



Tropical Pacific Observing System

Premier Rapport 2016

Résumé exécutif

Premier rapport TPOS 2020
Résumé Exécutif traduit en français
Décembre 2016

Auteurs coordonnateurs principaux: Sophie Cravatte, William Kessler, Neville Smith et Susan Wijffels

Auteurs principaux: Lisan Yu, Kentaro Ando, Meghan Cronin, Tom Farrar, Eric Guilyardi, Arun Kumar, Tong Lee, Dean Roemmich, Yolande Serra, Janet Sprintall, Pete Strutton, Adrienne Sutton, Ken Takahashi, et Andrew Wittenberg

Voir l'annexe C du rapport pour une liste complète des auteurs contributeurs et des rapporteurs.

Crédit pour la photo de couverture: B. Kessler.

La traduction française du résumé a été aimablement fournie par la commission océanographique intergouvernementale avec le soutien de la NOAA et de S. Cravatte.

Ce rapport est une contribution du GOOS (GOOS-215), du PMEL (4548) et de JISAO (2016-03-58).

Référence à utiliser pour le rapport complet:

Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, and Contributing Authors, 2016: First Report of TPOS 2020. GOOS-215, 200 pp. [Available online at <http://tpos2020.org/first-report/>.]

Référence à utiliser pour le résumé exécutif seulement:

Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, and Contributing Authors, 2016: Executive Summary. First Report of TPOS 2020. GOOS-215, pp. i-xii. [Available online at <http://tpos2020.org/first-report/>.]

Résumé Exécutif

Le projet TPOS 2020 (Système d'observations du Pacifique tropical pour 2020) est une opportunité unique d'améliorer et de repenser le système d'observations dans le Pacifique tropical. La variabilité du système couplé océan-atmosphère dans la région a des répercussions sur le climat global et est une source majeure de prévisibilité climatique aux échelles interannuelles, à l'échelle du globe.

La motivation principale de ce projet est de remédier au risque important pour les prévisions d'El Niño/Oscillation Australe (ENSO) et pour les services associés, identifié lors de la détérioration du réseau de mouillages (TMA) de l'océan Pacifique survenue en 2012-2014. Le réseau TPOS vise à atténuer ce risque et à accélérer les progrès dans la compréhension et la prévision de la variabilité du Pacifique tropical et de ses impacts majeurs sur de multiples secteurs, tels que l'agriculture, les écosystèmes marins, la santé humaine et la préparation aux catastrophes naturelles, à travers le monde. En réponse à d'autres priorités scientifiques, en particulier l'étude du climat, TPOS 2020 maintiendra les séries temporelles d'observations clés, intensifiera le suivi des paramètres clés et des principaux phénomènes concernant les couches superficielles de l'océan et de l'atmosphère, intégrera la biogéochimie et élargira ses observations aux régions de bord ouest et est du bassin.

Le présent rapport est une première étape vers une redéfinition et une amélioration du système d'observations. Il expose les évolutions proposées, et les raisonnements et justifications qui les sous-tendent. Il vise à fournir aux partenaires les moyens de justifier et de promouvoir les investissements actuels et futurs à la fois pour des observations pérennes et pour des observations expérimentales dans le Pacifique tropical. Ce rapport se concentre sur les contributions fondamentales et centrales au système d'observation pérenne (ci-après appelées « Backbone » ou « Ossature » de TPOS) et s'articule autour de cinq fonctions principales [1.3]¹ :

- (1) fournir des données pour évaluer, valider et initialiser les prévisions d'ENSO et des autres systèmes de prévision, et pour favoriser leur développement ;
- (2) fournir des observations pour quantifier l'évolution de l'état de l'océan de surface et de subsurface;
- (3) aider à l'intégration des approches satellites et in situ, incluant la calibration et la validation ;
- (4) faire progresser la compréhension et la modélisation du système climatique dans le Pacifique tropical, notamment en fournissant une infrastructure pour des études de processus ; et
- (5) maintenir et étendre les séries temporelles climatiques du Pacifique Tropical.

La refonte du système d'observations s'appuie sur les fondements du programme TOGA «Tropical-Ocean Global-Atmosphere » mené durant la période 1985-1994, ainsi que sur les nombreuses innovations et améliorations survenues depuis cette époque [2.2, 2.3]. Les nombreux bénéfices publics découlant du suivi et de la prévision d'ENSO et de la recherche scientifique qui lui est associée restent la principale motivation du projet TPOS. Le réseau fournit également une base pour améliorer les prévisions météorologiques et océaniques, ainsi que le suivi du climat et de l'environnement marin. Ces services publics de qualité exigent un TPOS fiable, efficace et pérenne [2.1, 2.2, 2.4]. Le présent Rapport contient les recommandations préliminaires et les mesures à prendre pour répondre aux besoins de 2020 et d'au-delà [5, 7].

Le réseau d'observations TPOS a été un grand succès durant les 20 années écoulées depuis TOGA [2.5], en fournissant les bases pour une meilleure compréhension et pour le développement de nombreux services apparus au cours de cette période [2.4]. TPOS 2020 redéfinit les besoins en observations tout en tenant

¹ Les références aux sections du Rapport principal sont indiquées entre crochets.

compte des nouveaux enjeux et questions scientifiques passés au premier plan, et de la plus grande sophistication des systèmes d'analyse, de modélisation et de prévision ainsi que des services déjà en place ou en cours d'élaboration [3.1]. Le réseau d'observations TPOS est ré-évalué afin de tirer parti des progrès liés à l'apparition de nouvelles technologies, à la fois satellites et in situ. L'objectif est de proposer un réseau plus performant et fiable, en recentrant les observations sur les besoins des décennies à venir. Les besoins en observations sont d'abord définis pour les variables océaniques et climatologiques essentielles ; dans la mesure du possible, l'échantillonnage spatial et temporel requis, la précision, la qualité requises, les régimes à échantillonner et le cas échéant, le besoin de continuité sont précisés [3.1.1, 3.1.2, 3.1.3]. Les besoins en observations sont aussi guidés par la nécessité de maintenir et d'étendre les séries temporelles climatiques [3.2].

Les verrous scientifiques à lever pour une meilleure compréhension du système et pour permettre le développement des modèles concernent la couche de mélange océanique et les flux de surface qui interagissent avec elle ; le cycle diurne ; le couplage océan-atmosphère dans la région équatoriale ; les régions de bord ouest et est du Pacifique ; et la biogéochimie, en particulier les flux de carbone air-mer [3.3]. Ces besoins seront satisfaits grâce à une combinaison de réseaux pérennes et d'observations expérimentales.

La nouvelle approche prônée par TPOS 2020 permet de réduire la dépendance vis à vis d'une plate-forme unique et exploite le gain d'efficacité lié aux récentes évolutions technologiques [7.6]. Les régimes clés du Pacifique Tropical seront observés pour la première fois de façon exhaustive, ce qui sera primordial pour le développement des modèles couplés et la production de meilleurs produits grillés. Cela permettra aussi d'améliorer notre compréhension des processus en général. L'amélioration du réseau TPOS permettra des progrès indispensables pour les systèmes de modélisation opérationnels; progrès qui jusqu'à présent se sont fait attendre.

Un certain nombre de principes guidant le nouveau design du réseau d'observations « Backbone » et son implémentation sont présentés [4, 7.1]. Ces principes incluent une vision intégrée et cohérente des observations satellite et in situ, exploitant leurs capacités à réduire les incertitudes sur les séries de données climatiques dans le Pacifique tropical [5]. Des études pilotes et des études de processus [6] qui contribueront à perfectionner le réseau TPOS pendant et après la fin du Projet en 2020 sont aussi présentées.

Dans la section suivante de ce Résumé, les besoins en observations pour les variables océaniques sont listés avec les **recommandations** associées pour le système d'observation, tandis que la section qui suit, intitulée « Implémentation », met l'accent sur les **actions** clés. L'ordre dans lequel les recommandations et les actions sont ici présentées ne constitue pas un ordre de priorité, et diffère parfois de celui adopté dans le texte du rapport.

Dans la mesure du possible à ce stade du projet TPOS 2020, le Rapport indique les estimations du coût associé aux principales composantes du réseau d'observations. Les recommandations et les actions sont réalistes, mais le chiffrage exact ne sera possible qu'après un dialogue plus approfondi avec les responsables de l'implémentation du réseau TPOS.

BESOINS ET RECOMMANDATIONS

Le suivi et la détection des changements climatiques exigent une grande précision, une durée et une continuité qui s'appliquent à toutes les variables climatiques essentielles. La fourniture de telles séries de données climatiques requiert de la redondance et de la résilience pour faire face aux défaillances possibles de certaines composantes du système d'observations qui pourraient causer de grands dommages [3.2.1].

Des mesures de **vent de surface/tension de vent**² précises et non-biaisées sont requises, avec une bonne couverture spatiale et temporelle, notamment dans les régions de fortes précipitations et les régimes

² Les variables climatologiques/océaniques essentielles sont indiquées **en gras et en italique**.

de vent faibles et violents. Il est important de maintenir de longues séries temporelles de vent in situ pour l'intercalibration et pour servir de référence pour les séries climatiques, en particulier dans le Pacifique équatorial et dans les zones de convection et de précipitations [3.1.1.2, 3.2.1, 5.1]. Le suivi des processus frontaux et de petite échelle exige que les champs de vents résolvent les gradients aux échelles inférieures à 50 km [3.3.2]. Des mesures de courants de surface sont également nécessaires pour réconcilier les différences entre les mesures des vents par diffusiomètre et in situ [voir Recommandation 11]. TPOS 2020 recommande:

Recommandation 1 une constellation de missions satellites avec diffusiomètres multi-fréquences complétées par des mesures de vitesses de vents à partir de capteurs micro-ondes pour garantir des données de vents à grande échelle, par tous les temps, couvrant plus de 90 % de l'océan Pacifique tropical toutes les 6 heures, pour la prochaine décennie et au-delà, avec différentes heures de passage à l'équateur pour échantillonner le cycle diurne.

Recommandation 2 des mesures de vent in situ, en particulier pour étendre les séries temporelles de vent in situ et permettre l'intercalibration des différents capteurs de vent satellites, en particulier dans le Pacifique équatorial et dans les régions de précipitations.

□ Des mesures de **température de surface de la mer (SST)**, à haute résolution et à long terme, précises et non biaisées, sont requises, en particulier dans les zones de couverture nuageuse et de précipitations quasi-permanentes, et dans la langue d'eaux froides où de forts gradients horizontaux sont observés. Idéalement, pour mieux comprendre les processus de surface, l'échantillonnage devrait permettre de résoudre le cycle diurne et donc de caractériser les profils de température dans la couche de surface dans les régions où la variabilité diurne est importante [3.1.1.1, 3.3.1, 3.3.2, 5.2]. TPOS 2020 recommande de :

Recommandation 3 Mesurer de façon pérenne la SST par satellite, à l'aide de capteurs infrarouges pour un échantillonnage spatiotemporel plus élevé ; les capteurs micro-ondes passifs permettant de combler le manque d'observations sous les nuages, et les différentes plates-formes satellite et in situ permettant une intercalibration.

Recommandation 4 Maintenir le niveau actuel d'observations in situ de la SST et améliorer la qualité des données de SST des bouées dérivantes. Cela contribuera à la calibration et à la validation des données de SST satellites, et fournira des données de référence indépendantes pour les séries temporelles climatiques de SST. Cibler en particulier les zones de convection et les zones pluvieuses pour obtenir des données de SST de terrain, et maintenir les mesures in situ de SST sur les mouillages équatoriaux.

□ Un échantillonnage de haute précision et à grande échelle de la **hauteur de la surface de la mer (SSH)** est nécessaire à l'échelle climatique, ainsi qu'à plus petite échelle (à sub-mésoséchelle) pour l'initialisation des modèles de prévision océanique. Les mesures de masse de l'océan (mesures de gravité ou de pression de fond) devraient être maintenues [3.1.2.1, 3.1.2.2, 3.3.4, 5.3]. Les recommandations du TPOS 2020 sont les suivantes :

Recommandation 5 Maintenir les mesures de haute précision de la SSH au moyen des satellites altimètres de la série Jason pour le suivi de la SSH à grande échelle, et poursuivre le développement de la technologie d'altimétrie à large fauchée pour mesurer les variations de la SSH à mésoéchelle et à sub-mésoséchelle qui sont particulièrement importantes dans des régions clé, comme les régions de bord ouest.

Recommandation 6 Maintenir les mesures des marégraphes in situ pour la calibration et la validation des mesures de SSH satellite ; Equiper ces marégraphes de GPS (Système global de navigation par satellite) pour leur référencement, et leur associer des mesures pérennes de profils de température et de salinité (voir plus bas).

Recommandation 7 Poursuivre les mesures de la masse de l'océan afin de compléter les mesures de la SSH par satellite et les mesures de la hauteur stérique obtenues à partir de profils, et installer des capteurs de pression de fond in situ pour aider à calibrer et valider les estimations obtenues par satellite.

□ Des mesures de **précipitations** par satellite, évaluées grâce à des données in situ disponibles dans différents régimes climatiques, sont nécessaires. Des mesures colocalisées de précipitations et de vitesse de vent sont particulièrement importantes dans les régions convectives du Pacifique Equatorial Ouest et dans les zones de convergence intertropicale et du Pacifique Sud [3.1.1.5, 3.1.1.2, 5.4]. Les recommandations du TPOS 2020 sont les suivantes :

Recommandation 8 Poursuivre et renforcer la collaboration internationale autour des constellations de satellites de mesure de précipitations pour assurer un bon échantillonnage spatiotemporel des précipitations dans les tropiques.

Recommandation 9 Poursuivre et accroître les mesures in situ de précipitations en plein océan pour l'évaluation et l'amélioration des estimations satellite, en particulier pour fournir des séries temporelles climatiques à long terme.

□ Des mesures de **salinité de surface de la mer (SSS)** de grande échelle sont nécessaires, avec une **résolution spatiale** suffisante pour détecter les fronts de salinité dans la zone équatoriale [3.1.1.6]. Pour comprendre les processus et les phénomènes clés, un échantillonnage de la salinité à plus haute résolution est important, particulièrement dans les eaux chaudes de la Warm Pool de l'océan Pacifique et dans les zones frontales [3.3.1, 3.3.2, 5.5]. Ensemble, les mesures in situ et satellites fournissent des observations complémentaires de la SSS pour répondre aux besoins du TPOS. Les mesures in situ fournissent des mesures précises de la salinité dans la couche de surface. Argo permet une plus large couverture spatiale; les mouillages fournissent des mesures à haute fréquence, tandis que les navires d'observation bénévoles (VOS) fournissent des mesures à haute résolution spatiale le long des trajets bateaux ainsi que de longues séries temporelles. Les satellites permettent un échantillonnage presque uniforme de la SSS qui résout les gradients et garantit une meilleure couverture dans les zones côtières et les mers semi-fermées. TPOS 2020 recommande :

Recommandation 10 La continuation de mesures complémentaires de SSS satellite et in situ, avec comme objectif l'amélioration de la précision des mesures satellites.

□ La mesure des **courants de surface** (vitesse et direction) doit s'effectuer avec une haute résolution spatiale et temporelle, en particulier dans la bande équatoriale, afin de faciliter l'assimilation et la synthèse des mesures de vent satellite et in situ [3.1.1.2]. Les séries temporelles de **courants de subsurface** équatoriaux sont largement utilisées pour la validation et le développement des modèles et demeureront nécessaires pour une future assimilation dans les modèles [3.1.3.2]. Pour une meilleure compréhension des processus et des phénomènes, TPOS 2020 pense nécessaire d'augmenter la résolution verticale actuelle pour mesurer le cisaillement près de la surface ; d'augmenter la résolution méridienne autour de l'équateur pour résoudre la circulation océanique; et de mieux suivre d'autres éléments clés de la circulation tels que les courants de bord ouest et les courants intermédiaires [3.3.1, 3.3.3, 3.3.4.1, 3.3.4.2, 5.6]. Les recommandations du TPOS 2020 sont les suivantes :

Recommandation 11 Poursuivre les développements technologiques pour mesurer les courants océaniques de surface par satellite, améliorer les mesures in situ de courants de surface et proches de la surface, en particulier autour de l'équateur, et faire des mesures colocalisées de vents et de courants de surface ; et

Recommandation 19 Maintenir et éventuellement augmenter la portée verticale des profils de courants sur les mouillages équatoriaux existants ; améliorer la résolution méridienne des mesures de courants le long de méridiens choisis, grâce à des mouillages supplémentaires autour de l'équateur.

□ Les besoins en flux air-mer de dioxyde de carbone (CO₂) sont en partie satisfaits par les mesures de grande qualité de pression partielle de CO₂ (**pCO₂**) en surface existantes. Ces observations quantifient la variabilité saisonnière et interannuelle des flux de CO₂ liée à ENSO et améliorent la compréhension de la variabilité naturelle dans le contexte des changements induits par l'homme [3.1.1.4, 3.3.5]. La recommandation du TPOS 2020 est la suivante :

Recommandation 12 Maintenir les séries temporelles à haute fréquence des mouillages et des observations bateaux de la **pCO₂** de l'océan de surface à grande échelle dans le Pacifique, de 10° S à 10° N.

□ Des mesures à grande échelle de la **couleur de l'océan** de surface sont nécessaires, avec une résolution suffisante pour délimiter les régimes biologiques, et avec assez de précision pour diagnostiquer les variations saisonnières. Des mesures in situ de chlorophylle-a sont aussi nécessaires pour valider les mesures de couleur de l'océan obtenues par télédétection [3.1.1.4, 5.7]. La recommandation du TPOS 2020 est la suivante :

Recommandation 13 Continuer de promouvoir les missions satellites visant à mesurer la couleur de l'océan avec des périodes de chevauchement adéquates pour faciliter l'intercalibration et assurer la cohérence des mesures. Les mesures in situ de chlorophylle a et des propriétés optiques sont nécessaires pour valider ces mesures satellites de couleur de l'eau.

□ Pour mieux comprendre les processus biogéochimiques à l'échelle saisonnière, il est nécessaire d'avoir des mesures couvrant l'ensemble du Pacifique tropical entre 10°S et 10°N, à une fréquence semestrielle. Ces mesures doivent être complétées par des observations à haute fréquence à quelques sites choisis [3.3.5]. Afin de bien comprendre la dynamique du CO₂, il faut comprendre les variations de l'**oxygène**, qui est consommé en profondeur lors du recyclage des matières organiques (par exemple, du phytoplancton) produites à la surface. L'expansion des zones de minimum d'oxygène a des conséquences fondamentales pour la vie marine. La recommandation du TPOS 2020 est la suivante :

Recommandation 14 Entre 10°S à 10°N, des observations biogéochimiques sont nécessaires en subsurface, notamment de la concentration en chlorophylle, de la rétrodiffusion des particules, de l'oxygène et des nutriments. Une attention particulière doit être portée sur le bord Est de la Warm Pool et sur la langue d'eaux froides du Pacifique Est.

□ Un échantillonnage complet des variables d'état nécessaires pour estimer les **flux de chaleur** turbulents (SST, température de l'air, humidité, vent et courants de surface) et les **flux radiatifs** (rayonnement solaire, rayonnement de grande longueur d'onde, émissivité) doit être réalisé dans l'ensemble des régimes climatiques/météorologiques et des régimes océaniques clés [3.1.1.3, 5.8]. Ces variables sont essentielles pour évaluer et améliorer les réanalyses atmosphériques, les estimations de flux de surface par satellite et les systèmes d'assimilation couplés, ainsi que pour améliorer notre compréhension des échanges entre l'atmosphère et l'océan dans ces différents régimes. La recommandation de TPOS 2020 est la suivante :

Recommandation 15 Renforcer les observations in situ des variables d'état nécessaires pour estimer les flux de chaleur et d'eau douce dans des régions clés. Ces régions comprennent la Warm Pool du Pacifique Ouest, l'équateur, et plusieurs méridiens s'étendant de la zone de convergence du Pacifique Sud et de la zone de convergence intertropicale saisonnière de l'hémisphère sud, à travers l'équateur, jusqu'à la zone intertropicale de l'hémisphère nord.

□ TPOS 2020 appuie les efforts visant à accroître le nombre de drifters de surface et de mouillages équipés de capteurs de *pression de surface* [3.1.2.4, 7.4.1].

□ Les vagues (*état de la mer*) modifient la tension de surface par vent faible et sont importantes pour mesurer le niveau de la mer en régions côtières et les impacts associés. Quelques bouées directionnelles permanentes pour la mesure des vagues dans le Pacifique tropical pourraient compléter et valider les données de vagues obtenues par satellite [3.1.2.3].

□ Des observations à grande échelle de *température et de salinité de subsurface sont nécessaires*, avec une résolution accrue dans les tropiques (résolution d'environ 2° x 2°), une meilleure résolution méridienne (100 km) et une meilleure résolution verticale (10 m ou moins) dans la région équatoriale. Des profils profonds stables et précis sont aussi nécessaires. Un objectif supplémentaire est de résoudre la stratification en sel dans la couche de surface, en particulier dans la région de la Warm Pool, au bord Est de la Warm Pool et dans les régions de précipitations persistantes.

Pour améliorer la compréhension des phénomènes et des processus, une résolution verticale plus fine est nécessaire au-dessus de 100 m de profondeur. Un échantillonnage entre 2°S et 2°N devrait être suffisant pour résoudre les gradients méridiens. Les profils dans la région équatoriale ouest et centrale devraient permettre de résoudre les phénomènes à des échelles temporelles de 5 jours ou moins [3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4.1].

Une meilleure résolution des variables physiques facilitera l'interprétation et la modélisation des processus biogéochimiques. La plupart des plates-formes utilisées pour un meilleur échantillonnage des températures et salinités peuvent effectuer des mesures biogéochimiques in situ [3.3.5].

La diversité d'ENSO et son évolution future requerront un échantillonnage de l'environnement du Pacifique tropical pour suivre les caractéristiques spatiotemporelles du phénomène et permettre de meilleures prévisions d'ENSO et améliorer les capacités de prévision des modèles.

TPOS 2020 recommande [4, 5.9] :

Recommandation 16 Une combinaison de mouillages fixes, de flotteurs profilants et de lignes de navires pour répondre aux besoins pérennes en observations de température et de salinité de subsurface. L'intégration de ces jeux de données par assimilation ou synthèse est nécessaire pour produire les champs grillés requis ;

Recommandation 17 Une meilleure résolution méridienne de la température et de la salinité dans la zone équatoriale en combinant (a) l'installation de mouillages supplémentaires près de l'équateur et (b) le déploiement ciblé de flotteurs Argo dans la zone équatoriale (en doublant approximativement la densité) ;

Recommandation 18 Une meilleure résolution verticale de la température et de la salinité en installant des capteurs supplémentaires sur les mouillages dans la couche de surface océanique, de la thermocline jusqu'à la surface, et en obtenant des profils Argo avec une résolution de 1 dbar, de 100 dbar jusqu'à la surface (ou aussi proche de la surface que possible) ; et

Recommandation 20 Un doublement de la densité des profils Argo de température et de salinité dans les tropiques (10°N - 10°S), afin d'obtenir de meilleurs rapports signal/bruit (mieux que 4 : 1) de façon hebdomadaire, en commençant par le Pacifique Ouest et la zone équatoriale.

□ D'autres éléments du système d'observations in situ devraient être maintenus. C'est le cas du réseau de bouées dérivantes de surface ; des données recueillies en route à partir de navires d'observation bénévoles et de navires d'opportunité (y compris les mesures d'opportunité sur les navires d'entretien du réseau) ; les transects XBT haute-résolution (expandable bathythermograph); les transects hydrographiques

profonds répétés (programme GO-SHIP) ; les sites de références fixes dans le cadre d’OceanSITES ; et les marégraphes pour la calibration et le suivi des variations du niveau de la mer [3.1.1.1, 3.1.1.3, 3.1.1.4, 3.1.1.6, 3.1.2.4, 3.1.3]. TPOS 2020 recommande:

Recommandation 21 Un soutien pour les observations in situ des bouées dérivantes, des navires, des marégraphes et des mouillages de référence.

□ La modélisation et l’assimilation de données sont des composantes fondamentales pour la conception de TPOS et sont essentielles pour fournir des produits intégrés et utiles aux partenaires, notamment des prévisions et des champs grillés combinés. Nous décrivons les actions nécessaires pour aider au design de TPOS 2020, identifier les causes des biais détectés dans les modèles couplés, et évaluer l’influence des observations sur les analyses de l’océan et d’autres produits [3, 4, 6.1.6, 6.1.7, 7.5]. TPOS 2020 recommande:

Recommandation 22 La mise en place d’un programme coordonné (a) d’études spécifiques d’assimilation de données pour évaluer la pertinence du design proposé par TPOS 2020, et (b) d’études spécifiques sur l’utilisation et l’influence des observations au sein d’un sous-ensemble approprié de systèmes d’analyse océanique.

IMPLEMENTATION

Le présent rapport fournit aux partenaires des conseils sur des actions à court terme à mener concernant les plates-formes et d’autres aspects techniques, conformément aux besoins et recommandations listées ci-dessus. L’accent placé sur le court terme exclut généralement les actions concernant les satellites ; le lecteur est invité à se référer aux recommandations pour obtenir des conseils pertinents à ce sujet.

Il est essentiel que toutes les recommandations et actions de TPOS 2020 soient examinées avec soin avant leur mise en œuvre, en tenant compte des engagements et des capacités des partenaires. La transition entre le TPOS tel qu’il existe maintenant et sa configuration future doit être gérée et coordonnée efficacement afin de maintenir les flux de données pour les prévisions opérationnelles, d’assurer la continuité des séries temporelles climatiques et de tenir compte des modifications liées aux méthodes d’échantillonnage [3.2, 7.1 et sections de la partie 7.7]. Une évaluation constante de cette transition est indispensable afin de gérer correctement les risques.

Action 15 En consultation avec les principales parties prenantes, notamment le GOOS, JCOMM, l’OMM/WIGOS et le GCOS, un processus de transition devrait être initié, comprenant la création d’un Groupe TPOS2020 chargé de la transition et de l’implémentation, qui aura pour mission de superviser la mise en œuvre des recommandations et des actions du TPOS 2020.

□ L’action la plus urgente consiste à remédier à la perte du réseau de mouillages dans l’ouest du bassin; il s’agit ici de rétablir les observations les plus importantes et de trouver des partenaires prêts à s’engager durablement [1.2, 7.2, 7.4.3].

Action 1 Les six sites du réseau de mouillages dans le Pacifique Ouest entre 2°S et 2°N devraient être maintenus ou rétablis.

Action 2 Les déploiements de flotteurs Argo devraient être doublés immédiatement entre 10°S et 10°N dans l’ouest (en particulier dans les zones sans mouillages) afin de maintenir l’échantillonnage de la température et de la salinité de subsurface et de compenser le déclin du réseau de mouillages.

□ Il est recommandé d’augmenter la densité des profils Argo dans toute la région tropicale (10°S-10°N) [recommandations 17 et 20]. L’objectif est d’obtenir un profil tous les 5 jours par boîte de 3°x3° ou, de façon équivalente, un profil par boîte de 2.1°x2.1° tous les 10 jours. L’augmentation serait progressive, et s’appuierait sur les expériences menées dans l’ouest. Près de l’équateur, l’échantillonnage à plus haute

fréquence des mouillages demeure essentiel et complète l'excellente résolution verticale fournie par le réseau Argo [recommandations 18, 19 ; 7.4.3].

Action 3 Les déploiements de flotteurs Argo devraient être doublés dans l'ensemble de la région tropicale (10°S-10°N) avec une résolution verticale accrue dans les couches de surface de l'océan.

□ Les échelles de variabilité océanique, le bruit de petite échelle (par exemple lié aux tourbillons mésoéchelles et aux processus atmosphériques synoptiques) ainsi que différents phénomènes (ondes tropicales d'instabilité et couches barrières) varient à travers le Pacifique tropical. L'adaptation des déploiements et de la programmation des flotteurs pourrait offrir de nouveaux avantages pour TPOS [3, 5.9].

Action 4 Par l'intermédiaire de la « Backbone Task Team » et du Comité directeur Argo, étudier les moyens d'optimiser les déploiements et les missions des flotteurs afin de mieux atteindre les objectifs de TPOS.

□ TPOS 2020 arrive à la conclusion qu'il est justifié de commencer à faire évoluer le réseau de mouillages de sa structuration actuelle en grille régulière entre 8°S et 8°N vers une structuration qui permettra d'échantillonner les différents régimes du Pacifique Tropical avec des mouillages perfectionnés [3.1.1.3]. Ce nouveau réseau permettra aussi d'échantillonner la variabilité grande échelle des champs de surface et de subsurface [3.1]. Un tel changement devra être mis en œuvre avec soin afin de maintenir les séries temporelles climatiques ; il devra être évalué conformément aux Principes de Surveillance du Climat de GOOS. Les actions 5 et 6 pourraient permettre de commencer ces changements.

Les capacités d'échantillonnage actuelles dans la région équatoriale ne permettent pas de résoudre les forts gradients méridiens autour de l'équateur [3.1.3, 3.4, 3.3.3, 5.9.1 ; Recommandation 17]. Compte tenu des capacités des plates-formes disponibles, le moyen le plus efficace serait d'accroître la résolution méridienne de mesures à points fixes autour de l'équateur, à une ou plusieurs longitudes sélectionnées.

Action 5 Des mouillages supplémentaires devraient être déployés à 1°S et 1°N à des longitudes sélectionnées pour mieux résoudre la dynamique équatoriale. Il conviendrait de renforcer l'instrumentation sur tous les mouillages entre 2°S et 2°N à ces longitudes, pour mesurer en particulier dans la mesure du possible des profils de courants,

□ Compte tenu de la capacité du réseau Argo à fournir des profils haute résolution (Action 3) et de la capacité des diffusiomètres et des modèles à mesurer ou simuler les vents alizés [3.1.1.2, 5.1], il est désormais possible de réorienter le TMA vers d'autres priorités.

Action 6 Une reconfiguration progressive du TMA devrait se concentrer sur les régimes clés.

□ Nous recommandons des mesures plus complètes des flux de surface dans les régimes clés, associées à un meilleur échantillonnage de la couche de mélange [3.1.1.3, 5.8 ; Recommandation 15]. Pour ce faire, les mesures à points fixes (mouillages) sont particulièrement bien adaptées en raison de leur capacité à cibler les régimes et à échantillonner ces processus à haute fréquence (échantillonnage diurne).

Action 10 Tous les mouillages équatoriaux devraient être convertis en « flux moorings ».

□ Le TMA actuel, limité à la région 8°S- 8°N, n'offre qu'une couverture partielle des principaux régimes climatiques [3.1] et ne mesure généralement pas toutes les variables nécessaires à l'estimation des principaux flux.

Action 11 Des lignes méridiennes de « flux moorings » devraient être étendues en latitude pour couvrir à la fois les zones de convergence intertropicale et du Pacifique Sud à l'ouest, et la zone de convergence intertropicale, la langue d'eaux froides et la Zone de convergence intertropicale saisonnière de l'hémisphère Sud dans le Pacifique Central et Est.

□ La réduction de la couverture spatiale en dehors de ces régimes clés devrait faire l'objet d'études spécifiques d'évaluation des impacts sur les champs de subsurface, les flux de surface (notamment la tension du vent), et la collecte de mesures d'opportunité sur les navires, en particulier des données de $p\text{CO}_2$ [7.4.4.2, 7.4.6]. Les actions 1 et 2 mentionnées précédemment pour le Pacifique Ouest fourniront des informations utiles pour les actions suivantes.

Nous notons l'existence de différences significatives entre les produits de vents et de flux de surface dans la région tropicale ainsi qu'un manque d'études sur l'impact des données météorologiques de surface du TMA sur les prévisions météorologiques et les produits de réanalyses associés, ainsi que sur les modèles couplés [3.1, 4].

Action 7 Encourager les études de sensibilité et d'impact des données de vent sur les analyses opérationnelles et les réanalyses et sur les produits de tension du vent, notamment pour leur application à la détection des changements climatiques. L'efficacité des métadonnées (codes flags de pluie) ainsi que des différentes méthodes d'inter-calibration des diffusiomètres devrait également être ré-évaluée.

Action 8 Renouveler et aider à coordonner les efforts visant à comprendre la sensibilité et à évaluer l'impact des données de flux air-mer du réseau de mouillages dans les prévisions météorologiques, les réanalyses atmosphériques et les modèles couplés, notamment par le biais des activités existantes axées sur l'impact des observations.

Voir également l'Action 13 ci-dessous.

□ Les actes de vandalisme sur les bouées du TMA ont constitué un problème récurrent, en particulier pour la ligne de mouillages TAO à 95°W, et ont entraîné une réduction des mesures lors du récent épisode El Niño de 2015-2016. Une implication régionale serait utile pour maintenir l'échantillonnage de cet important régime.

Action 9 Le Groupe chargé de la Transition et de l'Implémentation (voir Section 7.7) devrait lancer un dialogue avec les partenaires de TPOS afin de trouver des solutions durables aux différents problèmes de mise en œuvre rencontrés dans les régions du Pacifique Ouest et Est, en particulier pour les mouillages, éléments indispensables du réseau.

□ La réorientation du TMA s'accompagne de risques, en particulier pour les observations de flux de surface, certaines d'entre elles n'ayant actuellement aucune alternative aux mesures faites sur les mouillages. Pour atténuer ces risques, il faudrait encourager les navires d'observation bénévoles et d'autres systèmes in situ à effectuer ce type de mesures. Les nouvelles technologies et les améliorations des tests et calibrations des réanalyses et des produits météorologiques offrent des possibilités supplémentaires pour répondre aux besoins liés aux flux de surface [7.4.6].

Action 13 Afin d'atténuer les risques de ne pas pouvoir répondre aux besoins en mesures de flux de surface, résultant des modifications du TMA, TPOS 2020 cherche à (a) améliorer l'échantillonnage des variables de flux par la flotte de navires d'observation bénévoles du climat et par d'autres systèmes in situ, (b) soutenir les nouveaux développements technologiques pertinents, et (c) encourager les efforts visant à améliorer le réalisme des réanalyses et éventuellement des produits de prévision météorologiques en temps réel, grâce à des techniques de correction de sorties/d'ajustement des flux.

□ Les besoins, recommandations et actions relatifs aux mesures biogéochimiques et aux écosystèmes occuperont une place centrale dans les prochains rapports de TPOS 2020. Le présent rapport met en avant la pertinence et l'utilité des mesures biogéochimiques pérennes et expérimentales pour la société [2.6.7, 3.3.5]. L'utilisation opportuniste des plates-formes existantes, telles que les mouillages, les flotteurs et les navires de recherche et d'entretien du réseau est une stratégie primordiale. En particulier, utiliser au

maximum les campagnes de maintenance des mouillages est essentiel pour les observations biogéochimiques. Les navires de maintenance devraient poursuivre les mesures de $p\text{CO}_2$ en route afin d'assurer la continuité de la série temporelle de flux de CO_2 , de valider les mesures obtenues par les mouillages et les nouvelles technologies, et de replacer dans leur contexte la variabilité spatiale entre les observations des mouillages. Cartographier l'étendue de la zone de minimum d'oxygène du Pacifique Est fait également partie des actions urgentes que TPOS pourrait mener [3.3.5].

Action 12 Les mesures de $p\text{CO}_2$ effectuées en route devraient être maintenues ou rétablies sur tous les navires de maintenance des mouillages ; le réseau actuel de mesures de $p\text{CO}_2$ sur les mouillages devrait être maintenu et éventuellement étendu. Des mesures d'oxygène dissous de la surface à environ 1 500 mètres de profondeur devraient être effectuées sur les navires lorsque cela est possible, et il faudrait envisager d'installer des capteurs d'oxygène sur chaque mouillage.

□ Plusieurs « Etudes Pilotes » et « Etudes de Processus » sont présentées dans ce rapport, ainsi que les travaux actuellement menés par les équipes du projet TPOS 2020. Certaines de ces études sont des étapes préalables indispensables pour affiner les stratégies d'échantillonnage et évaluer et améliorer le coût et la pertinence du réseau pour une implémentation pérenne. D'autres études visent une meilleure compréhension des phénomènes et des processus [3.3], dont certains font l'objet, intégralement ou en partie, des recommandations et des actions ci-dessus.

Outre les initiatives du projet recommandées ci-dessous, plusieurs groupes autour du Pacifique participent déjà à des projets de recherche exploitant les développements techniques récents qui offrent de nouvelles opportunités pour TPOS 2020 [7.5.2].

Les nouvelles technologies sont également prises en considération, en ce qu'elles élargissent les possibilités de participer au développement du TPOS et de réaliser des gains d'efficacité et/ou de renforcer la pertinence et l'impact du système d'observation.

Les projets recommandés et les initiatives encouragées sont notamment les suivants [6.1, 6.2, 10] :

Études/programmes pilotes pour le « Backbone »

- Observation des courants de bord ouest : Étude pilote [6.1.1]
- Guide d'onde équatorial et côtier dans le Pacifique Est, et système d'upwelling [6.1.2]
- Identification des échelles spatiales et temporelles importantes pour la biogéochimie dans TPOS [6.1.3]
- Mesures directes des flux air-mer, des vagues, et leur rôle dans les interactions océan-atmosphère [6.1.4]
- Projet d'Observatoire du climat sur l'île de Clipperton pour l'étude de la ZCIT du Pacifique Est [6.1.5]
- Évaluation de l'impact des modifications du réseau TPOS [6.1.6]
- Comparaison des analyses et utilisation des observations de TPOS [6.1.7]

Études de processus

- Upwelling dans le Pacifique et physique du mélange [6.2.1]
- Interaction air-mer au bord Nord de la Warm Pool du Pacifique Ouest [6.2.2]
- Interaction air-mer au bord Est de la Warm Pool [6.2.3]
- Système ZCIT/Warm Pool/langue d'eaux froides/stratus du Pacifique Est [6.2.4]

Exemples de projets financés pour tester de nouvelles technologies

- Flotteurs profilants équipés de capteurs de précipitations, de vitesse du vent et de capteurs biogéochimiques (NOAA) [10.2.1]
- Navires de surface autonomes comme plates-formes économiques pour TPOS (NOAA) [10.2.2]

- Expérience de mesure de flux sur planeur sous-marin (JAMSTEC) [10.2.3]
- Observations de la couche limite océanique à partir du réseau TAO de mouillages NDBC (NOAA) [10.2.4]
- Développement et test de mesures directes de flux turbulents (« eddy covariance ») pour les bouées TAO du NDBC (NOAA) [10.2.5]

Action 14 Les « études pilotes » et les « études de processus » devraient être soutenues par le biais du Forum de Ressources de TPOS 2020, du Groupe chargé de la Transition et de l'Implémentation de TPOS 2020 et des liens avec les programmes de recherche et les bailleurs de fond. Ces études contribueront au perfectionnement et à l'évolution de l'ossature du réseau TPOS.

Le présent rapport est le premier d'une série de rapports TPOS 2020. Les premières recommandations et actions marquent le début d'un processus de transformation et d'évolution d'un système d'observation qui sera plus performant, plus résilient et plus efficace. La conception intégrée réduit la dépendance à une plateforme unique, et son implémentation exploite les gains d'efficacité liés aux développements technologiques récents. Les conditions océaniques de surface à grande échelle seront mieux suivies. Les principaux régimes seront observés dans leur intégralité, afin de fournir une description plus précise de l'évolution du climat dans le Pacifique tropical et de guider le développement des modèles couplés. Les améliorations apportées au réseau TPOS permettront de faire des progrès plus que nécessaires dans les systèmes de modélisation opérationnels, afin de répondre aux enjeux scientifiques des prochaines décennies.

Les prochains rapports permettront d'affiner le design du réseau grâce aux progrès technologiques et aux nouvelles connaissances acquises lors des « études pilotes » et des « études de processus ». Les observations biogéochimiques et écosystémiques, ainsi que leur interprétation dans le contexte d'observations physiques renforcées, feront l'objet d'une attention particulière. L'intégration de l'ensemble des observations TPOS par l'assimilation et les synthèses accroît leur intérêt. Ainsi, les évolutions futures du réseau répondront aux besoins liés aux nouvelles paramétrisations et à l'évolution des modèles permettant une plus grande efficacité des systèmes d'assimilation de données.