont homogènes (Laurec & Le Guen 1981; Brêthes 1990, 1992; Cadrin & Friedland 1999). Cependant, des résultats erronés peuvent se produire si le modèle est appliqué sur plusieurs populations isolées ou seulement sur une portion de la population, en assumant une seule population (Bailey 1997; Begg *et al.* 1999; Fréon & Misund 1999). Des erreurs dans la reconnaissance d'une structure de population d'espèces exploitées peuvent conduire à la surexploitation ou à l'extinction des populations moins productives. Aussi, pour des populations en phase de récupération, la non-identification de taux différentiels de production réduit les possibilités de pronostic du recrutement ce qui est un paramètre nécessaire à la définition des politiques de conservation et gestion (Ruzzante *et al.* 1999).

## L'archipel du Cap-Vert

L'archipel du Cap-Vert se trouve entre les parallèles 14° 50' et 17° 20' N et entre 22° 40' et 25° 30' de longitude W, à 620 km de la côte occidentale africaine, 2 500 km du Brésil et à 5 100 km du sud-ouest de la Grande-Bretagne. Composé par dix îles et cinq îlots principaux, tous d'origine volcanique, l'archipel s'intègre, avec ceux des Açores, de Madère et des Canaries dans la région biogéographique de la Macaronésie (Figure 2).

La formation géologique des îles est associée à l'évolution d'activités magmatiques insérée sur des formations sédimentaires pendant le tertiaire et le quaternaire. Sal, Boavista et Maio présentent une origine similaire et sont considérées les plus âgées de l'archipel, avec un relief plus doux, des grandes régions planes et quelques cônes volcaniques. Les autres îles semblent être plus récentes, ayant été formées à partir de successions volcaniques dans le quaternaire. Aux îles de Fogo et Brava, les plus récentes, il y a encore des manifestations volcaniques et sismiques fréquentes.

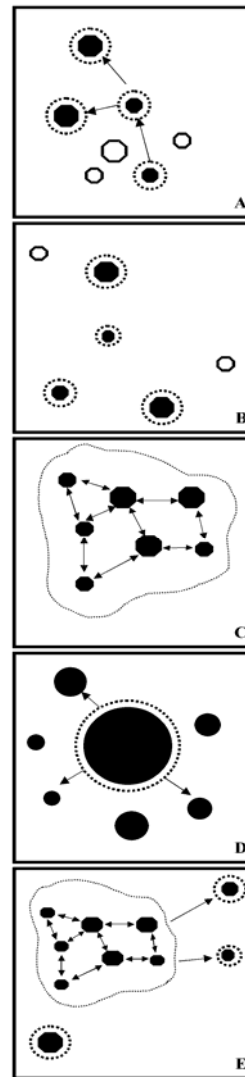


Figure 1. Différents types de metapopulations selon Harrison (1991) : A - metapopulation de Levins; B - metapopulation centre-satellite; C - metapopulation fragmentée; D - metapopulation non équilibrée; E - metapopulation mixte (modèle mixte entre B et C). Les flèches indiquent des migrations entre les populations. ○ - habitats inoccupés ; ● - habitats occupés

La géomorphologie côtière est très variée, avec une ligne de côte d'environ 1 020 km et une Zone Économique Exclusive (ZEE) de 734 265 km<sup>2</sup>. Les îles présentant plusieurs baies. Les distances entre elles

sont très variées, pouvant aller d'environ 6 km entre l'île de Brava et les îlots Grande à 270 km entre les îles de Santo Antão et Maio. La profondeur et l'étendue des plateaux insulaires sont aussi très variées. On peut passer d'une profondeur de 55 m entre l'île de Brava et les îlots Grande à plus de 3 990 m entre les îles de São Vicente et Fogo.

La surface du plateau diminue brusquement jusqu'à la profondeur de 200 m et la pente reste relativement faible jusqu'à 1 000 m (Bravo de Laguna 1985; Menezes *et al.* 2001). La cartographie des fonds marins de l'archipel montre d'importants pics sous-marins qui s'élèvent jusqu'à des profondeurs variant entre 660 m (sud-ouest de l'archipel) et très proche de la surface (Nova Holanda – nord-est de l'île de Sal), plus ou moins éloignés des îles et qui sont utilisés comme des bancs de pêche importants.

La position géographique des îles (l'axe majeur) par rapport aux vents et courants dominants varie de quasi parallèle (île de Sal) à quasi perpendiculaire (île de São Nicolau) ou incliné (îles de Santo Antão et Santiago). Cette caractéristique géomorphologique, associée à la forme générale des îles (quasi ronde – île de Boavista, Fogo et Brava; oblongue – îles de Santiago; rectangulaire – îles de Sal, Maio et Santo Antão; losange – île de São Vicente) et à la topographie des côtes contribuent à une hétérogénéité environnementale typique des systèmes insulaires. De plus la nature volcanique des îles induit une considérable variabilité des fonds marins entre essentiellement sableux (îles de Boavista et Maio), rocheux (îles de Santo Antão, São Nicolau, Santiago, Fogo et Brava) ou sableux-rocheux (îles de São Vicente, Santa Luzia et Sal), en relation avec différentes formations coralliennes et pics sous-marins.

L'archipel se trouve en pleine zone sahélienne sous la dominance des vents alizés du nord-est, entre les hautes pressions sub-tropicales de l'Atlantique et les basses pressions équatoriales du front inter-tropical. Un groupe d'îles, nommé localement "Barlavento" (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, Îlots Raso et Branco, São Nicolau, Sal et Boavista) est localisé du côté au vent et un autre groupe nommé "Sotavento" (Îles de Maio, Santiago, Fogo, Brava et Îlots Grande, de Cima et Luis Carneiro), est du côté sous le vent.

Le climat est de type tropical sec, caractérisé par une saison froide et sèche, de décembre en mars, une saison de transition, avril et mai, et une saison chaude et humide, de juillet à novembre. Les pluies sont torrentielles, irrégulières et se concentrent entre les mois d'août et septembre (60 % à 90 % de la précipitation annuelle totale) en fonction de la topographie et de l'altitude (De Brum Ferreira 1989). Ces variations temporelles se traduisent aussi dans les variations temporelles de l'activité de pêche au cours de l'année (Medina 1995).

Les îles et les eaux voisines se trouvent sous forte influence de la circulation océanique à grande échelle, sur le bord sud de la circulation anticyclonique subtropicale de l'Atlantique Nord (Courant Nord-Équatorial) et sur la limite nord du Contre-Courant Équatorial qui peut atteindre la latitude de 10° Nord (Lázaro *et al.* 2005). Ces deux systèmes de courants océaniques subissent des variations saisonnières qui affectent la circulation de la couche superficielle jusqu'à 200 m de profondeur, et leur frontière peut s'établir au niveau des îles pendant certaines périodes de l'année (Stramma & Siedler 1988; Stramma & Schott, 1999). L'archipel est sous l'influence des deux masses d'eaux centrales de l'Atlantique

Nord et Sud (NACW et SACW), la transition entre elles se faisant au sud du parallèle 20° N (Hernandez-Guerra *et al.* 2001).

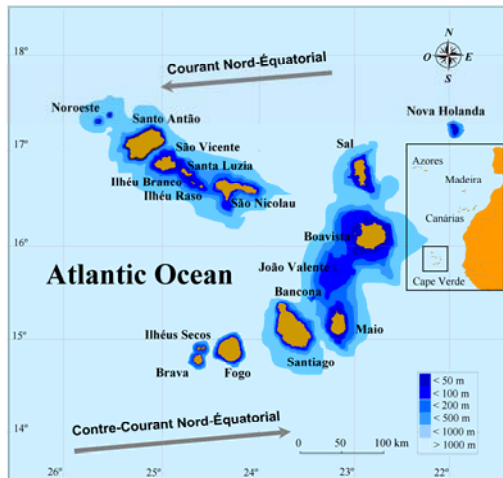


Figure 2. Carte de l'archipel du Cap-Vert et sa localisation dans la région biogéographique de la Macaronésie avec trois autres archipels (Azores, Madère et Canaries). Les flèches représentent les deux principaux systèmes de courants à grande échelle qui affectent l'archipel.

La température moyenne de l'air varie de 22°C à 27°C entre les saisons froides et chaudes respectivement. La température de la mer suit celle de l'air, avec une variation en période froide entre 21°C et 22°C et, en période chaude, entre 23°C et 27°C. La distribution des températures est caractérisée par une forte stratification dans les premiers 100 m. La couche de mélange de surface varie entre 25 et 40 m, avec des températures de 25 °C. À partir de cette couche s'établit la thermocline avec un gradient thermique d'environ 0,1°C/m sur 100 m de profondeur. À la base de cette thermocline, la température baisse à des valeurs de l'ordre de 15 à 16 °C. À partir de 100-150 m le gradient diminue considérablement et la température atteint des valeurs de 10 °C à 500 m et de 6 °C à 1 000 m (Marques *et al.* 1997).

### Problèmes de gestion et conservation des ressources halieutiques

Les ressources halieutiques sont très importantes pour le développement socio-économique du pays. Il est donc nécessaire de bien connaître la structure et la dynamique spatio-temporelle des populations marines ainsi que les processus et phénomènes océanographiques qui influencent cette structure.

Au cours des dernières années, des études menées par l'*Instituto Nacional de Desenvolvimento das Pescas* (INDP) montrent que certains stocks d'espèces démersales subissent des déclin accentués et à des rythmes différents selon des patrons spatio-temporels aussi différents (Dias 1992; Carvalho *et al.* 1999; Medina *et al.* 2002; Oddsson & Monteiro 1998, 1999). Les langoustes côtières se trouvent en situation de surexploitation, voire d'effondrement autour de certaines îles

(Santiago et Sal) ou encore en situation d'équilibre dans d'autres (Maio et Boavista). Ce diagnostic semble indépendant des distances entre les îles et des patrons d'effort de pêche car la tendance à l'effondrement des stocks persiste, depuis environ une quinzaine d'années, sans qu'il ait eu les rétablissements attendus à la suite d'une réduction ou d'une absence d'activité de pêche. Ce diagnostic est aussi valable pour les poissons démersaux dont les stocks se trouvent à des niveaux exploitables assez différents d'une île à l'autre depuis plus d'une dizaine d'années. On ne sait pas si cette situation est liée à des différences dans la dynamique des populations, à des rythmes différents d'exploitation, à des changements environnementaux ou à des effets combinés de plusieurs de ces facteurs.

À partir de plusieurs études sur l'état des pêcheries au Cap-Vert (Strømme *et al.* 1982; Magnússon & Magnússon 1987; Dias 1992; Carvalho 1994; Reis 1997; Oddsson & Monteiro 1998, 1999; Carvalho *et al.* 1999; Monteiro 1999; Medina *et al.* 2002a, 2003; Tariche *et al.* 2002) et compte tenu de la diversité écologique et océanographique présente dans l'archipel, on peut déduire une forte hétérogénéité spatio-temporelle dans la distribution des ressources. Toutefois, le degré de mélange entre sous-populations, processus par lesquels la dynamique des populations locales dépend (croissance *in situ* et colonisation), et le degré de mouvements entre populations, demeurent des questions encore non résolues.

## **OBJECTIFS DE RECHERCHE**

L'objectif général de ce travail est de définir et de modéliser le fonctionnement

d'un écosystème marin insulaire tropical en matière de structure et dynamique des populations démersales, en tenant compte de principales variables qui influencent la variation spatiale et temporelle de la distribution et de l'abondance des espèces. Plus spécifiquement, on cherchera à:

- Analyser l'importance de la fragmentation induite par la distance géographique et par la bathymétrie dans la structure spatio-temporelle et la variabilité écologique des communautés de poissons démersaux dans l'archipel;
- Analyser la dynamique spatiale des populations démersales exploitées, c.-à-d. la relation entre leurs variations locales de densité et d'abondance, en ayant recours à des concepts théoriques en écologie spatiale, tout en tenant compte des différentes échelles spatio-temporelles (îles, saisons et années) et des différents niveaux d'organisation écologique (espèce et communauté);
- Vérifier jusqu'à quel point la fragmentation d'habitat résultant de la persistance de conditions d'isolement physique ou écologique entre les îles se traduit en isolement effectif des populations;
- Définir et valider un modèle hydrodynamique de connectivité de l'écosystème marin de l'archipel, tenant compte des objectifs antérieurs et de l'essentiel des phénomènes et processus océanographiques dominants;



## **HYPOTHÈSES DE RECHERCHE**

La problématique générale présente l'archipel du Cap-Vert avec ses caractéristiques géologiques, géographiques et hydrodynamiques. Il s'agit ainsi d'un écosystème insulaire océanique tropical, où les données environnementales et celles provenant de l'activité de pêche, nous permettent de supposer un certain isolement écologique entre les îles ou groupes d'îles. Cet isolement peut s'exprimer dans la structure et la dynamique des populations marines qui composent la faune de l'archipel. En effet, l'existence d'un patron géographique dans la structure des populations peut être liée à des patrons historiques ou récents de barrières entre populations locales, à l'isolement géographique, à la fragmentation de l'habitat ou aux gradients environnementaux, qui tendent à maintenir les populations sans contacts (Bailey 1997). Cela rejoint les constats de Sinclair (1988) selon lesquels les discontinuités physiques représentent une possibilité de rétention de la phase pélagique du cycle de vie des espèces dans un espace particulier de l'océan, permettant ainsi la persistance de la population. Dans ces environnements marins particuliers, la structure, l'abondance et la richesse des populations sont clairement une fonction de la limite spatiale. Ainsi, les hypothèses de recherche qui ont guidé ce travail, sont fondées sur les éléments suivants:

- La fragmentation des habitats se traduit par une structure spatiale des populations démersales, propre à chaque île ou groupe d'îles;
- L'isolement écologique induit une différenciation morphologique

entre les individus de même espèce habitant chaque île ou groupe d'îles;

- Le régime hydrologique dans l'archipel contribue à l'isolement génétique et écologique des îles.

## **DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE**

À l'exception de quelques travaux récents (Stobberup 2006) l'archipel du Cap-Vert, parmi ceux qui composent la région biogéographique de la Macaronésie, est jusqu'à présent, celui qui a reçu le moins d'attention scientifique au niveau de l'écologie marine. En raison de cela, et tenant compte de la complexité de la problématique qui guide cette initiative de recherche, nous avons adopté une démarche méthodologique pluri- et interdisciplinaire. Ainsi, nous avons pu optimiser les opportunités de recherche existantes et les possibilités techniques offertes par plusieurs disciplines, à liens directs ou indirects avec l'océanographie dont la biologie halieutique, l'écologie marine, la géométrie morphométrique et l'océanographie physique. Cette démarche a été appuyée par des approches d'analyses statistiques multidimensionnelles qui ont permis d'accéder à un maximum possible d'information scientifique visant l'illustration de la problématique et la vérification des hypothèses de recherche. Les figures 3 à 5, représentent un schéma la démarche méthodologique structurée selon trois étapes, à savoir: 1<sup>ère</sup> étape - Caractérisation de l'archipel par une typologie spatio-temporelle des îles, à partir des données de la pêche commerciale sur les espèces les plus abondantes et plus largement distribuées; 2<sup>e</sup> étape - Caractérisation phénotypique de

l'archipel basée sur une espèce suffisamment abondante et largement distribuée sur toutes les îles; 3<sup>e</sup> étape - Caractérisation hydrodynamique de l'archipel à partir des possibilités de modélisation offertes par des modèles océanographiques opérationnels couvrant l'océan Atlantique Nord.

La figure 6, résume l'intégration de résultats de ces trois étapes distinctes, mais complémentaires, pour répondre à la problématique de recherche. Cela a résulté dans la définition de la structure et la dynamique spatio-temporelle des populations démersales de l'archipel du Cap-Vert, à partir de 1) une structure écologique et dynamique spatiale, issues de données halieutiques; 2) une structure phénotypique issue de la géométrie morphométrique sur la forme du corps d'une espèce et 3) une structure de population révélée par l'hydrodynamisme et la connectivité entre les îles.

### **Caractérisation typologique des îles (1<sup>ère</sup> étape)**

L'existence d'un système statistique des pêches, en place dans l'archipel depuis plus de 20 ans et couvrant toutes les îles à la longueur de l'année, permet l'exploitation d'une base de données potentiellement représentative de l'évolution spatiale et temporelle des populations exploitées par la pêche artisanale. En effet, il s'agit d'une activité principalement côtière, pratiquée avec la ligne à main sur des barques artisanales en bois, ouvertes, de taille standard entre 3 et 6 m en moyenne, propulsées généralement par un moteur hors-bord de 15 HP. En raison des limitations techniques (capacité de stockage, équipements de communication, etc.), les unités de pêche n'ont pas d'autonomie en mer et, de ce fait, les opérations de pêches se déroulent au

cours d'une période de 24 heures, dans un secteur limité (*ca* 10 km) autour des îles. Dans un tel écosystème tropical, la pêche démersale est multispécifique et non ciblée où la totalité des captures est débarquée dans 85 ports de pêche et vendue sur les marchés locaux. En raison de ces caractéristiques de la pêche d'artisanale, on ne s'attend pas à une variation de la puissance de pêche entre les barques.

Parmi les espèces commercialement importantes, nous avons sélectionné les plus abondantes. D'une part, un tel choix méthodologique assure la disponibilité de données pour les espèces à l'étude et évite le problème de données manquantes, ce qui augmente la puissance des analyses statistiques. D'autre part, il est reconnu que les espèces dominantes déterminent les caractéristiques biologiques principales des communautés démersales tandis que les espèces non ciblées semblent demeurer relativement inchangées, en dépit d'une activité de pêche intensive à long terme (Colvocoresses & Musick 1984; Greenstreet & Hall 1996; Jin & Tang 1996). En fait, l'interprétation de la structure de la communauté basée sur des données de pêche commerciale peut être erronée parce que ces données ne sont ni aléatoires ni exhaustives et on ne peut pas assumer que les communautés exploitées fonctionnent naturellement. En fait, la pêche commerciale résulte d'une interaction complexe entre plusieurs facteurs liés à des stratégies de pêche (Salthaug & GodØ 2001); même dans la situation d'une pêche mixte (Ketchen 1964; Chadwick & O'Boyle 1990), les données ne représentent pas toutes les espèces des communautés exploitées. Cependant, dans le système à l'étude, les pêcheurs échantillonnent la densité de poissons autour des îles selon un processus invariable dans le temps et sans une stratégie de pêche prédéfinie. Dans ce

cas où les stratégies de pêche ne changent pas, des données de capture par unité d'effort (CPUE) peuvent être employées pour construire une série chronologique comparable d'indices d'abondance (Petitgas 1998). Ainsi, les patrons mensuels et annuels de variation de ces indices sur les principaux fonds de pêche peuvent être indicatifs de la complexité d'une population et permettre l'évaluation des variations spatiales et temporelles de son abondance (Begg & Waldman 1999).

La figure 3 présente un diagramme de la démarche méthodologique qui a guidé la caractérisation typologique de la première étape de ce projet de recherche. Dans un premier temps, à partir de l'échantillonnage de la pêche artisanale réalisée de façon systématique par l'INDP dans le cadre du système national des statistiques de pêches au Cap-Vert, nous avons extrait des données brutes de débarquements et efforts de pêche concernant environ 1354 barques sur 260 sites de pêches à la longueur de l'année, et cela pendant une période de sept ans (1996 – 2002). Ces données ont été ensuite triées par espèce, mois, île et site de pêche, permettant d'établir une série spatio-temporelle de CPUE. Cette série a ensuite été utilisée dans la conception d'indices de distances écologiques. Dans un deuxième temps, nous avons établi un indice d'isolement physique entre les îles, à partir de la distance géographique et de la bathymétrie moyenne entre elles.

Finalement, ayant recours à des analyses statistiques multidimensionnelles (ordination et groupement) combinées avec des modèles statistiques linéaires (GLM – ANOVA et ANCOVA), nous avons étudié la relation entre ces indices écologiques, d'une part pour en déduire des patrons spatio-temporels dominants et, d'autre part, avec de l'information sur les aires de distribution des espèces, pour étudier leur dynamique spatiale. L'analyse

de ces deux aspects de la distribution et de la dynamique des populations nous a permis d'établir une première structure écologique et dynamique spatio-temporelle des populations démersales exploitées dans l'archipel.

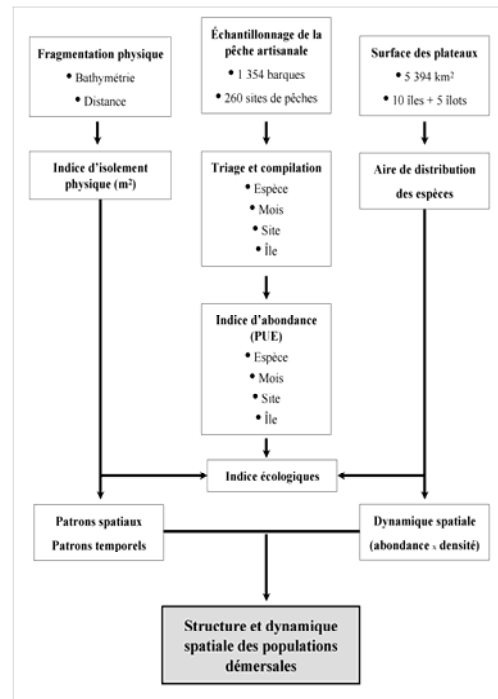


Figure 3. Diagramme schématisant la première étape de recherche visant la caractérisation typologique de l'archipel du Cap-Vert à partir des données de pêche artisanale.

## Caractérisation phénotypique des îles (2<sup>e</sup> étape)

La figure 4 présente un diagramme qui résume la démarche méthodologique de caractérisation phénotypique basée sur la variation de forme du corps des individus dans l'archipel, réalisée sur 574 individus de *Cephalopholis taeniops* (Méro à point bleu). Il s'agit d'une espèce démersale, un téléostéen à développement larvaire pélagique, protogyne hermaphrodite (Siau 1994) avec un sex-ratio nettement en

faveur des femelles dans la population. Elle est largement distribuée dans l'océan Atlantique Est, du Sahara Occidental jusqu'en Angola, y compris le Cap-Vert et les îles de São Tomé et Príncipe, habitant des fonds sableux et rocheux. Bien qu'elle s'avère être une espèce adéquate pour les objectifs de recherche que nous poursuivons, en raison de sa forte abondance et sa large distribution, elle présente cependant des difficultés particulières liées à son comportement reproducteur et à son développement ontogénétique.

fonctionnelle en mâle fonctionnel, tout au long de son cycle de vie un individu peut suivre différentes voies selon un processus monandrique ou diandrique. Tandis que dans des espèces monandriques, tous les mâles sont dérivés exclusivement des femelles fonctionnelles par le changement de sexe (c.-à-d. mâle secondaire), chez les diandriques, quelques mâles se différencient directement à partir des stades juvéniles par différenciation sexuelle (c.-à-d. mâle primaire). Selon ces complexités biologiques, la signification adaptative des modèles ontogénétiques et sexuels peut être fonctionnelle ou liée à leur développement. De ce fait, analyser des différences morphométriques chez ces espèces devient aussi intéressant que particulièrement troublant exigeant de la démarche d'analyse une évaluation préalable de la nature des variations de forme.

Pour cette étude un échantillon de 574 spécimens a été capturé par la pêche artisanale sur sept îles, en août 2003 et juin 2004, spécifiquement aux fins de cette étude. Suivant une démarche typique d'analyse en géométrie morphométrique, nous avons pu établir une structure phénotypique des populations de l'espèce dans l'archipel. Cette structure phénotypique de *C. taeniops* a ensuite été étudiée en relation avec l'indice d'isolement physique établi lors de la première étape et cela nous a permis d'évaluer l'impact de la fragmentation physique sur la structure des populations marines de l'archipel.

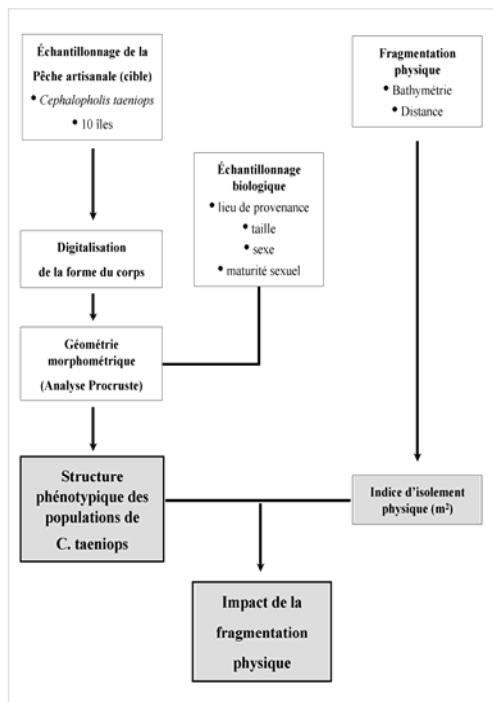


Figure 4. Diagramme qui résume la démarche méthodologique pour la caractérisation phénotypique de l'archipel.

En effet, les espèces du genre *Cephalopholis* sont caractérisées par hermaphrodisme protogyne où les individus présentent les deux sexes, simultanément ou séquentiellement (Siau 1994; Nakai & Sano 2002; Liu & Sadovy 2004). En changeant de femelle

### Caractérisation hydrodynamique de l'archipel (3<sup>e</sup> étape)

L'étude porte sur un environnement assez hétérogène, variable et relativement vaste où les connaissances actuelles des processus biologiques et océanographiques, à l'échelle de l'île, sont

très limitées. Nous avons donc commencé cette étape du projet de recherche par une étude préalable des modèles de prévisions océanographiques à l'échelle de l'océan Atlantique, pouvant permettre une application à la région, après les ajustements d'échelles spatio-temporelles nécessaires. Parmi les modèles existants, deux se sont révélés adéquats à la problématique de modélisation hydrodynamique à l'échelle d'île et archipel. Le ROMS<sup>1</sup> (Regional Ocean Modeling System) est un modèle numérique régional destiné à simuler des courants, des écosystèmes, des cycles biogéochimiques et la dynamique sédimentaire dans des régions côtières (Shchepetkin & McWilliams 2005). Mercator-Océan<sup>2</sup> est un système opérationnel de prévision océanographique (Madec *et al.* 1998) de portée internationale, permettant de décrire à tout instant, l'état de tous les océans.

La figure 5 présente un diagramme de la démarche méthodologique suivie pour la caractérisation hydrodynamique de l'archipel. À la suite d'une étude préalable du prototype Mercator (PSY2V2) à haute résolution pour l'océan l'Atlantique Nord et la Méditerranée (Siefriidt *et al.* 2002; Lellouche *et al.* 2005) nous avons extrait deux ans (2004 et 2005) de prévisions journalières des principales variables qui décrivent l'état de l'océan couvrant le domaine dans l'océan Atlantique Nord

entre 13° et 19° de latitude et entre 20° et 28° de longitude ouest, c.-à-d. environ 55 000 km<sup>2</sup>

Les prévisions opérationnelles de Mercator étaient déjà validées dans plusieurs régions de l'Atlantique Nord, de la Méditerranée et du Pacifique (<http://www.mercator-ocean.fr/>), que ce soit directement dans l'étude des processus océanographiques ou en fournissant les conditions limites à des modèles régionaux. Cependant, les questions scientifiques qui ont guidé la recherche dans le cadre de ce travail, se rapportent à des échelles spatiales beaucoup plus petites, c.-à-d. île et archipel. Ainsi, en 2004 nous avons effectué une expérience préliminaire de validation des prévisions Mercator pour la région d'étude. Les résultats nous ont permis de suivre une approche de modélisation en utilisant les prévisions Mercator. D'une part, à travers des analyses en Fonctions Empiriques Orthogonales (EOF), nous avons identifié et décrit les principaux patrons spatio-temporels de la circulation entre les îles et, d'autre part, nous avons étudié la connectivité hydrodynamique à l'intérieur de l'archipel par Modélisation Lagrangienne Stochastique (LSM) de dérive passive de particules. Les résultats de ces deux exercices de modélisation nous ont permis ensuite d'établir et de caractériser une structure hydrodynamique des populations marines à vie larvaire pélagique.

---

<sup>1</sup> - développé conjointement par l'Université de la Californie à Los Angeles (UCLA), l'Université Rutgers à New Jersey et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) en France.

<sup>2</sup> - développé par six institutions de recherche et développement en France (Centre National d'Études Spatiales – CNES; Institut de Recherche pour le Développement – IRD; Centre National de Recherche Scientifique – CNRS; Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer – IFREMER; Service Hydrographique et Océanographique de la Marine – SHOM et METEO France) et opéré par un groupe d'intérêt public basé à Ramonville, Toulouse

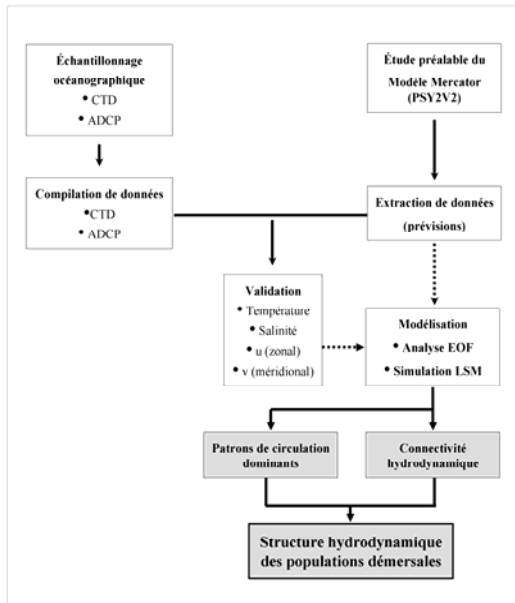


Figure 3-C Diagramme qui résume la démarche de modélisation pour la caractérisation hydrodynamique de l'archipel du Cap-Vert.

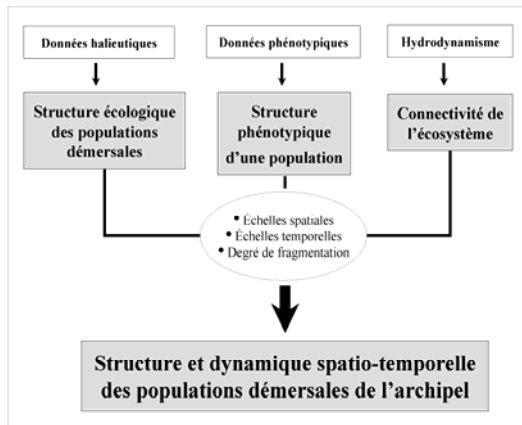


Figure 6. Diagramme intégrant les résultats des trois étapes de recherche conduisant à l'accomplissement des objectifs de recherche fixés.

## RESULTATS GENERALES ET DISCUSSION

Les archipels sont des écosystèmes avec des limites spatiales clairement établies, caractérisés par des interactions multiples entre de nombreux facteurs physiques

comme la topographie, la morphologie des côtes, l'étendue des plateaux, la distance géographique et la bathymétrie entre les îles. Ces interactions, liées à des patrons très variables de circulation océanique à petite et à grande échelle, sont à l'origine d'une diversité écologique qui influence la structure et la dynamique des populations marines. Le Cap-Vert représente un cas de ce genre de système où l'on a pu mettre en évidence la fragmentation physique par la distance géographique et la bathymétrie, à laquelle s'associe un hydrodynamisme complexe induit par des variations saisonnières dans la circulation océanique à grande échelle qui affecte la région, essentiellement la gyre Nord-Atlantique et le Contre-Courant Équatorial.

La caractérisation typologique des îles (Medina *et al.* 2007) fait ressortir l'effet combiné de la distance géographique et de la bathymétrie moyenne dans la variabilité écologique des populations démersales de poissons entre les îles. Cet effet présente des variations saisonnières. Il est plus intense et stable entre mai et novembre et, plus faible et variable entre décembre et avril. Le présent travail montre qu'il existe un isolement écologique des différentes îles, ou groupes d'îles, à l'intérieur de l'archipel régulé, entre autres, par une corrélation entre la bathymétrie moyenne, la distance entre les îles et les conditions hydrodynamiques (Medina *et al.* 2007). Ces résultats sont appuyés par les travaux récents sur l'hydrodynamisme autour d'îles (Spall 2000; Jirka 2001; Palacios 2002; Johnston & Merrifield 2003), pics sous-marins et récifs coralliens (Cowen 2002). Cet isolement écologique aussi été mis en évidence dans l'étude de la variation phénotypique de la forme du corps du mérou à point bleu (*C. taeniops*) en fonction d'une fragmentation induite par ces mêmes facteurs d'isolement physique. *A posteriori*, l'étude de la circulation océanique et de la connectivité

hydrodynamique à l'intérieur de l'archipel, entre les îles nous a permis de corroborer ces constatations. En fait, la distance géographique et la bathymétrie jouent un rôle significatif aussi bien dans la variabilité écologique que dans la connectivité hydrodynamique entre les îles. L'effet de la connectivité hydrodynamique sur la variation phénotypique à l'échelle de l'archipel a aussi été constaté. Par contre, à plus petite échelle spatiale (île) cet effet n'a pas pu être démontré, suggérant ainsi une plus forte influence des conditions locales sur l'expression phénotypique. Dans les circonstances où un effet de l'hydrodynamisme est observé, cet effet peut être potentiellement masqué par l'isolement physique, suggérant qu'une interprétation adéquate de l'effet des facteurs d'isolement physique et de l'hydrodynamisme sur l'expression phénotypique requiert un dépistage préalable des effets suppressifs de l'une et l'autre source de variation.

Les échelles spatiales et temporelles des processus et phénomènes étudiés au niveau écologique, phénotypique et hydrodynamique varient à l'intérieur de l'archipel et n'affectent pas les différents niveaux organisationnels (gamètes, œufs et larves, espèces et assemblages) de la même façon et avec la même intensité. En milieu marin, l'appréhension et la maîtrise de ces échelles de variation représentent une condition indispensable à la compréhension de la dynamique et de la structure des populations en fonction de la complexité de différents phénomènes: dérive, rétention, migration, advection et diffusion, induits et contrôlés par des facteurs biotiques et abiotiques.

## Structure écologique

L'effet combiné de la distance géographique et de la bathymétrie sur la structure écologique des communautés de poissons démersales induit une organisation des îles selon un patron géographique en fonction de différents degrés d'isolement physique (Figure 7-A). Les populations des îles du Nord (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, îlots Raso, Branco et São Nicolau) présentent une structure écologique similaire dominée par les espèces moins sensibles aux effets de l'isolement écologique comme *Apsilus fuscus*, *Lutjanus agennes*, *Pseudupeneus payensis*, *Scarus hoefleri* et *Scorpaena scrofa*. On y trouve, encore avec un certain poids dans la structure écologique, un assemblage mixte d'espèces plus (*Parapristipoma humile*) et moins sensibles (*Galeoides decadactylus* et *Acanthurus monroviae*) à l'isolement écologique. Les populations des îles orientales (Sal, Boavista et Maio) présentent une structure écologique dominée à la fois par des espèces moins sensibles (*Bodianus scrofa* et *Lethrinus atlanticus*) et par des espèces plus sensibles (*Virididentex acromegalus*, *Epinephelus marginatus* et *Cephalopholis taeniops*). Au sud de l'archipel, les populations de l'île de Brava et les îlots voisins sont caractérisées par des espèces plus sensibles à l'isolement écologique dont *Serranus atricauda*, *Pomadasys incisus*, *Priacanthus arenatus* et *Seriola dumerili*. Au niveau de similarité écologique où ces populations se trouvent structurées, les îles de Fogo et de Santiago restent relativement isolées l'une de l'autre. D'une part, les populations de l'île de Fogo présentent une structure écologique proche de celles de Brava et des îlots voisins tandis que les populations de Santiago s'approchent plus de celles du nord de l'archipel. Dans l'un et l'autre cas

les niveaux de similarité entre ces assemblages sont très faibles.

### **Dynamique spatiale**

Les populations démersales de poissons de l'archipel révèlent essentiellement deux modes d'occupation de l'espace, indépendants de la densité, liés à la disponibilité de l'espace qui semble être un facteur important. D'une part les populations des îles à plateaux insulaires relativement plus étendus comme São Vicente, Santa Luzia et îlots voisins au nord, Boavista et Maio à l'est, Brava et îlots voisins au sud, tendent à présenter une variation différentielle de densité avec la variation d'abondance. Ces îles se trouvent sensiblement dans le même plateau insulaire jusqu'à l'isobathe de 100 m. D'autre part, les populations confinées par l'étroitesse des plateaux insulaires c.-à-d. Santo Antão et São Nicolau au nord, Santiago et Fogo au sud et Sal à l'est, tendent à varier leur densité de façon proportionnelle à la variation de leur abondance. Ces sont des populations isolées des autres par des profondeurs supérieures à 500 m.

### **Structure phénotypique**

Les individus de *C. taeniops* présentent des variations morphologiques suffisamment discriminantes pour séparer les populations des différentes îles. Cependant, certaines de ces populations présentent des similarités qui laissent supposer des échanges entre elles à un moment donné de leur cycle de vie. Les populations des îles du nord et celles des îles de l'est de l'archipel sont plus similaires au niveau des variations de formes du corps tandis que celles des îles de Fogo et Santiago sont très éloignées (figure 7-B).

### **Structure hydrodynamique**

Au niveau de l'hydrodynamisme de surface, les populations des îles du nord se trouvent bien connectées. De même, celles des îles de l'est et du sud se trouvent bien connectées dans le sens du courant résiduel dominant vers le sud-ouest de l'archipel. L'île de Sal se trouve complètement isolée du reste de l'archipel (figure 7-C). Ces patrons laissent supposer des échanges entre ces populations, encore au stade de développement larvaire des espèces, ces échanges pouvant résulter ou non en différenciation phénotypique, en fonction de la sélection naturelle induite par les environnements locaux autour des îles et groupes d'îles.



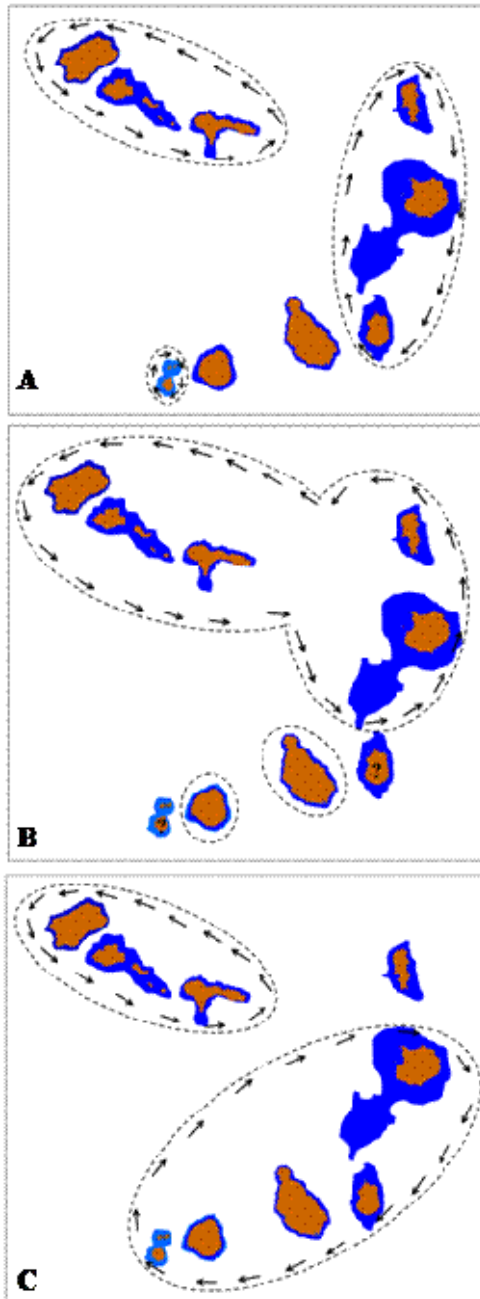


Figure 7. Structure des populations démersales de poissons de l'archipel du Cap-Vert tel qu'extrait de la variabilité écologique (A), phénotypique (B) et connectivité hydrodynamique de surface (C). Les îles sont entourées des plateaux insulaires respectifs jusqu'à l'isobathe des 100 m (en bleu sombre). Les contours en pointillés délimitent les zones à l'intérieur desquelles s'établissent des échanges (flèches noires) entre les différentes unités de populations.

### Un modèle écologique de structure des populations démersales

Les informations issues des différentes approches d'étude de la structure des populations démersales c.-à-d. 1) étude de la structure écologique et de la dynamique spatiale à partir des données de pêche artisanale; 2) étude de la structure phénotypique à partir d'une des espèces de poissons démersales plus abondante et plus largement distribuée dans l'archipel; 3) étude de la connectivité hydrodynamique entre les populations des îles, ont été intégrées dans la figure 8.

Cet exercice de synthèse nous permet de présenter les populations démersales des plateaux insulaires de l'archipel du Cap-Vert comme une grande métacommunité constituée essentiellement de trois métapopulations – la métapopulation des îles du Nord, la métapopulation des îles de l'Est et la métapopulation des îles du Sud (Figure 8). Chaque métapopulation est constituée d'un ensemble de populations typiques de chaque île ou îlot à l'intérieur de laquelle il peut exister des échanges dont l'intensité et l'échelle dépendent du degré de fragmentation de l'écosystème. Les échanges par migration d'adultes et de juvéniles peuvent se produire entre populations qui se trouvent sur les mêmes plateaux à des profondeurs inférieures à 100 m, tandis que des échanges de gamètes, œufs et larves peuvent se produire par effet hydrodynamique à des échelles spatiales supérieures.

Au niveau des métapopulations, les échanges peuvent se produire à tous les niveaux biologiques d'organisation, depuis les gamètes jusqu'à l'individu adulte et sont suffisamment constants dans l'espace et dans le temps pour produire un effet sur la structure écologique, le phénotype et la génétique des populations.

Au niveau de la metacommunauté (l'ensemble de l'archipel), les échanges sont essentiellement limités aux premiers stades de développement des espèces et ne sont pas efficaces au niveau de la structure écologique et phénotypique, à court et moyen terme (échelle de quelques générations).

**Métapopulation du Nord.** Cette métapopulation est constituée de cinq unités de populations chacune correspondant à une île ou îlot. La migration de juvéniles et adultes est possible entre les populations de São Vicente, Santa Luzia, îlots Raso et Branco, car elles se trouvent sous le même plateau insulaire de 50 m. Cette caractéristique permet à ce noyau de populations de jouer un rôle de population-source qui se rapproche de la conception de métapopulation mixte de Harrison (1991). Par contre, les échanges avec les populations des îles voisines de Santo Antão et São Nicolau se résument à des processus de dispersion hydrodynamique de gamètes, œufs et larves. Ces processus sont suffisamment intenses et constants pour induire des similarités écologiques, phénotypiques et probablement génétiques.

**Métapopulation du Sud.** Cette métapopulation est constituée par quatre populations (Santiago, Fogo, Brava, îlots Grande). La possibilité de migration de juvéniles et adultes semble faible, car les populations sont séparées par des profondeurs supérieures à 1000 m, à l'exception du chenal entre Brava et îlots Grandes qui pourrait permettre un tel échange. L'espace est très fragmenté et les échanges principaux sont certainement hydrodynamiques.

**Métapopulation de l'Est.** Constituée par les populations des îles de Sal, Boavista et

Maio, il s'agit de la métapopulation la plus petite en nombre d'unités, mais aussi les moins fragmentées, formée par des populations relativement plus grandes. À cause de l'étendue particulièrement importante du plateau insulaire de l'île de Boavista jusqu'à l'isobathe de 100 m (environ 1 779 km<sup>2</sup>), ses populations semblent jouer un rôle de population-source. Les principaux échanges sont de nature hydrodynamique, les migrations de juvéniles et d'adultes étant très peu probables à cause des profondeurs qui séparent les plateaux.

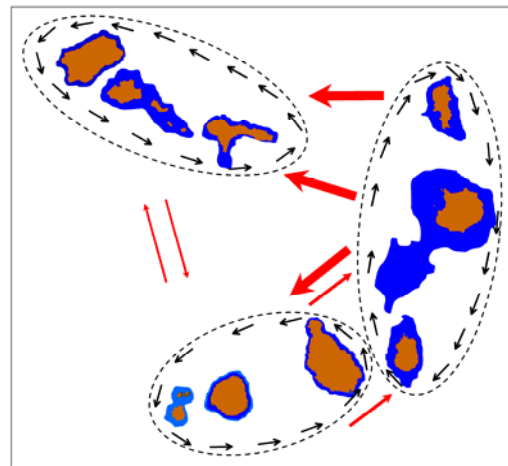


Figure 8. Représentation synthétique de la structure des populations démersales de poissons de l'archipel du Cap-Vert tel que déduit des connaissances complémentaires apportées par la structure écologique des principales espèces exploitées, la structure phénotypique du Méroü à point bleu (*Cephalopholis taeniops*) et l'hydrodynamisme dominant de surface. Les îles sont entourées des plateaux insulaires respectifs jusqu'à l'isobathe des 100 m. Les contours en tirets délimitent les zones à l'intérieur desquelles s'établissent des échanges (flèches noires) entre les différentes unités de populations. Les flèches rouges, plus épaisses et en ligne continue représentent les échanges dominants entre les métapopulations de l'Est, du Nord et du Sud de l'archipel (l'épaisseur donne un ordre de grandeur sur l'intensité des échanges)

Au niveau de la metacommunauté (l'ensemble de l'archipel), les échanges

sont essentiellement limités aux premiers stades de développement des espèces et ne sont pas efficaces au niveau de la structure écologique et phénotypique, à court et moyen terme (échelle de quelques générations).

**Métopopulation du Nord.** Cette métopopulation est constituée de cinq unités de populations chacune correspondant à une île ou îlot. La migration de juvéniles et adultes est possible entre les populations de São Vicente, Santa Luzia, îlots Raso et Branco, car elles se trouvent sous le même plateau insulaire de 50 m. Cette caractéristique permet à ce noyau de populations de jouer un rôle de population-source qui se rapproche de la conception de métopopulation mixte de Harrison (1991). Par contre, les échanges avec les populations des îles voisines de Santo Antão et São Nicolau se résument à des processus de dispersion hydrodynamique de gamètes, œufs et larves. Ces processus sont suffisamment intenses et constants pour induire des similarités écologiques, phénotypiques et probablement génétiques.

**Métopopulation du Sud.** Cette métopopulation est constituée par quatre populations (Santiago, Fogo, Brava, îlots Grande). La possibilité de migration de juvéniles et adultes semble faible, car les populations sont séparées par des profondeurs supérieures à 1000 m, à l'exception du chenal entre Brava et îlots Grandes qui pourrait permettre un tel échange. L'espace est très fragmenté et les échanges principaux sont certainement hydrodynamiques.

**Métopopulation de l'Est.** Constituée par les populations des îles de Sal, Boavista et Maio, il s'agit de la métopopulation la plus petite en nombre d'unités, mais aussi les

moins fragmentées, formée par des populations relativement plus grandes. À cause de l'étendue particulièrement importante du plateau insulaire de l'île de Boavista jusqu'à l'isobathe de 100 m (environ 1 779 km<sup>2</sup>), ses populations semblent jouer un rôle de population-source. Les principaux échanges sont de nature hydrodynamique, les migrations de juvéniles et d'adultes étant très peu probables à cause des profondeurs qui séparent les plateaux.

La métopopulation de l'Est est la plus instable de l'archipel, car elle se trouve en amont des courants dominants, servant à alimenter la métopopulation du Nord et celle du Sud par des flux hydrodynamiques de gamètes, œufs et larves. Elle entretient une interconnectivité hydrodynamique avec la métopopulation du Sud mais cet échange est relativement faible et temporellement instable, se limite à sa composante plus au sud (les populations de l'île de Maio). La métopopulation du Nord de l'archipel est la plus stable, car elle est fortement alimentée via l'hydrodynamisme, par la population de l'Est et s'auto-alimente à partir de sa propre population-source du plateau insulaire de São Vicente, Santa Luzia, îlots Raso et Branco. L'interconnectivité hydrodynamique qu'elle entretient avec la métopopulation du Sud n'est ni suffisamment intense, ni assez constante pour représenter un échange efficace entre les deux structures de population. La métopopulation du Sud est instable, car elle s'auto-alimente peu, ne disposant pas de population-source locale, et bénéficie quasi exclusivement des apports hydrodynamiques de la métopopulation de l'Est en amont.

L'ensemble de ces métopopulations, qui forment la grande métacommunauté de poissons démersaux des plateaux insulaires du Cap-Vert, se trouve dans une

zone hydrodynamique très variable, résultat de la variabilité spatio-temporelle des principaux systèmes de courants de l'Atlantique Nord-Ouest (gyre Nord-Atlantique et Contre-Courant Équatorial). Cette variabilité de l'hydrodynamique est à l'origine d'importantes pertes directes de matière biologique à partir de l'archipel (environ 40 %, estimé par simulation LSM). Néanmoins, cette perte pour l'archipel peut représenter un flux important de matière biologique vers d'autres écosystèmes Nord-Atlantique.

Les modes de gestion actuels au Cap-Vert sont encore basés généralement sur le principe de stocks uniques pour l'ensemble de l'archipel. Les résultats obtenus ici démontrent que les populations sont hétérogènes et que chaque île pourrait être considérée comme une entité écologique qui pourrait être gérée de façon distincte. On constate aussi que les îles ne sont pas également vulnérables à l'exploitation par la pêche. Les îles orientales, c.-à.d. Sal, Boavista et Maio, de par leur localisation en amont des vents et courants océaniques dominants, représentent une région très sensible, en raison d'un flux de matière biologique quasi unidirectionnel vers l'ouest. Elles agissent comme populations sources pour les autres îles mais sont faiblement autosuffisantes. Si l'on envisage, par exemple, la mise en place d'activités de réensemencement d'espèces ou la définition d'aires marines protégées, il semble logique de se concentrer sur la métapopulation de l'est, en sachant qu'il y aura peu de résultats au niveau local mais que cela pourra avoir des effets bénéfiques, à moyen terme, sur les autres métapopulations en aval. Dans la même logique d'utilisation des connaissances hydrodynamiques, il semble peu efficace, du point de vue écologique, de concentrer des efforts de conservation sur la métapopulation du sud, essentiellement

constituée de populations puits. Les résultats sur la dynamique spatiale des communautés soulignent une variation différentielle de la densité locale liée à des effets environnementaux. Cela implique une grande sensibilité à la surexploitation locale et suggère des modes de gestion qui éviteraient une concentration exagérée de la flottille de pêche sur certains bancs.

Même si les résultats exposés dans ce travail peuvent servir de point de départ pour la mise en place de mesures de gestion et de conservation, on constate de nombreuses lacunes dans la connaissance de l'écologie marine de l'archipel du Cap-Vert. En effet, jusqu'à présent, il n'y a pas eu d'autres recherches scientifiques sur la structure des populations démersales en rapport avec les effets de l'exploitation sur les ressources génétiques et la biodiversité. On constate également un manque général d'informations scientifiques sur la dynamique des premiers stades de développement des espèces dans l'archipel. Les résultats exposés dans ce travail ne représentent qu'une première étape dans la connaissance de la dynamique des espèces démersales de l'archipel du Cap-Vert.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les références bibliographiques peuvent être consulté dans la thèse d'où cet extrait a été retiré :

**Medina A. (2008)** Structure et dynamique spatio-temporelle des populations démersales dans un système d'archipel océanique tropical. Le cas de l'Archipel du Cap-Vert (Océan Atlantique Est). Institut des Sciences de la Mer de Rimouski, Université du Québec à Rimouski (ISMER/UQAR). Thèse de doctorat. 290 pp