



CENTRE ROYAL DE TELEDETECTION SPATIALE

BILAN À MI-PARCOURS DE L'AGENDA SPACE 2030

RAPPORT DU CRTS

I. PROJETS AU CRTS SUR L'EXPLOITATION DES TECHNIQUES DE L'OBSERVATION DE LA TERRE AU PROFIT DES OBJECTIFS DE DÉVELOPEMENT DURABLE

OBSERVATION DE LA TERRE POUR LA SURVEILLANCE DE LA SÉCHERESSE MAROC

Objectif global : 1 et 2	Actions : 1.2 et 1.7 Action : 2.3 et 2.4 et 2.5
Pays/Organisation	Maroc / Centre Royal de Télédétection Spatiale (CRTS)
Partenaires du projet	- Ministère de l'Agriculture - Ministère de l'Équipement et de l'Eau - Universités
Bref résumé du projet et objectifs	Au Maroc, la sécheresse est devenue un élément structurel du climat et a des conséquences désastreuses sur l'économie nationale en raison de la forte relation entre la contribution du PIB agricole au produit intérieur brut global du pays et la quantité de précipitations annuelles. La variabilité spatiotemporelle de la sécheresse au Maroc complexifie la gestion du risque de sécheresse. L'utilisation d'indices et d'indicateurs issus de l'Observation de la Terre devient aujourd'hui un outil fondamental pour la surveillance de la sécheresse. Au CRTS, les techniques de télédétection sont utilisées pour surveiller la sécheresse pendant les saisons agricoles, sur la base d'indicateurs calculés à partir de données satellitaires. La méthodologie consiste à produire un indice composite combinant quatre paramètres extraits de données satellitaires. Ces paramètres sont : l'indice de précipitation standardisé calculé à partir des données satellitaires (CHIRPS), les anomalies de la différence jour-nuit de la température de surface terrestre, les anomalies d'évapotranspiration et les anomalies de l'indice de végétation par différence normalisée (à partir des données MODIS et VIIRS). Les cartes de l'indice composite de sécheresse (CDI) sont générées mensuellement à l'échelle nationale pendant les saisons de croissance depuis 2003.
ODD pertinents	ODD1, ODD2, ODD6, ODD15
Solution spatiale/satellite :	Toutes les données d'entrée utilisées pour la surveillance de la sécheresse proviennent principalement d'observations spatiales. Les températures de surface et l'indice de végétation sont obtenus grâce aux satellites MODIS et VIIRS. Le paramètre d'évapotranspiration est également calculé à l'aide de modèles de bilan énergétique de surface intégrant des données satellitaires. Les données CHIRPS combinent des données météorologiques en temps réel et des données infrarouges pour estimer les précipitations à l'échelle mondiale. Le rôle de l'espace dans ce projet est de faciliter l'accès périodique aux données d'observation de la Terre afin de surveiller l'exposition au risque de sécheresse et d'évaluer la vulnérabilité à la sécheresse.

Impact du projet	- Des cartes CDI à une résolution spatiale de 0,05° sont générées mensuellement à l'échelle nationale depuis 2003. Cet indicateur quadrillé présente les zones présentant différentes classes d'intensité de sécheresse (modérée, sévère, extrême et exceptionnelle). Il aidera les décideurs à identifier les zones où des priorités doivent être définies en matière de distribution d'eau et/ou de nourriture. - Les bulletins sont édités mensuellement et diffusés aux utilisateurs finaux pendant les saisons agricoles afin de relier les informations sur la sécheresse à la surveillance et à la gestion des terres agricoles. - Une carte mondiale de la vulnérabilité structurelle à la sécheresse a été générée à partir des données historiques de l'CDI, des classes de sols, des classes d'occupation du sol et d'un indice de pauvreté multidimensionnel. Cette carte montre la fréquence des zones de sécheresse.
Référence	Bijaber, N. , Rochdi , A. Yessef , M., et El Yacoubi , H. (2024). Cartographie de la vulnérabilité structurelle à la sécheresse au Maroc. Revue internationale d'ingénierie et de géosciences, 9 (2), 264-280. Bijaber , N. , El Hadani, D., Saidi, M., Svoboda, MD, Wardlow , BD, Hain, CR, Poulsen , CC, Yessef , M., Rochdi , A. 2018 . Développement d'un indicateur de surveillance de la sécheresse par télédétection pour le Maroc. Géosciences 2018, 8, 55.

OBSERVATION DE LA TERRE POUR L'ÉVALUATION DES RESSOURCES EN EAU AU MAROC

Objectif global : 1 et 2	Actions : 1.2 et 1.7 Action : 2.2
Pays/Organisation observatrice	Maroc / Centre Royal de Télédétection Spatiale (CRTS)
Partenaires du projet	Ministère de l'Équipement et de l'Eau
Bref résumé du projet et objectifs	Le projet porte sur l'estimation des prélèvements d'eau souterraine pour l'irrigation en période de sécheresse. La méthodologie repose sur l'utilisation d'images satellite à très haute résolution combinées à des données in situ pour identifier les principales classes d'occupation du sol irriguées durant l'été 2024. Ces classes sont: les cultures irriguées en permanence, les arbres fruitiers et tous les types de cultures sous serre. La carte générée sur les zones étudiées sera complétée par des données de terrain (types de cultures et quantité d'eau consommée par chaque type), afin d'estimer la consommation globale d'eau pour l'irrigation durant la période étudiée. En l'absence d'eau de surface disponible pour l'irrigation à l'échelle nationale durant l'été 2024 (en raison de la sécheresse), toutes les zones cultivées ont été irriguées grâce aux eaux souterraines. Par conséquent, l'étude permet de connaître le taux global d'eau souterraine utilisée pour l'irrigation.
ODD pertinents	ODD1, ODD2, ODD6, ODD15

Solution spatiale/satellite :	Les informations les plus importantes de ce projet sont générées à partir d'images satellite. Par conséquent, contrairement aux méthodes traditionnelles utilisées pour gérer et surveiller les ressources en eau, les nouvelles méthodes et technologies basées sur les données spatiales sont aujourd'hui fondamentales pour capturer des données en temps réel et réduire les biais humains, notamment dans les zones reculées ou inaccessibles. La première partie du projet consiste à appliquer l'apprentissage automatique aux données Sentinel-2 de l'ESA afin de générer rapidement des cartes des zones irriguées (cultures, arbres fruitiers et serres). Ces cartes sont ensuite détaillées à l'aide des données satellitaires marocaines à très haute résolution Mohammed-6. Les cartes obtenues seront complétées par des données de référence afin d'estimer la quantité totale d'eau des ressources en eau souterraines extraites.
Impact du projet	- Le projet démontrera l'importance de l'utilisation de la technologie spatiale pour évaluer « l'offre » et la « demande » d'eau dans l'espace et dans le temps. - Permettre au Gouvernement du Maroc (Ministère de l'Équipement et de l'Eau) de détecter les principales zones et les principales classes d'occupation du sol les plus consommatrices d'eau en période de sécheresse. - Les données satellitaires intégrées aux outils géospatiaux et aux données in situ permettent une gestion plus efficace et plus précise des ressources en eau à chaque niveau du bassin versant.

OBSERVATION DE LA TERRE POUR L'URBANISME ET L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE AU MAROC

Objectif global : 3	Actions : 3.1 et 3.2
Pays/Organisation	Maroc/ Centre Royal de Télédétection (CRTS)
Partenaires du projet	- Ministère de l'Aménagement du Territoire, du Logement et de la Politique de la Ville - Ministère de l'Intérieur - Conseils régionaux et agences régionales d'exécution de projets - Agences urbaines et collectivités locales - Bureaux d'études et de conseil
Bref résumé du projet et objectifs	L'imagerie satellitaire haute résolution joue un rôle essentiel dans le suivi de la croissance urbaine dans les pays en développement, où l'urbanisation rapide dépasse souvent les méthodes traditionnelles de collecte de données. Ces projets fournissent des informations détaillées sur l'évolution de l'utilisation des sols et le développement des infrastructures, permettant aux utilisateurs finaux et aux partenaires de cartographier l'expansion urbaine et d'identifier les zones à risque de croissance incontrôlée. L'objectif principal est de fournir des images et des cartes actualisées de leurs zones d'intervention. Chaque partenaire formule ses propres exigences en termes de territoire à couvrir, d'échelle de cartographie et de précision requise. Une étude de faisabilité est ensuite réalisée et un cadre contractuel est mis en place pour mener à bien le projet. Outre les livrables cartographiques, un soutien est assuré par l'équipe projet du CRTS, ainsi qu'un transfert de savoir-faire via le renforcement des capacités des partenaires.
ODD pertinents	ODD11.3 : Urbanisation inclusive et durable

Solution spatiale/satellite :	L'imagerie satellitaire haute résolution améliore considérablement la précision du suivi de la croissance urbaine en fournissant des données détaillées et spatialement complètes sur les changements d'affectation des sols et l'expansion urbaine. Ces images permettent une cartographie précise des zones bâties, des infrastructures et des impacts environnementaux à un niveau de détail précis, parfois à 50 ou 30 cm de résolution, permettant ainsi de détecter des aménagements même à petite échelle.
Impact du projet	• La création d'ensembles de données et de cartes à long terme permet de détecter les tendances de l'étalement urbain et d'évaluer les progrès vers les objectifs de développement durable tels que la réduction de la pauvreté et l'égalité des infrastructures. • Les données satellitaires sont des outils stratégiques pour une gestion territoriale pertinente, car elles permettent de bien comprendre les ressources disponibles, en termes de distribution, d'évolution et de dynamique, ainsi que l'interaction entre les différentes parties prenantes, les options et les conflits d'usage. • Les données satellitaires contribuent à une gestion efficace des ressources et garantissent une croissance durable des villes tout en minimisant la dégradation de l'environnement.
Référence	www.crtts.gov.ma

OBSERVATION DE LA TERRE POUR LA GESTION DU LITTORAL AU MAROC

Objectif global : 1 et 2	Actions 1.1 et 1.2 Actions 2.2 et 2.7
Pays/Organisation	Maroc / Centre Royal de Télédétection Spatiale (CRTS)
Partenaires du projet	Ministère de l'Équipement et de l'Eau Direction des Ports et du domaine public maritime
Bref résumé du projet et objectifs	L'objectif du projet est de couvrir le littoral national avec des images récentes à très haute résolution sur une largeur de 5 km et de produire une carte côtière de cette zone sur une zone tampon maximale de 1 km à partir du littoral. La zone à couvrir s'étend sur 3 500 km en Atlantique et en Méditerranée. Objectifs spécifiques : Sur une période de 5 ans, le projet fournira aux autorités régionales des images satellite et des cartes thématiques basées sur une nomenclature spécifique afin de cartographier le littoral en général et de surveiller certaines zones clés en particulier (carrières de sable, domaine public maritime, infrastructures côtières, etc.).
ODD pertinents	ODD11, ODD15
Solution spatiale/satellite :	La cartographie côtière détaillée de toutes les structures du littoral (zones sableuses, zones rocheuses, infrastructures côtières, géomorphologie côtière.) a été produite sur tout le littoral nationale grâce à une nomenclature concertée avec le Département de l'Équipement. De même, une cartographie des marqueurs de position du trait de côte a été également réalisée. Cette information actualisée a été produite grâce à la contribution des satellite Mohammed IV A et B. Les données geo-spatiales générées par le CRTS, en plus d'être disponibles au sein des Directions Régionales de l'Équipement, sont actuellement intégrées dans les plateformes Géo Web du Ministère de l'Équipement.

Impact du projet	-Les images satellites à très haute résolution fournissent des informations cruciales sur la surveillance côtière dans des délais raisonnables -Mettre à disposition des collectivités territoriales des cartes thématiques du littoral ; -Surveiller les points chauds côtiers ; -Former les services concernés à l'utilisation des images satellites ; - Améliorer la connaissance de la vulnérabilité côtière ; - Créer des bases de données côtières ;
Référence	www.crts.gov.ma

OBSERVATION DE LA TERRE POUR LA GESTION DES RISQUES AU MAROC

Objectif global : 2, 3	Actions 2.2- 2.5- 2.8 Actions 3.4-3.6- 3.8
Pays/Organisation	Maroc / Centre Royal de Télédétection Spatiale (CRTS)
Partenaires du projet	Ministère de l'Intérieur du Maroc, Direction de la Gestion des Risques Naturels du Maroc ; Fonds de Solidarité pour les Evénements Catastrophiques (FSEC)
Bref résumé du projet et objectifs	Le projet consiste à organiser les aspects de prévision et de réponse aux catastrophes naturelles avec des techniques spatiales. Objectifs spécifiques : 1/ Par l'utilisation de produits satellitaires, de mettre en place et de former des équipes techniques communes qui seront chargées de développer rapidement des produits cartographiques pour aider à lutter contre les catastrophes naturelles et tous les aspects liés aux risques tels que les cartes de vulnérabilité, la modélisation des risques... ; 2/ L'utilisation de la Charte internationale : Espace et catastrophes majeures, à travers la coopération avec UN-SPIDER et d'autres organisations internationales ; 3/ Travailler avec les services concernés pour mettre en place des plateformes spatiales spécifiques à chaque type de risque particulièrement Inondation, séisme, glissement de terrain et Tsunami
ODD pertinents	ODD3-ODD6-ODD11-ODD13-ODD15-ODD17
Solution spatiale/satellite :	Cas du Séisme du Haouz (Septembre 2023) : Un suivi des zones touchées a été réalisé par la CRTS par l'usage de plusieurs types de satellites notamment les satellite Mohammed IV A et B. Ces produits qui mettent en évidence les bâtis touchés ainsi que l'état de destructions ont été mis à la disposition des départements concernés par l'intervention ainsi que le FSEC. Cas des inondations : Depuis plusieurs années le CRTS a suivi par satellite différents cas d'inondations (Gharb, Mohammedia, Tata, Tétouan,) en mettant à disposition des départements concernés les cartographies des zones touchées ainsi que leur suivi spatio-temporel. Pour le cas des inondations de Tata (Septembre 2024), la Charte Internationale « Espace et Catastrophes Majeures » a été enclenchée par le CRTS avec l'appui d'UN-SPIDER. Cette initiative a permis de faire fédérer les acquisitions en images satellite des zones touchées par une douzaine d'agences spatiales internationales. Le CRTS a également participé à cette démarche à travers sa contribution à l'élaboration

	de produits à valeur ajoutés (Value Adder) (Cartes des zones touchées, cartes d'évolutions,)
Impact du projet	- Améliorer la connaissance du cycle du risque grâce à l'utilisation de l'observation spatiale ; - Développer des bases de données géospatiales sur les zones à risque ; - Fédérer les connaissances pour une gestion de crise efficace ; - Faciliter l'échange de connaissances, notamment d'informations spatiales pour la gestion de crise ; - Améliorer les processus de gestion de crise en cas de catastrophe ; - Développer des plateformes géospatiales par type de risque
Référence	www.crts.gov.ma https://cgt.disasterscharter.org/en/913

OBSERVATION DE LA TERRE POUR L'AGRICULTURE ET L'EAU AU MAROC : PROJET IRRISAT

Objectif global : 1 et 2	Actions 1.1-1.2 Action 2.2
Pays/Organisation	Maroc / Centre Royal de Télédétection Spatiale (CRTS)
Partenaires du projet	Agences de bassin hydraulique, Ministère de l'Equipeement et de l'Eau Bureaux régionaux de développement agricole, ministère de l'Agriculture Les agriculteurs
Bref résumé du projet et objectifs	Le projet IRRISAT-MAROC a permis d'opérationnaliser la production d'informations et d'indicateurs sur l'eau d'irrigation à l'échelle de la parcelle, du bassin versant et du périmètre irrigué via l'interface IRRISAT. IRRISAT utilise le modèle SEBAL pour estimer l'évapotranspiration (réelle, potentielle et de référence), la biomasse et l'humidité du sol, et produire des indicateurs de consommation, de besoins et de productivité en eau d'irrigation. Une plateforme en ligne a été développée pour mettre ces informations à la disposition des directions régionales du développement agricole, des agriculteurs de la région et des agences de bassin. <u>Objectifs spécifiques :</u> La plateforme IRRISAT a été utilisée pour générer des cartes de l'évapotranspiration réelle, de la biomasse et de l'humidité du sol : • à fréquence quotidienne sur le bassin versant du bassin (d'après les données VIRRS) • à une fréquence hebdomadaire sur le périmètre irrigué (à l'aide de données Landsat) pendant la saison agricole Dans le but de produire des indicateurs à une fréquence quotidienne avec une bonne résolution spatiale, des recherches ont été menées pour Désagréger la résolution du canal thermique du capteur VIIRS de 375 m à 30 m/20 m à l'aide des capteurs Landsat/Sentinel-2. Cette recherche a testé des algorithmes d'apprentissage automatique et d'apprentissage profond pour relier le canal thermique VIIRS à la réflectance de Landsat et Sentinel-2.
ODD pertinents	ODD1, ODD2, ODD6

Solution spatiale/satellite :	Données satellitaires : • VIIRS, résolution 375 m • Landsat, résolution 30 m • Sentinel-2, résolution 10 m • Mohammed VI A et B, résolution ~ 0,5 m
Impact du projet	• Mieux gérer et rationaliser l'utilisation des eaux de surface et souterraines • Réduction de la demande en eau pour l'irrigation • Les agriculteurs peuvent maximiser les avantages des ressources en eau et contribuer à la résilience globale des systèmes agricoles • Les agriculteurs bénéficient d'une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau et de meilleurs rendements agricoles.
Référence	www.crtts.gov.ma

ÉVALUATION DU RISQUE DE TSUNAMI LE LONG DES CÔTES MAROCAINES

Objectif global : 1 et 3	Action 1.6 Actions 2.2 - 2.3 - 2.5
Pays/Organisation	Maroc / Centre Royal de Télédétection Spatiale (CRTS)
Partenaires du projet	- Ministère de l'Intérieur du Maroc, Direction de la Gestion des Risques Naturels (DGRN) - Fonds de solidarité pour les événements catastrophiques (FSEC)
Bref résumé du projet et objectifs	Le projet consiste à mettre en place une méthodologie simple et transférable pour évaluer le risque de tsunami le long des côtes marocaines et produire des cartes de risque de tsunami, de vulnérabilité des bâtiments et de dommages potentiels aux bâtiments. Objectifs principaux : - Développement d'une évaluation robuste des risques de tsunami transférable à n'importe quelle zone côtière du pays - Production de cartes des risques de tsunami, de la vulnérabilité des bâtiments et des dommages aux bâtiments - Réalisation d'un atlas des risques de tsunami couvrant la majeure partie des zones côtières marocaines menacées par le risque tsunami
ODD pertinents	ODD1.1. Rendre les villes et les établissements humains inclusifs, sûrs, résilients et durables ODD1.2. Prendre des mesures urgentes pour lutter contre le changement climatique et ses conséquences

Solution spatiale/satellite :	L'évaluation du risque de tsunami sur les côtes marocaines repose sur une combinaison de données de modélisation, de données in situ et d'observations satellitaires. Diverses données utilisées comme données d'entrée pour la modélisation du risque de tsunami sont extraites d'images haute résolution telles que le Modèle Numérique d'Élévation et le trait de côte. Ensuite, l'imagerie satellitaire à très haute résolution est largement utilisée pour définir les classes de vulnérabilité des bâtiments inclus dans les zones côtières potentiellement inondées par les vagues de tsunami.
Impact du projet	- Améliorer les connaissances sur la menace des tsunamis et identifier les zones côtières à risque - Prise en compte du risque de tsunami dans la stratégie nationale de gestion des risques naturels - Produire des informations utiles et précieuses à utiliser dans le futur système d'alerte aux tsunamis
Référence	-Atillah A , El Hadani D. , Moudni H. , Lesne O. , Renou C. , Mangin A. , Rouffi F. , 2011 . Évaluation de la vulnérabilité et des dommages aux tsunamis dans la zone côtière de Rabat et Salé , Maroc. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 3397–3414. - Renou C., Lesne O., Mangin A., Rouffi F. , Atillah A., El Hadani D. et Moudni H. (2011). Évaluation des risques de tsunami dans la zone côtière de Rabat et Salé , Maroc. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 2181–2191, 2011 11

UTILISATION DES DONNÉES SATELLITAIRES THERMIQUES POUR DÉRIVER DES INDICES DE REMONTÉE D'EAU LE LONG DES CÔTES ATLANTIQUES MAROCAINES

Objectif global : 1 et 2	Actions : 1.2 - 1.6 -1.7 Action : 2.2
Pays/Organisation	Maroc / Centre Royal de Télédétection Spatiale (CRTS)
Partenaires du projet	-Institut National de Recherche Halieutique, Ministère de la Pêche
Bref résumé du projet et objectifs	Le projet visait à développer une application permettant l'extraction d'un indice d'upwelling le long des côtes marocaines à partir d'images satellite thermiques. Les principaux objectifs de ce travail sont : - Identification des zones de remontées d'eau froide le long des côtes marocaines - Suivi de la variabilité des remontées d'eau dans le temps et dans l'espace. - Comprendre l'impact des fluctuations de la remontée d'eau sur la variation des stocks de poissons pour une meilleure gestion et efficace des efforts de pêche
ODD pertinents	ODD1- ODD2

Solution spatiale/satellite :	La solution proposée est un outil opérationnel de production d'indices d'upwelling par satellite thermique permettant à l'Institut national des pêches (INRH) de comprendre l'influence de ce phénomène sur la fluctuation des stocks de ressources marines, principalement de poissons pélagiques. En effet, le système d'upwelling atlantique marocain est l'un des systèmes côtiers les plus productifs au monde, caractérisé par une forte variabilité temporelle et spatiale. La solution basée sur des données satellitaires proposée pour extraire les indices d'upwelling permet d'acquérir des informations actualisées décrivant la situation de ce phénomène (variation spatio-temporelle) et son impact potentiel sur l'abondance et la répartition des stocks de poissons.
Impact du projet	- Les résultats de ce projet en termes d'application d'indices d'upwelling constituent un moyen simple d'obtenir des informations utiles en temps réel, qui pourraient être utilisées dans le développement d'actions de gestion des pêches. - Le suivi de ces phénomènes naturels aidera réellement les gestionnaires des pêches à identifier et à prévoir les changements brusques qui ont un impact direct sur les prises de poissons. - La production d'une longue série d'indices d'upwelling permettra de mieux comprendre d'abord la relation entre la variation des ressources marines et les fluctuations du phénomène d'upwelling, puis l'impact du changement climatique sur ce phénomène.