

Rapport d'activité T2.2.2: Méthodologie d'analyse des phénomènes liés au équilibre sédimentaire.

Contribution technique du partenaire Arpas
au Produit T2.2.3:

Méthodologie Équilibre sédimentaire - La contribution
sédimentaire des bassins fluviaux:

Sommario

1	Introduction.....	3
2	Bilan sédimentaire des plages: l'évaluation qualitative et quantitative des relations entre le bassin versant et les plages.	4
2.1	La structure de la méthode	4
2.1.1	Caractérisation du système fluvial (phase 1).....	5
2.1.1.1	Echelles de représentation spatiale et temporelle:	5
2.1.1.2	Cadre géologique et géomorphologique.....	6
2.1.1.3	Caractérisation sédimentologique et minéropéetrographique	7
2.1.1.4	Cadre hydrogéologique	9
2.1.1.5	Cadre climatique et hydrologique	9
2.1.1.6	Utilisation des terres et couverture végétale;.....	10
2.1.1.7	Travaux d'altération des débits liquide et solide dans le bassin.	11
2.1.1.8	Bilan sédimentaire et estimation / évaluation du transport solide	11
2.1.2	Évolution passée et évaluation des conditions actuelles (phase 2)	14
2.1.2.1	Mesure des indices morphologiques (profondeur du fonds, sinuosité, entrelacement, etc.) et analyse historique de la variation de la configuration morphologique.....	14
2.1.2.2	Évaluation de l'état morphologique: l'indice IQM	17
2.1.3	Surveillance morphologique du réseau hydrographique, du lit principal et du secteur de la bouche de la rivière (phase 3).....	18
2.1.3.1	Surveillance des éléments morphologiques naturels.....	18
2.1.3.2	Surveillance des éléments artificiels	19
2.1.3.3	Autres éléments d'analyse et de suivi: débits solides et utilisation des terres.....	19
2.1.4	Gestion des sédiments et plan d'action (Phase 4)	20

1 Introduction

L'analyse développée dans le cadre de l'activité T1.2, le rapport T.1.1. "Analyse critique des systèmes de surveillance et du type de données suivies avec l'évaluation des coûts bénéfiques des méthodologies utilisées", a souligné, pour les raisons déjà indiquées, un manque et un manque de disponibilité de données et d'informations relatives aux études sur les processus d'érosion, de transfert et de dépôt des sédiments dans les secteurs côtiers sous-jacents. Ce constat concerne notamment les systèmes de surveillance des bassins versants.

Le fait de disposer des méthodologies et des protocoles techniques bien définis est également nécessaire afin de contribuer à l'évaluation de l'équilibre sédimentaire des plages. Comme exposé dans le document susmentionné, les réseaux fluviaux représentent le principal réseau naturel par lequel les sédiments sont transférés des zones de production sur les pentes vers les zones de stockage, telles que les plaines inondables, et enfin vers les embouchures et les rives. La quantité de sédiments sableux rejetés à l'embouchure d'une rivière est le résultat de phénomènes naturels, géomorphologiques, hydrologiques et hydrauliques complexes qui interagissent continuellement et qui, à leur tour, sont directement ou indirectement influencés par les diverses activités anthropiques.

La compréhension de ces phénomènes est donc une exigence essentielle, la fois pour la prévention de l'instabilité hydrogéologique et la conception et la gestion des ouvrages hydrauliques, mais également pour toute gestion des côtes. Ce dernier objectif ne peut être approfondi que par une connaissance adéquate de la quantité, de la qualité et de la distribution dans l'espace et le temps des sédiments, en analysant tout d'abord les contributions des cours d'eau. A cette fin, il est nécessaire d'avoir une connaissance du fonctionnement du système (bassin versant) et de disposer d'outils d'analyse et d'évaluation, directs et indirects, du transport fluvial.

La proposition est développée selon un schéma méthodologique de base qui rappelle la méthodologie IDRAIM *, protocole déjà adopté en Italie pour l'évaluation hydromorphologique des cours d'eau. Dans le contexte du projet Maregot, cette méthodologie a été simplifiée et adaptée aux objectifs du projet, preuve de sa flexibilité reconnue pour les études de réhabilitation des rivières, la gestion des sédiments et la planification des interventions de restauration morphologique.

La proposition doit être considérée comme intégrée à la méthodologie liée au bilan sédimentaire "plages".

2 Bilan sédimentaire des plages: l'évaluation qualitative et quantitative des relations entre le bassin versant et les plages.

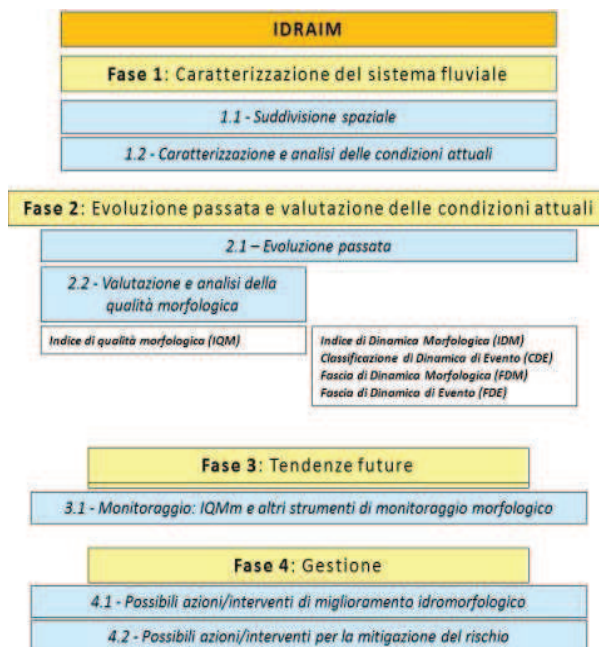
2.1 La structure de la méthode

La méthode proposée est développée selon un schéma linéaire, représenté par des phases logiques, multicritères et suivantes, qui rappelle, pour ses caractéristiques et pour l'application de la caractérisation hydromorphologique des cours d'eau, la méthodologie IDRAIM, (Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. (2016): IDRAIM - Systèmes d'évaluation hydromorphologique, analyse et suivi des cours d'eau - ISPRA - Manuels et directives 131/2016, Rome, janvier 2016).

L'utilisation de la méthode permet de caractériser l'ensemble du système hydrographique, à travers l'identification et l'analyse des conditions actuelles (Phase 1), l'évaluation de leur évolution, à différentes échelles spatiales et temporelles, (Phase 2), le suivi et la prévision des tendances évolutives (Phase 3).

Le développement des trois phases décrites ci-dessus, préparatoire au développement du projet et, pour l'application de la méthode dans les «zones pilotes», conduit à la Phase 4 (Gestion et Gouvernance) avec l'identification des actions possibles visant à l'amélioration hydromorphologique. à la définition d'un «Plan de gestion et d'action des sédiments» selon les indications suivantes:

- ✓ priorité d'action et sélection des caractéristiques critiques (qualité hydromorphologique et identification des facteurs d'altération, définition des priorités d'action et identification des problèmes critiques);
- ✓ scénarios d'intervention pour l'amélioration des écoulements sédimentaires (propositions d'amélioration morphologique, d'évaluation et de suivi des effets).



IDRAIM, (Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. - Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma, gennaio 2016 - **Adattato**)

* (Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. (2016): IDRAIM – Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua – Versione aggiornata 2016 – ISPRA – Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma, gennaio 2016).

Les objectifs à atteindre peuvent être résumés dans le diagramme ci-contre.

Il est évident que cette phase de planification et de gouvernance sera coordonnée avec la méthodologie globale de «gestion intégrée» adoptée dans le projet Maregot en référence aux autres aspects méthodologiques traités (climat houleux, hautes côtes, habitats et écosystèmes, gestion des risques côtière).

Obiettivo 1: Compréhension de la dynamique de la rivière géomorphologique et de l'habitat mental des cours d'eau qui pénètrent dans le secteur côtier;

Obiettivo 2: caractérisation quali-quantitative du transport solide;

Obiettivo 3: la gestion des sédiments et la proposition d'interventions sur l'aménagement plano-altimétrique des lits des rivières et des couloirs fluviaux, en vue d'améliorer l'état morphologique du cours d'eau et par conséquent la contribution sédimentaire vers la côte

2.1.1 Caractérisation du système fluvial (phase 1)

La première phase de caractérisation vise à définir une image cognitive sur une échelle spatiale et temporelle adéquate, en relation avec l'état géomorphologique actuel du cours d'eau, la trajectoire évolutive des lits, la dynamique en cours, les volumes de transport liquide et solide à l'interférence des travaux présents avec les processus morphologiques et à chaque élément utile pour la définition des objectifs du projet.

2.1.1.1 Echelles de représentation spatiale et temporelle:

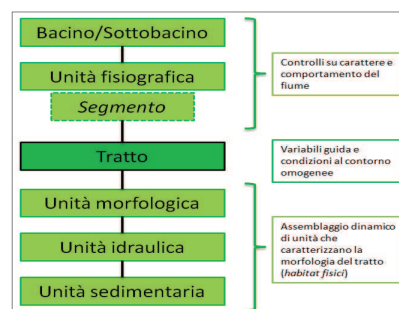
En ce qui concerne les échelles d'analyse spatiale, une approche de subdivision est adoptée selon un schéma qui prévoit l'analyse du bassin / sous-bassin «large zone» (1: 10.000) et une analyse détaillée de l'échelle (pas moins de 1: 2000) pour les autres unités hiérarchiquement sous-jacentes (trait, unité morphologique, unité sédimentaire, unité hydraulique, etc.). Le bassin versant / sous-bassin sous-tendu par la portion du cours d'eau prise en considération représente l'unité spatiale fondamentale de départ.

Les unités physiographiques (correspondant aux unités paysagères selon Brierley & Fryirs, 2005) sont des zones relativement homogènes du bassin en raison des caractéristiques morphologiques et physiographiques (zone montagneuse, vallonnée, plaine intermontaine, plaine basse, etc.).

Au sein de chaque unité physiographique, il est possible d'identifier un ou plusieurs segments.

Le segment (segment ou secteur de vallée) constitue une macro-trajectoire relativement homogène, définie par les limites de l'unité physiographique dans laquelle elle est placée et par d'autres variations hydrologiques fortes possibles (affluents de dimensions très importantes) et ou évidentes une discontinuité de confusion (par exemple, passage de parties semi-définies non confinées à des parties entièrement confinées).

Le trait représente l'unité spatiale fondamentale. La subdivision en tronçons est basée sur divers aspects, tels que le degré de confinement, la morphologie du lit de la rivière, les principales discontinuités hydrologiques et la présence d'éléments anthropiques très pertinents (par exemple, des barrages ou des tronçons fortement artificialisés).



Unité morphologique. La morphologie d'un étirement est déterminée par la présence et l'association des différentes unités morphologiques qui constituent une certaine configuration morphologique (barre, canal, île, riffle, mare, etc.) (unités géomorphiques selon Brierley & Fryirs, 2005). Afin de caractériser l'association complète des unités présentes dans une section, il est possible de se référer à un sous-contrat (ou «site»). Pour les lits de rivière monocanaux, cette dernière a généralement une longueur comprise entre 10 et 20 fois la largeur, tandis que pour les lits de rivière avec des canaux entrelacés, elle a une longueur comparable à la largeur elle-même et n'excède généralement pas 500 m. Au sein de la même unité morphologique, il est possible d'identifier des portions présentant des caractéristiques hydrauliques relativement homogènes et une typologie de substrat. Ce sont de petites unités spatiales extrêmement dynamiques, qui déterminent les caractéristiques et la diversité des habitats physiques présents. L'unité morphologique coïncide avec le mésohabitat, tandis que les unités hydrauliques et sédimentaires définissent les microhabitats.

Les échelles de temps de l'analyse, en général, comprendront:

- ✓ l'échelle Géologique (104 ÷ 106 ans), la géologie et la physiologie du bassin et l'évolution du réseau hydrographique à long terme (ex: captures de rivières, phénomènes de superposition);
- ✓ l'échelle historique (102 ÷ 103 ans), la morphologie des cours d'eau à l'époque historique, les types d'hébergement et les autres types de contrôles anthropiques auxquels ils ont été soumis;
- ✓ l'échelle de temps moyenne (100 ÷ 150 dernières années), échelle la plus importante pour identifier et comprendre la forme actuelle des cours d'eau, suivant les variations morphologiques planimétriques (lit de rivière étroit ou élargi) ou altimétrique (lit incisé ou aménagé)). C'est l'échelle du plus grand intérêt pour les études de nature applicative (parfois appelée échelle de gestion); à l'intérieur on peut encore distinguer:
 - Echelle des 10 ÷ 15 dernières années, qui est l'échelle la plus appropriée pour définir les tendances actuelles (lit de la rivière dans l'incision, la sédimentation ou l'équilibre dynamique).
 - L'échelle annuelle / saisonnière, peu significative pour l'interprétation des formes et des processus évolutifs, mais vice versa, peut avoir un effet temporaire sur les caractéristiques granulométriques et / ou végétales locales, en fonction des événements survenus au cours du dernier cycle de saison.

2.1.1.2 Cadre géologique et géomorphologique

Aux fins des considérations et des évaluations ultérieures liées à la production de sédiments, il est important de faire une distinction et la quantification des zones du bassin avec revêtement du substrat, ce qui le distingue de la coquille et les dépôts quaternaires. Il est utile de regrouper les roches substrats en plusieurs macro-classes, y compris entre les roches les plus résistantes et les plus facilement érodables et mobilisables. Cette évaluation est faite par la production de cartes géologiques et géolithologiques qui ne sont pas inférieures à l'échelle 1: 10 000 et où il sera également utile de décrire les principales structures tectoniques, qu'elles soient actives ou inactives, ce qui peut avoir le paramètre de contrôle du réseau hydrographique.

Plus précisément, la cartographie doit mettre en évidence, sous forme de symboles et / ou de zones, les principaux facteurs géologiques et structuraux et doit contenir les informations suivantes:

lithologie: l'enquête doit mettre en évidence les caractéristiques de l'homogénéité lithologique, en tant qu'élément fondamental, en soulignant les aspects techniquement utiles d'un point de vue applicatif. Il est également nécessaire de combiner des descriptions de tissage, de stratification et de relations texturales.

l'état de la masse rocheuse est important pour les évaluations techniques. Une description de l'état physique devra mettre en évidence l'état de la fracturation et l'altération des affleurants lithologiques complexes avec la mise en évidence des zones cataclastiques et des zones fortement fracturées; elle devra analyser à la fois les éléments structuraux d'origine primaire (stratification, discontinuités stratigraphiques, etc.) et les éléments d'origine secondaire (systèmes de failles et de fractures, chevauchements, etc.).

la nature et l'épaisseur de la coque de débris: en plus doit être privilégié la représentation du « substrat », comprenant également les sols, dans le sens de géopedologique du terme, généralement défini comme « couvre quaternaires », distinguer les dépôts sur la base de leur genèse, les classes de tissage et d'épaisseur, dérivant ces données des observations de campagne, à partir de données dérivant des enquêtes directes précédentes et des photointerprétations.

En ce qui concerne les aspects géomorphologiques, il est nécessaire à ce stade d'avoir une vision globale de l'évolution géomorphologique de la zone, notamment à partir de la dernière expansion glaciaire et de l'approfondissement eustatique correspondant du niveau marin (Low Glacial Maximum). Outre les processus fluviaux, il est important d'identifier quels autres processus sont répandus dans le bassin, (par exemple gravitationnel, érosion accélérée, etc.).

Dans ce contexte, une analyse approfondie sera développée pour décrire:

- ✓ l'ordonnancement hiérarchique du réseau hydrographique selon les schémas d'ordination de Horton-Strahler (application des 4 lois de Horton) et de Shreve (calcul de la fonction de largeur);
- ✓ la caractérisation morphométrique et géomorphologique des bassins et le calcul des indices morphométriques relatifs (rapport de circularité, facteur de forme, rapport d'élongation, coefficient de Gravelius);
- ✓ l'analyse des caractéristiques d'altitude des bassins:
 - développement de la courbe ipsographique;
 - estimation de l'altitude moyenne et de l'indice de maturité (à partir de la courbe ipsographique adimensionnée);
- ✓ la pente moyenne du bassin, la pente et la longueur de la flèche principale;
- ✓ la définition du degré et de l'indice de confinement ($G_c - I_c$);
- ✓ la division en tronçons fluviaux.

2.1.1.3 Caractérisation sédimentologique et minéropétrographique

Simultanément à la phase de détection géomorphologique, et compte tenu des résultats progressifs, une campagne d'analyse granulométrique sera menée pour caractériser et étudier la variabilité spatiale (de l'amont vers l'aval) des sédiments présents dans le lit et l'application de la modélisation appropriée système hydrologique pour l'évaluation du transport solide fluvial.

Les aspects suivants seront définis:

- a) unité physiographique / sédimentaire à laquelle échantillonner;;
- b) méthode d'échantillonnage;
- c) méthodologie d'analyse de laboratoire.

En ce qui concerne l'unité physiographique à échantillonner, il est décidé de toujours effectuer des mesures sur les parties émergées du lit de la rivière, c'est-à-dire en correspondance avec les barres, les zones inondées, les sections significatives pour la présence d'ouvrages hydrauliques, etc. distinguer l'armure éventuelle du fonds.

Sur la base des informations acquises dans les phases précédentes (terrain, levés aériens, cartographie, etc.), les méthodes d'analyse et/ou d'échantillonnage suivantes peuvent être adoptées (Church et alii, 2001):

- A. la grille d'échantillonnage;
- B. échantillonnage avec tamisage préliminaire sur site;
- C. échantillonnage simple.

La grille d'échantillonnage

La méthodologie proposée peut être utilisée pour des sédiments constitués principalement de galets d'ultra-décimètres (catégorie A) et consiste à poser un maillage régulier à la surface du sol sur lequel effectuer l'analyse puis à mesurer le diamètre des clastes qui tombent sur les nœuds dudit la grille.

Échantillonnage avec tamisage préliminaire sur site

La méthodologie proposée peut être utilisée pour les sédiments constitués principalement de graviers de dimensions inférieures au décimètre (catégorie B). Suivant la méthodologie proposée par Church et alii, un tamisage préliminaire in situ doit être réalisé à l'aide d'un tamis dont la lumière est égale à 100 mm (100 mm certifié ASTM 4 "maille standard).

Échantillonnage simple

La méthodologie proposée peut être utilisée pour les sédiments constitués principalement de sable et de gravier (catégorie C). L'échantillonnage doit avoir lieu à des points individuels identifiés de manière appropriée dans le lit de rivière asséché selon différentes méthodes:

- le long d'une ligne traversant le lit de la rivière, avec un espacement approprié par rapport à la largeur du gisement et les caractéristiques granulométriques identifiées macroscopiquement;
- identifier les points de retrait aux quatre coins et au centre du corps sablonneux.
- Les points de prélèvement individuels seront des aliquotes du même échantillon. L'échantillon doit être prélevé dans toute la profondeur du corps sableux et jusqu'à une profondeur maximale de 1 m;
- Pour tous les types d'échantillonnage, un formulaire spécifique doit être rempli indiquant:
 - le lieu d'échantillonnage;
 - les coordonnées géographiques;
 - le type de dépôt;
 - une description lithologique rapide des sédiments.

Analyse granulométrique de laboratoire

Les échantillons doivent être tamisés, après séchage à 110°, selon les procédures établies par les normes ASTM D421 et D422.

Les analyses granulométriques peuvent également être réalisées en utilisant des méthodes alternatives à l'utilisation de tamis, tels que des granulomètres à analyse d'image, mais qui

doivent assurer la distribution granulométrique avec des résultats de sortie comparables et restituables selon des tables de tamis.

Par la suite, il est possible de calculer les principaux paramètres caractéristiques de la distribution de la taille des particules, telles que le diamètre moyen et d'autres percentiles importantes, le diamètre moyen, l'écart type, le coefficient d'asymétrie (skewness) et l'aplatissement (kurtosis)

Analyse minéralo-pédrographique

Les sédiments sableux échantillonnés, sur lesquels les analyses granulométriques ont été réalisées, seront soumis à une analyse minéro-pédrographique.

Les observations et les analyses seront réalisées principalement au microscope stéréo afin de déterminer les formes des clastes (Pettijohn, 1973) et leur nature pédrographique première approximation dans l'identification des fragments de quartz, feldspaths, d'autres minéraux ou fragments de roche.

L'analyse de forme peut également être étudiée avec le granulomètre d'analyse d'image susmentionné. L'analyse minéralogique peut également être réalisée à l'aide d'un diffractomètre à poudre pour rayons X qui permet d'effectuer des analyses semi-quantitatives.

Les sédiments échantillonnés doivent également être caractérisés par un point de vue colorimétrique utilisant les tables de Munsell.

2.1.1.4 Cadre hydrogéologique

Dans la plaine, il est important de connaître les relations rivière-sol. Dans la région vallonnée / montagneuse, les connaissances hydrogéologiques sont généralement plus rares et sont probablement moins pertinentes pour la méthode. Cependant, les études existantes signalant les modèles et les mécanismes des eaux souterraines peuvent fournir des informations utiles.

2.1.1.5 Cadre climatique et hydrologique

Les principaux aspects climatiques sont caractérisés (températures moyennes, minimales et maximales, etc.) dans les différentes parties du bassin, y compris le régime de précipitation et d'écoulement des liquides dans les différentes parties du bassin. Les données pluviométriques et hydrométriques peuvent être synthétisés en obtenant les valeurs moyennes des paramètres les plus importants (par exemple, la moyennes et le débits maximal des précipitation à l'échelle mensuelle et annuelle) ou peuvent donner lieu à la construction de diagrammes liés aux variations mensuelles ou saisonnières. En cas de besoin, il serait souhaitable d'installer une station hydrométrique pour l'estimation du niveau dans les sections significatives choisies comme référence, puis de reconstituer l'échelle de débit à l'avance.

Les paramètres les plus significatifs relatifs au régime de débit peuvent ensuite être déterminés pour les différents segments et / ou sections dans lesquels le treillis est divisé. Les données de débit peuvent également être utilisées ultérieurement pour reconstruire les courbes de durée d'écoulement, visant par exemple à estimer les débits, à reconstituer la puissance des bilans de courant et de sédiments. Pour toute série de données historiques de précipitations et / ou de débit dans des stations représentatives, il peut être utile de vérifier l'existence de variations temporelles dans les conditions hydrologiques (par exemple: réduction des cours de formation). Une mise en relation avec l'évolution morphologique des cours d'eau peut être effectuée.

A ce stade, il est utile d'identifier les points du réseau hydrographique où il y a suffisamment d'informations sur les flux hydrologique, à savoir les stations de mesure hydrométriques pour lesquels il existe un nombre suffisant de données historiques permettant de délimiter avec un degré de détail suffisant le régime hydrologique. Il est connu dans la littérature que les flux les plus significatifs pour les processus morphologiques sont ceux avec des temps de retour relativement faibles, allant d'environ 1 à 3 ans. Les valeurs les plus couramment utilisées sont celles avec des temps de retour de 1,5 et 2 ans. Ces débits sont généralement identifiés avec le débit dominant ou formateur et avec le débit total du cours d'eau. En plus de ces cours avec une fréquence intermédiaire, la caractérisation plus complète des gammes de variabilité impose, de connaître le cours le plus fréquent, identifiable avec le débit (par jour) en moyenne annuelle, et la survenue d'événements extrêmes au cours de la période d'inscription. Ces débits peuvent être utiles pour mieux définir le régime d'écoulement, par exemple en fonction du rapport entre débit maximum et débit moyen. De plus, la connaissance des événements les plus significatifs pendant la période d'enregistrement peut être utile pour interpréter les tendances évolutives. En résumé, les informations nécessaires à une caractérisation de base des débits significatifs pour les aspects morphologiques sont les suivantes:

- le débit annuel moyen (Qmed), qui est calculé sur la base des débits journaliers dans l'intervalle de temps disponible;
- débit Q1.5, qui est le débit avec un temps de retour de 1,5 an obtenu à partir de l'analyse statistique des débits annuels maximums;
- les débits maximaux se produisant pendant l'intervalle de temps d'enregistrement, dont il est utile de connaître la valeur de débit de pointe et la date (ou au moins l'année) où elle s'est produite. Dans cette analyse, les débits avec des temps de retour de plus de 10 ans peuvent être considérés.

Plus en détail, l'analyse fournit:

- le calcul du temps de correction des bassins d'étude;
- une analyse statistique des données de précipitations et de températures mesurées dans les stations ARPAS internes et adjacentes aux bassins analysés;
- les techniques d'interpolation spatiale des données climatologiques;
- une analyse des tendances de précipitation et de température;
- Calcul de la pleine onde et du débit de pointe pour les temps de retour fixes:
 - ✓ l'estimation des courbes probabilité pluviométrica (RPC) avec le modèle probabiliste à quatre paramètres TCEV (deux composants Extreme Value) et la fonction de GEV des trois paramètres (Generalized Extreme Value);
 - ✓ la construction de l'etogram de Chicago;
 - ✓ la détermination de l'écoulement de surface par la méthode de la courbe (CN) et / ou le modèle distribué par probabilité (PDM);
 - ✓ le transfert des eaux de surface et de calcul d'onde d'corrivazione complète avec le procédé et / ou le IUH (Istantaneous Unité Hydrograph) Geomorphological (GIUH).

2.1.1.6 Utilisation des terres et couverture végétale;

De même que pour le point précédent, il est important de disposer d'informations générales sur l'échelle du bassin concernant l'utilisation du sol dominant et la présence de tronçons de cours d'eau hautement artificialisés. À cette fin, il est utile d'acquérir des données sur l'utilisation des terres et la couverture végétale pour la base de données CORINE Land Cover, mise à jour au dernier état d'avancement (2008). L'acquisition de nouvelles données actualisées sur les bassins

hydrographiques à l'échelle de 1.10:000 permettra d'analyser les changements survenus au cours des 10 dernières années; dans cette phase, les informations disponibles (à partir des registres fonciers, etc.) relatives aux ouvrages existants dans le bassin, avec une référence particulière aux travaux transversaux induisant une discontinuité dans l'écoulement des sédiments et du bois, sont également collectées. Après la division en sections, il est nécessaire de collecter et de définir le cadre des connaissances disponibles:

2.1.1.7 Travaux d'altération des débits liquide et solide dans le bassin.

Il convient, à ce stade, de procéder à une collecte d'informations existantes concernant les travaux de modification de l'écoulement du liquide à l'échelle du bassin qui sera, en effet, essentielle dans la phase d'évaluation de l'état actuel. En ce qui concerne ces travaux (barrages, bassins de rétention, les dérivations, les canaux de dérivation et déversoirs, etc.), en sus de leur emplacement, il convient de recueillir des informations disponibles sur l'année de construction, d'exploitation (par exemple : barrage à des fins seulement hydroélectrique ou barrage comportant des effets de laminage d'évacuation des crues) et l'étendue des altérations des taux d'écoulement de liquide.

Les travaux de modification des débits solides qui doivent être considérés sont, ceux qui à partir du fond du lit de la rivière peuvent produire une interception totale ou partielle du transport des sédiments au fond, ou des barrages, des seuils et des traverses. Même pour ces travaux, doivent être recueillies des informations concernant l'emplacement, la période de construction (le cas échéant), et la présence de dispositifs de libération de sédiments. Une attention particulière doit être accordée, dans les zones de montagne, au type de bride (rétention, consolidation, filtrage) et au degré de remplissage, afin d'évaluer s'il existe un effet d'interception totale ou partiel du transport des sédiments au fond ou (en cas de remplissage totale) s'il existe un effet indirect de la réduction de la capacité de transmission (par exemple, en raison de la réduction de la pente).

2.1.1.8 Bilan sédimentaire et estimation / évaluation du transport solide

Dans cette dernière partie de la Phase 1, les principaux aspects qui conduisent à une caractérisation du système fluvial dans ses conditions actuelles et en référence à la relation des écoulements sédimentaires avec les zones focales et côtières sont explorés.

L'activité d'exploitation consiste en l'identification des principales sources de sédiments sur les pistes, dans l'évaluation de leur degré d'activité et la connexion avec le réseau hydrographique, et une estimation des volumes relatifs des sédiments transportés dans les cours d'eau.

Pour l'analyse parallèle sur les pentes, il est nécessaire de reconnaître et de distinguer les traits semi-confinés et non confiné du réseau hydrographique avec une tendance plus ou moins forte à la mobilité latérale (et donc l'érosion des rives). En fait, ces processus ont la capacité de faire pénétrer de gros volumes de sédiments dans le système. En outre, il est nécessaire d'évaluer la connectivité des sédiments dans le réseau hydrographique basé sur la présence ou l'absence d'éléments naturels (par ex., seuils rocheuses) et surtout artificiels (par ex., digues, barrages) qui empêchent ou interceptent les transports solide au fond. Ceci peut être fait par des procédés geomorphométriques comme décrit plus haut, grâce à l'interprétation des images récentes de télédétection pour la cartographie des sources de sédiments, mais aussi grâce à la cartographie et l'analyse thématique, et grâce à une ensemble d'éléments historiques stéréoscopique multiples (photographies aériennes et / ou à l'aide de DTM haute résolution).

Les bilans sédimentaires peuvent être utilisés à différentes échelles spatiales et avec des objectifs et des degrés de détail différents. A l'échelle de l'ensemble du cours d'eau, il est possible de faire un bilan des sédiments dans les différentes sections pour définir une classification des tendances possibles (propension à la sédimentation ou à l'érosion) et quantifier les volumes.

La caractérisation geomorfologica « poussée » du système fluvial, permet l'application de l'approche « géomorphologique », et de la modélisation hydrologique qui utilisera des données et des mesures directes acquises, ainsi que dans les phases décrites précédemment.

Le transport solide joue un rôle déterminant sur la morphologie des cours d'eau sur les variations morphologiques des lits des rivières et sur la dynamique des eaux de ruissellement. Les deux principaux composants du transport solide, le transport suspendu et le transport du fond, sont importants. Cependant, aux fins des modifications morphologiques du lit de la rivière, celle du bas, même si elle représentait la fraction mineure, est également la plus significative en ce qui concerne les objectifs de conception.

La mesure du transport solide, comme on le sait, est très complexe. Préliminairement, aux fins d'une analyse morphologique correcte, il est important de vérifier si des mesures ont d'ores et déjà été réalisées dans le bassin avant, et s'il existe des études ou des évaluations visant à quantifier le transport des sédiments dans une ou plusieurs sections du système fluvial. Il est également important d'évaluer la possibilité de réaliser une estimation basée sur les modèles hydrauliques empiriques ou théorique, et, selon la disponibilité des données existantes, la possibilité d'équilibrer les sédiments à l'aide de méthodes géomorphologiques.

L'approche géomorphologique

Pour obtenir un budget sédimentaire, en plus des méthodes hydrauliques traditionnelles pour la quantification du transport des sédiments (grâce à l'utilisation d'équations permettant d'estimer la capacité de transport d'un tronçon de rivière en fonction de ses caractéristiques hydrauliques, morphologiques et sédimentologiques), il est de plus en plus fréquent de recourir à l'utilisation de méthodes de géo-morphologie, s'appuyant sur la mesure des variations volumétriques du lit de la rivière (par photogrammétrie, profilés, profilés) et l'application de l'équation de continuité des sédiments. De telles méthodes peuvent fournir des estimations plus fiables sur les flux solides à moyen terme (des dizaines d'années).

L'estimation du budget sédimentaire consiste en l'utilisation d'une séquence de relevés photogrammétriques à partir de laquelle dériver des changements morphologiques du lit de la rivière, à travers la procédure suivante:

- a) l'utilisation du SIG;
- b) la division du lit de la rivière en cellules de largeur suffisante;
- c) l'obtention du DTM relatif à chaque levé photogrammétrique individuel;
- d) l'obtention des différences volumétriques en superposant des DTM liés à différentes mesures;

La détermination du budget sédimentaire par la méthode morphologique est applicable à diverses échelles spatiales et temporelles, (de l'échelle individuelle à l'échelle de sections de plusieurs kilomètres, et des intervalles de temps de plusieurs décennies). En fonction de l'échelle considérée, les méthodes et les données utilisées pour estimer les changements morphologiques du lit de la rivière peuvent également varier considérablement, à partir d'enquêtes de terrain, de combinaisons de profils longitudinaux, des sections transversales et d'analyse d'images de télédétection pour caractériser les variations topographiques et planimétrie.

Modélisation hydrologique

Parmi les modèles, nous proposons le développement, dans l'environnement SIG, de l'application appelée, (EPM_GIS_1) déjà à l'essai par le groupe de travail UNICAL au sein du projet SIGIEC (Système d'Information de Gestion de l'érosion côtière de Calabre). Le plug-in permet de calculer l'estimation de la production de sédiments de l'ensemble du bassin versant en utilisant le modèle multiparamétrique de Gavrilović (Gavrilović, 1959, 1972), modifié par Zemljic (Zemljic, 1971). Le choix s'est porté principalement sur cette méthode telle qu'elle était déjà développée pour les rivières torrentielles et dans un contexte climatique méditerranéen, donc applicable à la zone transfrontalière. Le modèle permet une accélération extrême du calcul et de faire des étalonnages et des validations sur la base de données directes. De plus, le plug-in, développé en environnement PyQGIS, permet d'augmenter la précision du calcul car il est possible de détailler les paramètres individuels requis par la méthode de Gavrilović; par exemple, en opérant sur la répartition des paramètres du thermo-pluviomètre (Cianflone et al., 2015) et sur le coefficient d'érosion, en se référant à la caractérisation quantitative de la résistance à l'érosion des masses rocheuses.

Pour permettre une cartographie plus détaillée au sein de chaque bassin versant, une nouvelle méthode de calcul a été utilisée, consistant à subdiviser la zone du bassin en maille carrée d'un côté de 250 mètres afin de calculer la contribution de production de chaque cellule. Elle présente un intérêt supplémentaire par rapport à la méthode de calcul classique qui ne permet pas d'identifier les zones du bassin caractérisées par une production plus élevée et plus faible de sédiments.

Parmi les différentes approches de modélisation, il est proposé d'utiliser, également à l'aide de logiciels spécifiques fournis par l'Agence, différents modèles hydro-hydrauliques, dans le but de faire des comparaisons entre résultats et différentes méthodes, dont une brève description est fournie:

Mike 21 est un modèle numérique hydraulique basé physiquement et distribué spatialement pour simuler les courants, les vagues, le transport solide et la qualité de l'eau dans les rivières, les lacs, les baies, les zones côtières et les mers ouvertes. Il y a deux modules utiles pour l'estimation de l'érosion et du transport solide. Le module de transport de sédiments (ST) est utilisé pour estimer le transport solide de matériaux non cohésifs générés par les courants ou l'action combinée des vagues et des courants. Le module ST comprend diverses formulations de transport et peut être utilisé indifféremment dans le domaine maritime-côtier ou fluvial. Tandis que le module de transport de boues est capable de décrire l'érosion, le transport et la redéposition du matériau cohésif et des sédiments mixtes cohésifs et non mélangés;

Le modèle HEC-RAS est un modèle hydraulique qui permet de simuler la propagation des ondes de crue le long du réseau hydrographique et contient en soi un module de transport solide. Le transport des sièges est évalué en fonction des différentes granulométries de matière présentes sur le fond. Les principales caractéristiques comprennent la possibilité de modéliser un réseau de canaux, l'excavation de matériaux lithoïdes, diverses possibilités de remblais grâce à l'utilisation de différents types d'équations pour l'évaluation du transport solide. Le modèle est conçu pour simuler les tendances à l'érosion et au dépôt dans un cours d'eau qui découlent de la variation de la fréquence et de la durée du débit et du niveau de liquide;

Le GEOWEPP (Water Erosion Prediction Project), développé par l'USDA, est un modèle physique qui simule les processus hydrologiques et érosifs du scan temporel de l'événement et avec trois échelles différentes d'application spatiale:

- la version du profil qui estime l'érosion et / ou le dépôt qui se produit sur la pente, à la suite des processus d'interruption de la roche d'érosion;
- la version bassin versant qui permet des applications à petite échelle;
- la dernière version de la grille, avec laquelle la zone examinée est divisée en une série d'éléments dans lesquels la version de profil est appliquée.
- SWAT est un modèle hydrologique développé par l'USDA Agricultural Research Service (USDA-ARS) et le centre de recherche A & M University AgriLife basé au Texas, qui simule les processus de transport solide les plus importants et peut évaluer les impacts de la gestion du territoire sur la qualité et la disponibilité des ressources en eau, à l'échelle du bassin, pour de longues périodes.

L'approche méthodologique prévoit l'étalonnage et la validation ultérieure du modèle dans sa composante hydrologique en termes de débit à la section de référence et sa composante morphologique en termes de transport solide dans différentes sections caractéristiques. En particulier, l'étalonnage du composant hydrologique sera effectué pour une période historique dont les mesures de pluie, de température et de débit sont connues.

Une fois que l'ensemble de paramètres maximisant les performances du modèle a été identifié (en termes de coefficient de Nash-Sutcliffe), il sera utilisé dans la phase de validation pour le même bassin. L'étalonnage de la composante morphologique sera effectué sur la base des volumes de sédiments estimés dans différentes sections caractéristiques en utilisant des mesures disponibles prises à des intervalles de quelques années. Dans ce cas, la validation du modèle sera effectuée en correspondance avec d'autres sections caractéristiques différentes de celles utilisées dans la phase d'étalonnage des paramètres du modèle.

2.1.2 Évolution passée et évaluation des conditions actuelles (phase 2)

Les connaissances acquises précédemment sont insérées dans un contexte temporel évolutif, afin d'obtenir une évaluation des conditions morphologiques actuelles des cours d'eau sur la base de la connaissance des conditions passées.

On peut distinguer deux sous-phases principales: la première concerne l'évolution passée du système fluvial et des morphologies fluviales la reconstruction des typologies fluviales actuellement observées et l'identification des facteurs à l'origine de leur évolution.

La seconde fournit les outils méthodologiques pour évaluer en parallèle, à travers des indices appropriés (IQM, IDM, etc.) les deux aspects qui caractérisent le système IDRAIM, à savoir la qualité morphologique et la dynamique morphologique.

L'évaluation intégrée de ces deux aspects permet de mettre en évidence les problèmes critiques existant dans le système fluvial.

2.1.2.1 Mesure des indices morphologiques (profondeur du fonds, sinuosité, entrelacement, etc.) et analyse historique de la variation de la configuration morphologique

Dans cette phase, nous avons reconstruits et classés les changements morphologiques récents en mesurant les principaux paramètres morphologiques, à savoir celles qui déterminent la classification de la morphologie du cours d'eau, (y compris les indices d'actions largeur et fonds sinuosité, entrelacement et anabranchement).

Les sources de données pour l'analyse des changements de paramètres morphologiques sont représentées par: la cartographie, les photos aériennes, les images satellitaires, les levés topographiques. Les images de télédétection sur une année donnée sont privilégiées car elles permettent une interprétation directe de la morphologie, que la cartographie ne permet pas.

Changements dans la largeur du lit de la rivière

Pour une comparaison multitemporelle de la largeur, l'utilisation de sources planimétriques (cartographie, photos aériennes et images satellitaires) est à privilégier car elle permet, par exemple en traçant les coupes, d'adapter les mesures en fonction du type de lit et des détails souhaités.

Changements dans la part du fonds

La profondeur du fond peut être comprise comme se référant au point le plus bas («thalweg»), au comme la part moyenne du fond du lit de la rivière. A partir des relevés topographiques et de la cartographie, il est possible d'obtenir des informations sur l'altimétrie du lit de la rivière, la quelle est généralement insuffisantes pour une caractérisation suffisamment précise du fonds. Pour une comparaison multi-temporelle des profils longitudinaux, il est essentiel de savoir si les données se réfèrent au thalweg, à la surface libre ou à un autre élément

Indice de sinuosité

L'analyse temporelle de l'indice nécessite de se référer à une seule distance aval qui, en général, peut être le lit de la rivière actuelle (en pratique le dernier vol disponible). Classiquement, donc, la valeur de l'indice est indiquée à l'extrémité aval de la section considérée.

Indice de tressage

Comme l'indice d'entrelacement dépend de l'état hydrométrique du cours d'eau, les documents représentant des états hydrométriques similaires doivent être utilisés autant que possible. Il est conseillé d'exclure les conditions à très bas débit ou à débit élevé (proche de la banque). Dans les deux cas, l'indice suppose des valeurs très faibles.

L'estimation des variations est cependant sujette à un degré d'approximation raisonnable, tant du fait que les mesures peuvent se rapporter à différents états hydrométriques, tant parce que les mesures faites par cartographie sont basées sur une représentation morphologique pas nécessairement fonctionnelle à l'évaluation de ce paramètre (Surian, 2006).

Indice di anabranching

L'indice si basa sulla presenza di isole le quali, essendo superfici relativamente stabili, dipendono in minima parte dal livello idrometrico del corso d'acqua. Rimane un certo grado di approssimazione nelle misure effettuate da cartografia.

Variations morphologiques

L'indice est basé sur la présence d'îles qui, étant des surfaces relativement stables, dépendent dans une mesure minimale du niveau hydrométrique du cours d'eau. Il reste un certain degré d'approximation dans les mesures effectuées par cartographie.

À l'échelle des 10-15 dernières années, les paramètres généralement considérés pour classer les tendances actuelles sont la largeur du lit de la rivière et l'altitude du fonds.

La trajectoire d'évolution est la représentation graphique des variations morphologiques dans le temps, en référence à l'intervalle de temps utilisé pour ce type d'analyse, c'est-à-dire les

dernières 100-150 ans; la trajectoire peut se référer à un seul paramètre (largeur ou hauteur du fonds) ou résumer les variations simultanées de plusieurs paramètres, notamment lorsque ceux-ci ont subi des tendances de variation similaires (incision, rétrécissement et / ou sédimentation et agrandissement).

Tendances évolutives et corrélations avec les changements du littoral

Une fois que les variations et les trajectoires de l'évolution, ont été reconstruites il convient de les relier aux causes possibles dans le contexte du bassin hydrographique, des foyers et du littoral sous-jacent et des variations du littoral. Il est important de comprendre quelles étaient les caractéristiques morphologiques et le comportement du cours d'eau avant toute perturbation anthropique, d'identifier comment les variables guides (débits liquide et solide) ont été impactées, les temps et les causes de ces altérations.

Des informations détaillées sur les travaux et les interventions à l'échelle du bassin sont acquises par phases successives. À ce stade, il est nécessaire d'approfondir les connaissances sur les moments où les principales interventions ont été effectuées (par exemple, le moment de la construction d'un barrage, une traverse ou même des travaux de stabilisation sur les pentes).

En reliant la séquence temporelle des impacts anthropiques avec les trajectoires de l'évolution, il est généralement possible de mettre en évidence des relations de cause à effet plutôt évidentes.

En plus des perturbations anthropiques, il est important de collecter les données disponibles sur les débits annuels maximums et de connaître les inondations les plus intenses au cours de la période d'enquête. Par exemple, cela peut permettre de comprendre si certaines phases de l'évolution peuvent ou non avoir été conditionnées par des événements complets de grande amplitude et faire des corrélations avec les changements de la ligne de rivage.

2.1.2.2 Évaluation de l'état morphologique: l'indice IQM

La structure globale du système d'évaluation comprend à la fois des aspects strictement morphologiques et des aspects hydrologiques et végétaux de la bande, en fonction de trois composantes:

Fonctionnalité géomorphologique: elle repose sur l'observation des formes et processus du cours d'eau dans les conditions actuelles et sur la comparaison avec les formes et les processus attendus pour la typologie fluviale présente dans la section examinée. En d'autres termes, la fonctionnalité du cours d'eau est évaluée par rapport aux processus géomorphologiques (l'absence de certaines formes et de processus typiques pour une typologie donnée peut être un symptôme de conditions morphologiques altérées).

Éléments artificiels: la présence, la fréquence et la continuité des travaux ou interventions anthropiques pouvant avoir des effets sur les différents aspects morphologiques considérés sont évaluées. Certains éléments artificiels ont des effets multiples sur différents aspects: ils ne seront évidemment détectés qu'une seule fois mais seront évalués pour chaque aspect individuel.

Variations morphologiques: cette analyse concerne principalement les lits de rivières non confinés et partiellement confinés et seulement certains aspects (principalement les changements dans la configuration morphologique plano-altimétrique). Les changements morphologiques sont évalués relativement à une situation relativement récente (échelle de temps des 50 ÷ 60 dernières années) afin de vérifier si le cours d'eau a subi des altérations physiques (p. Ex., Incision, rétrécissement) et est toujours en train de changer en raison de perturbations anthropiques qui ne sont pas nécessairement actuelles.

La procédure globale implique l'application séquentielle des trois phases précédentes (classification et subdivision en tronçons, évaluation, suivi), avec l'évaluation de l'état actuel, ce qui est essentiel pour interpréter les tendances et les causes d'évolution. Pour les besoins spéciaux, il est possible de procéder à la classification et à la subdivision en sections, à l'évaluation et à la surveillance d'une seule section ou seulement de certaines sections.

En ce qui concerne les trois composantes de l'évaluation de l'état actuel (fonctionnalité, artificialité, variations), la surveillance ultérieure (Phase 3) permettra d'évaluer les tendances d'évolution actuelles et futures et de les relier aux changements passés afin d'évaluer la reprise possible morphologique ou éloignement des conditions moins altérées, aspects fondamentaux pour l'analyse subséquente des impacts et pour la définition des mesures d'atténuation ou de restauration morphologique des corridors fluviaux.

Certains aspects et paramètres doivent être analysés lors de la première phase d'évaluation, mais il n'est pas nécessaire de surveiller, alors qu'il est possible d'identifier certains paramètres ou tailles dont la mesure n'est pas indispensable pour la phase de caractérisation initiale mais qui sera nécessaire mesurer périodiquement à partir de maintenant.

Les phases d'analyse de la fonctionnalité, de l'artificialité et des variations morphologiques sont réalisées à l'aide de fiches d'évaluation spécifiques permettant une analyse guidée des différents aspects, grâce à l'utilisation intégrée d'analyses SIG issues d'images de télédétection et d'enquêtes sur le terrain. A cette fin, un certain nombre d'indicateurs sont utilisés, entendus ci-dessous dans un sens large, pour indiquer des attributs qualitatifs ou des descripteurs des différents aspects considérés. Chaque indicateur est ensuite évalué par une ou plusieurs variables quantitatives ou qualitatives (pour certains indicateurs, notamment pour la fonctionnalité, l'interprétation est utilisée plutôt que les paramètres).

2.1.3 Surveillance morphologique du réseau hydrographique, du lit principal et du secteur de la bouche de la rivière (phase 3)

La phase 3 de la méthodologie concerne l'évolution future des cours d'eau en question et a pour objet le suivi morphologique du réseau hydrographique, du lit principal et du secteur de la bouche de la rivière, afin de suivre les tendances globales évolutives du cours d'eau, en fonction de ses caractéristiques actuelles et des trajectoires d'évolution passées. Cette phase s'applique à l'échelle choisie de l'itinéraire en fonction de critères de représentativité ou de criticité. Les indicateurs qui peuvent être suivis sont au nombre de 31, dont 17 se rapportent au système naturel, 12 aux éléments du système artificiel et 2 sont classés comme «autres éléments de suivi».

2.1.3.1 Surveillance des éléments morphologiques naturels

En ce qui concerne les aspects morphologiques naturels, les indicateurs et les paramètres pouvant être utiles à leur suivi sont résumés dans le tableau ci-dessous qui met en évidence l'échelle de temps d'analyse:

Élément morphologique	Méthode de détection / mesure et échelle spatiale
<i>Indicateurs et paramètres planimétriques</i>	
1. Indicateur de sinuosité	Téledétection - Mesure du terrain (site seulement)
2. Indicateur d'entrelacement	Téledétection - Mesure du terrain (site seulement)
3. Indicateur d'abranchemment	Téledétection (étirement) - Mesure du terrain (site seulement)
4. Longueur côtés dans les taux de rétraction et de rétraction	Téledétection
5. Largeur d'inondation et continuité	Téledétection
<i>Profil longitudinal</i>	
1. Pente du fond	Profil de fond de secours, éventuellement étendu du site à la section
2. Changement de la part du fonds	Profil de fond de secours étendu du site à tout le tronçon
<i>Profil longitudinal</i>	
1. Largeur de la rivière	Téledétection (section) - Sections d'arpentage (site)
2. Profondeur du lit de la rivière	Sections de secours: 2 ou 3 sections dans le site (de préférence la fin de la montagne, la vallée, le centre)
3. Largeur / profondeur ratio	A partir de valeurs mesurées basées sur des sections en relief (site)
<i>Sédiments de fond</i>	
1. Dimensions des sédiments de la taille des grains	Mesure granulométrique (unité sédimentaire)
2. Structure du fonds: degré d'armure et de colmatage	Évaluation qualitative (site), mesures granulométriques (unité sédimentaire) uniquement en cas d'armure très accentuée
<i>Matériau ligneux</i>	
1. Abondance de grand matériel ligneux	Compter sur le terrain (site) Téledétection (site)
<i>Végétation de la bande périfluviale</i>	
2. Amplitude des formations fonctionnelles présentes dans la bande périfluviale	Téledétection (Traite)
3. Extension linéaire des formations fonctionnelles présentes dans la bande périfluviale	Téledétection (Traite)
<i>Détection des indicateurs d'unités morphologiques</i>	
4. Indicateur S.U.M.	Enquête sur la terre et / ou la téledétection (sous-terrain)
<i>Paramètres hydrologiques</i>	
5. Flux de liquide	Mesures hydrométriques aux stations de mesure existantes (continues)

2.1.3.2 Surveillance des éléments artificiels

Voici une liste des travaux pouvant intéresser la surveillance morphologique dont l'échelle de temps d'analyse est l'échelle quinquennale / saisonnière / événementielle:

- barrages;
- travaux d'altération des débits liquides et / ou solides (canaux de dérivation et de drainage, dérivations, traverses, siphons, vannes, vase d'expansion, etc.);
- travaux de régulation transversale (brides, brosses d'aboïement, etc.) et les murs de défense longitudinaux (revêtements en béton, blocs, gabions, matelas, etc.)
- travaux de franchissement;
- banquettes;
- renforts argentiques;
- modifications de la configuration ou des changements de forme des rivières dans la plaine (Invalidation, corrections, etc.);
- variations de zone de la ceinture érodable;
- couvertures de fonds;
- gestion et enlèvement des sédiments et / ou recalibrage du lit de la rivière;
- enlèvement des matériaux ligneux dans le lit de la rivière;
- coupe de la végétation dans la ceinture périfluviale.

2.1.3.3 Autres éléments d'analyse et de suivi: débits solides et utilisation des terres

Débits solides

Comme déjà décrit ci-dessus, les débits de solides peuvent être mesurés ou estimés en utilisant des méthodes directes ou indirectes:

- avec des méthodes directes en correspondance avec des sections et sections significatives et mesurées dans un intervalle de temps prédéfini; (méthodes instrumentales et / ou géomorphologiques)
- avec des méthodes indirectes et à l'aide de la modélisation, des estimations de la capacité de transport solide sont obtenues; dans ce cas, les indicateurs principaux et nécessaires pour la construction des modèles sont:
 - ✓ indices morphométriques fluviaux de la grille (longueur, pentes, altitudes, rugosité, indice ou densité de la hiérarchie, voir Strahler, Horton, etc.);
 - ✓ indices hydrologiques et hydrauliques;
 - ✓ indices thermo-pluviométriques;
 - ✓ indices géologiques géologiques;
 - ✓ indices d'érosion.

Utilisation du sol

Un autre indicateur fondamental à surveiller est représenté par les variations de l'utilisation des terres, surtout à l'échelle du bassin, étant donné que ces variations ont des effets importants sur les flux solides et liquides (évidemment, net de toute introduction récente de normes tendant à respect du principe d'invariance hydraulique); pour cette raison, des enquêtes périodiques d'au moins cinq ans devraient être prévues, en particulier dans les zones les plus sensibles et les plus sujettes au développement anthropique et aux changements fréquents d'utilisation.

2.1.4 Gestion des sédiments et plan d'action (Phase 4)

Les sédiments rendus disponibles par les processus d'érosion dans les bassins fluviaux et le transport solide des cours d'eau représentent l'alimentation naturelle actuelle des plages et le principal facteur budgétaire des systèmes côtiers contre l'érosion.

Si l'approvisionnement sédimentaire des cours d'eau, en particulier ceux provenant du transport de fond et de suspension, est manquant ou réduit, le système côtier se rééquilibrera sur différentes structures et pourra entrer en crise plus ou moins rapidement, en fonction des principaux ou de plus petites "réserves" de sédiments le long de la côte (ainsi que des taux de remontée plus ou moins élevés par rapport au niveau de la mer).

Pour cette raison, dans le cadre d'une stratégie de gestion des effets de la dynamique côtière à long terme, parallèlement aux décisions de gestion nécessaires sur les effets de l'érosion avec les apports artificiels de sédiments (dépôts côtiers ou sous-marins), il convient de conduire des politiques et des actions visant à la gestion du littoral, mais aussi à la restauration ou à l'amélioration du transport fluvial solide.

Le développement des trois phases de la méthodologie proposée décrit ci-dessus conduit à la phase 4 avec la définition d'un «plan de gestion des sédiments fluviaux et l'identification des actions possibles visant à améliorer l'hydromorphologie du cours d'eau et donc la restauration de l'alimentation du système côtier (si un solde sédimentaire négatif chronique de la plage ou de la cellule sédimentaire a été mis en évidence).

Il est évident que cette phase de planification et de gouvernance devra être coordonnée avec les méthodologies sur les autres axes du projet MAREGOT (houle, côtes hautes, habitats et écosystèmes, gestion des risques côtiers).

Le plan / programme de gestion des sédiments doit permettre d'identifier les interventions nécessaires pour atteindre les objectifs, les suivre et adapter le cadre de connaissances dans le temps. Le choix des mesures les plus appropriées parmi les différentes alternatives possibles, y compris la non-intervention, doit se faire sur la base d'une évaluation et d'une comparaison adéquates des effets attendus par rapport aux différents objectifs, en tenant compte d'un horizon temporel et spatial suffisamment long; Parmi les interventions à évaluer, la priorité doit être donnée aux mesures, y compris les mesures de gestion, pour rétablir la continuité hydromorphologique longitudinale, latérale et verticale, notamment pour rétablir le transport solide en cas d'interruptions significatives en amont des coupes incisées, les plaines d'inondation et la restauration d'espaces de mobilité latérale plus larges, ainsi que les mesures de renaturation et de réaménagement morphologique.