



Rapport final

Suivi des pressions associées à l'érosion dans les milieux naturels : panorama des principales méthodes de suivi

A. Bertaud
Editeur : OEIL

Février 2013



Observatoire de l'environnement
en Nouvelle-Calédonie

11 rue Guynemer
98800 Nouméa
Tel.: (+ 687) 23 69 69
www.oeil.nc



Rapport de l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie – OEIL

11 rue Guynemer - Quartier latin

98800 NOUMEA - Nouvelle-

Calédonie

Tel : +687 23 69 69

Fax : +687 23 69 01

Email : Contact@oeil.nc

Auteur :

Adrien BERTAUD | OEIL – Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie | 11 rue Guynemer, Quartier latin – 98800 – Nouméa – Nouvelle-Calédonie | adrien.bertaud@oeil.nc

Superviseur :

Fabien ALBOUY | OEIL – Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie | 11 rue Guynemer, Quartier latin – 98800 – Nouméa – Nouvelle-Calédonie | fabien.albouy@oeil.nc

Ce rapport est cité comme suit :

Bertaud A., 2013 – Suivi des pressions associées à l'érosion dans les milieux naturels : panorama des principales méthodes de suivi. Rapport réalisé par l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie. Nouméa, Nouvelle-Calédonie. 76 pages.

Table des matières

Chapitre I - PREAMBULE.....	5
I.1. L’OEIL et l’érosion.....	5
I.2. Qu’est-ce que l’érosion ?.....	5
I.3. Les agents et facteurs de l’érosion.....	6
I.4. Cinétique des phénomènes d’érosion.....	6
I.5. Les processus associés à l’érosion.....	7
I.6. Érosion : menaces et pressions sur l’environnement	8
Chapitre II - CONTEXTE.....	9
II.1. L’érosion dans le contexte néo-calédonien	9
II.1.1. Contexte géologique et climatique de la Nouvelle-Calédonie.....	9
II.1.2. Érosion hydrique en milieu ultrabasique	10
II.1.3. Biodiversité	11
II.1.4. Activités anthropiques et érosion	11
II.2. Les formes d’érosion	13
II.2.1. L’érosion particulière	13
II.2.1.a. Les lavakas	13
II.2.1.b. Les ravines à érosion régressive	14
II.2.1.c. Les coulées de débris et laves torrentielles.....	14
II.3. Surveillance des pressions associées à l’érosion.....	15
II.3.1. Échelles spatiales et temporelles	15
II.3.1.a. Échelles spatiales	15
II.3.1.b. Échelles temporelles.....	16
II.3.2. Forçages et pressions associés à l’érosion	16
II.3.3. Paramètre	18
II.3.4. Méthodologie de suivi d’un paramètre	19
II.4. Objectifs du rapport	19
Chapitre III - MATERIEL ET METHODES	20
III.1. Consultation des principaux acteurs locaux	20
III.2. Recherches bibliographiques.....	20
III.3. Exhaustivité.....	21
III.4. Présentation des méthodes.....	21
III.4.1. Classement.....	21
III.4.2. Fiche type.....	22

III.4.2.a. « En bref... »	22
III.4.3. Présentation de la fiche type	25
Chapitre IV - PANORAMA DES METHODES	26
IV.1. Phase de détachement de la matière : érosion	26
FICHE 1: Barrière à sédiment	27
FICHE 2: Parcelle d'érosion	30
FICHE 3: Règle topographique.....	33
FICHE 4: Étude diachronique d'images des figures d'érosion.....	36
FICHE 5: Étude de la topographie des figures d'érosion.....	39
IV.2. Phase de transport de la matière : transport	42
FICHE 6: Chaîne d'érosion.....	43
FICHE 7: Suivi de la concentration en matière en suspension	46
FICHE 8: Piège à sédiment de charge de fond.....	49
IV.3. Phase de dépôt de la matière : sédimentation.....	52
FICHE 9: Suivi de la concentration en métaux dissous	53
FICHE 10: Prélèvement de sédiment par carottage et datation	56
FICHE 11: Piège à particules en zone de dépôt	59
FICHE 12: Étude de la topographie des dépôts sédimentaires	62
IV.4. Caractéristiques des méthodologies <i>in situ</i> et <i>ex situ</i>	65
IV.4.1. Acquisition de données <i>in situ</i>	65
IV.4.2. Acquisition de données <i>ex situ</i>	66
Chapitre V - DISCUSSION.....	69
Chapitre VI - ANNEXE.....	71
Chapitre VII - BIBLIOGRAPHIE.....	72

Chapitre I - PREAMBULE

I.1. L'OEIL et l'érosion

L'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie a pour principale mission la surveillance de l'évolution des milieux naturels dans le Sud. A ce titre, les pressions générées par les activités anthropiques comme l'activité minière, les feux de brousse ou encore l'introduction d'espèces envahissantes, sont au cœur de ses préoccupations.

Lors des trois ateliers organisés par l'Observatoire en avril et novembre 2010, puis en juin 2012, l'ensemble des professionnels et acteurs de l'environnement a été rassemblé pour effectuer un bilan concernant la surveillance des trois milieux naturels que sont les milieux aquatiques : eau douce et marin, et les milieux terrestres en Nouvelle-Calédonie. Les conclusions de ces ateliers ont systématiquement permis d'identifier l'érosion des sols dégradés comme l'une des principales sources d'impact sur les écosystèmes néo-calédoniens. Le manque et le besoin de suivre et caractériser ce phénomène est également apparu comme primordial pour la gestion et la conservation du patrimoine naturel.

Omniprésente dans les paysages du Sud de la Nouvelle-Calédonie, l'érosion est donc une thématique traitée par l'Observatoire dont certaines actions visent à participer à la mise en place d'une stratégie de suivi environnemental.

L'exercice technique pour la mise en œuvre d'un suivi environnemental nécessite d'effectuer des choix méthodologiques pour le suivi de paramètres adaptés à la problématique considérée. Dans ce rapport, l'Observatoire a souhaité capitaliser les connaissances acquises afin de présenter un aperçu des principales méthodes existantes pouvant être mises en œuvre pour la surveillance de pressions associées à l'érosion dans les milieux marin, dulçaquicole et terrestre.

I.2. Qu'est-ce que l'érosion ?

L'érosion fait référence à l'ensemble des actions externes des agents atmosphériques, des eaux, des glaciers etc. qui provoquent la dégradation du relief (Larousse, 2009).

Elle correspond à l'ensemble des processus externes qui, à la surface terrestre ou à faible profondeur, enlèvent tout ou partie des terrains existants et modifient ainsi le relief (Foucault & Raoult, 2005).

Plus précisément, l'érosion est un phénomène naturel qui affecte la croûte terrestre en entraînant sa transformation par le déplacement de matière. La mise en mouvement de la matière est possible

lorsque les forces appliquées des agents de l'érosion (ex : eau) sont supérieures aux forces qui assurent la cohésion de la matière.

I.3. Les agents et facteurs de l'érosion

Les agents de l'érosion sont moteurs du phénomène alors que les facteurs vont agir sur la cinétique de celui-ci et, éventuellement, son déclenchement. De manière générale, les agents de l'érosion sont l'eau, le vent, les glaciers et certains organismes vivants qui, comme les plantes avec leur système racinaire, peuvent agir directement sur la matière en provoquant sa fragmentation et son déplacement.

De nombreux facteurs vont avoir une incidence sur le phénomène d'érosion tel que la gravité qui va favoriser le déplacement de la matière en particulier sur les sols à fortes pentes. Les facteurs de l'érosion sont multiples et, de manière générale, la littérature fait état de leur caractère « permanent » ou « variable » (Léone, 1996 dans Rouet, 2009). Par exemple, la nature du sol va bien sûr être un paramètre permanent puisque son érodabilité* dépend, en premier lieu, de ses propriétés de compaction ou de porosité qui le caractérise. A l'inverse, la température peut être considérée comme un facteur variable qui change en fonction des saisons.

L'activité humaine est identifiée dans le tableau 1 parmi les facteurs variables de l'érosion. En effet, les activités anthropiques vont avoir un impact sur les phénomènes d'érosion et sont souvent liées à une dégradation de la végétation ou autres perturbations des sols. Par le biais de ses activités, l'homme va souvent déclencher de nouveaux phénomènes d'érosion ou perturber la cinétique des phénomènes en place.

Erodabilité : correspond à la sensibilité d'un sol au détachement et au transport de matière lorsqu'il est exposé aux agents de l'érosion.*

Facteurs permanents	Facteurs variables
Gravité	Végétation
	Faune
Nature du sol et du sous-sol	Sismicité
	Précipitations
Structure du sol et du sous-sol	Eaux courantes et d'infiltration
	Air
Climat	Température
	Feu
Topographie	Activité humaine

Tableau 1 : Principaux facteurs de l'érosion (Rouet, 2009).

I.4. Cinétique des phénomènes d'érosion

L'érosion est un phénomène complexe dont la cinétique est très variable. Celle-ci va notamment dépendre de nombreux facteurs comme évoqué précédemment, mais aussi de l'échelle spatiale à laquelle l'observation s'effectue. Par exemple, lorsque l'on observe la modification des reliefs

montagneux causée par l'érosion, les évolutions s'observent sur l'échelle des temps géologiques (plusieurs millions d'années) alors que l'évolution d'une ravine soumise à l'érosion lors d'une précipitation peut être observée sur quelques heures.

Ce sont les phénomènes d'érosion dont l'évolution est visible à l'échelle humaine qui sont pris en considération dans les démarches de gestion environnementale.

1.5. Les processus associés à l'érosion

L'érosion correspondant au détachement de matière, deux autres processus y sont donc directement associées : le transport, puis la sédimentation ou dépôt de cette matière mise en mouvement. Les trois processus sont intimement liés et c'est le bilan des forces appliquées sur la matière qui va déterminer le processus en jeu. L'érosion prend place lorsque la force appliquée par l'agent érosif sur la matière est supérieure à la somme des forces qui assurent sa cohésion. Le déclenchement du processus de détachement de la matière nécessite plus d'énergie que la phase de transport : ceci est dû aux forces assurant la cohésion de la matière. Cette cohésion peut être associée à certaines des caractéristiques de la matière comme le degré de compaction, les forces électrostatiques des particules qui la compose. C'est l'agent à l'origine du processus d'érosion qui va assurer le transport de la matière et cette matière sédimente lorsque le bilan des forces ne permet plus la mise en mouvement de la matière.

Le diagramme de Hjulstrom est un bon exemple qui illustre les relations entre les processus d'érosion, de transport et de sédimentation (Figure 1). Résultant d'expériences menées en laboratoire sur des grains de quartz placés dans l'eau, ce diagramme établit en fonction de la vitesse de l'eau et du diamètre des grains de quartz, le processus concerné. On constate que la limite entre l'érosion et le transport est assez floue, due en grande partie aux forces électrostatiques qui assurent parfois une cohésion plus importante des particules de faibles dimensions.

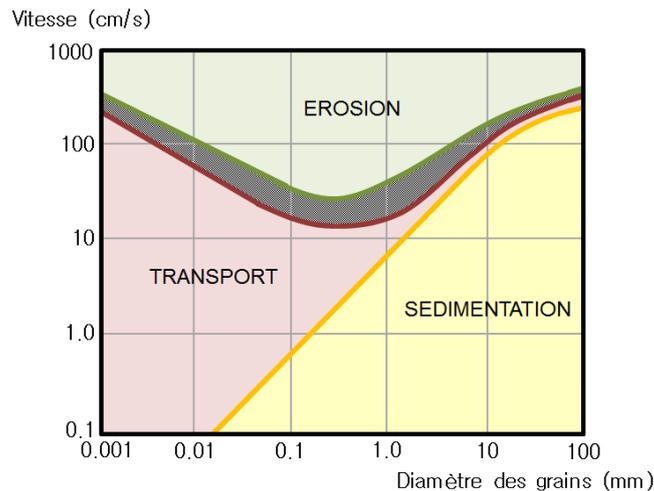


Figure 1 : Diagramme de Hjulstrom. Il présente la relation entre intensité du courant, le diamètre des particules et l'intervention des trois processus Érosion - Transport - Sédimentation dans un cours d'eau.

I.6. Érosion : menaces et pressions sur l'environnement

L'érosion est un phénomène naturel, ce qui signifie qu'il est complètement intégré au fonctionnement des écosystèmes. Dans certains cas, il joue même un rôle primordial et c'est le cas dans certains cours d'eau où les habitats sont façonnés par l'apport en matériaux solides : galets, graviers (etc.) issus des phénomènes d'érosion sur les versants et les berges. La stabilisation volontaire des versants est généralement effectuée dans le but de limiter les phénomènes types glissement de terrains ou laves torrentielles (cf. II.2. Les formes d'érosion) qui compromettent la sécurité des zones habitées. Cette stabilisation qui s'effectue par la construction d'ouvrages et/ou par plantation d'espèces végétales, limite l'intensité des phénomènes d'érosion ce qui peut provoquer une carence d'apport en matériaux dans les écosystèmes dulçaquicoles (Malavoi *et al.*, 2010).

L'érosion en tant que telle n'est donc pas une menace sur l'environnement, mais c'est la perturbation de ce phénomène qui peut provoquer des pressions sur les écosystèmes concernés. De manière générale, les pressions associées à l'érosion observées dans les milieux naturels correspondent à des phénomènes d'érosion anormalement intenses.

Les phénomènes d'érosion accrue (perturbée) représentent l'une des menaces environnementales les plus importantes à l'échelle mondiale (Pimentel & Kounang, 1998).

Un taux d'érosion anormal peut causer la détérioration des sols (Marques *et al.*, 2008), affecter la végétation et la faune associée. Des phénomènes d'érosion hydrique concentrés, type ravine, peuvent également impacter la végétation par destruction mécanique.

Dans les milieux aquatiques, dulçaquicoles et marins, ce sont principalement les apports en sédiments et en contaminants (ex : métaux et polluants diverses) qui peuvent être impactants. Les

apports sédimentaires peuvent changer la structure des habitats, modifier la qualité physico-chimique de l'eau et provoquer l'étouffement des écosystèmes par dépôts sédimentaires. Une érosion accrue représente souvent des apports excessifs en métaux qui peuvent représenter une certaine toxicité pour les organismes. C'est notamment le cas du Cobalt : ce métal pourtant essentiel pour certains organismes (synthèse de vitamine B12 intervenant dans la formation de l'hémoglobine), est également toxique pour l'environnement et les organismes lorsqu'il est en concentrations trop élevées (Gault *et al.*, 2010).

C'est donc potentiellement l'ensemble des milieux naturels qui peuvent être impactés par l'érosion notamment via les processus de transport et de sédimentation.

Chapitre II - CONTEXTE

II.1. L'érosion dans le contexte néo-calédonien

II.1.1. Contexte géologique et climatique de la Nouvelle-Calédonie

L'histoire géologique de la Nouvelle-Calédonie est originale. Autrefois rattaché au Gondwana, le « caillou » s'est désolidarisé de la marge Est du super continent, il y a environ 85 millions d'années (crétacé supérieur). Situé sur la plaque Australienne, ce fragment de croûte continentale qui allait former la Nouvelle-Calédonie a reçu l'apport de différents matériaux géologiques au cours de plusieurs épisodes de plissements de la plaque. Le dernier plissement intervenu durant la fin de l'éocène (38 millions d'années) a engendré l'obduction* de la plaque pacifique sur la plaque australienne provoquant ainsi l'apport de plancher océanique basaltique surmonté de roches ultrabasiques (péridotites). Au cours du temps, les phénomènes d'érosion et d'altération ont largement participé au démantèlement des péridotites (Chevillotte *et al.*, 2005) qui se trouvent aujourd'hui présentes sur seulement un tiers de l'île de la Grande Terre (Lafoy *et al.*, 2003 ; Pelletier, 2007 ; Richer de Forges & Pascal, 2008) dont deux tiers se rencontrent dans le sud de l'île, alors qu'elles ont recouvert originellement l'ensemble de la Grande Terre. Très riches en éléments métalliques (Cr, Ni, Co, Mn etc.), les péridotites, roches ultrabasiques ou ultramafiques (roches magmatiques pauvres en silice et riches en fer et magnésium), sont altérées sous l'effet des aléas climatiques. Ainsi les formes les plus altérées (les plus exposées) sont en surface et un profil type d'altération se distingue avec la superposition d'altérites* allant de la surface jusqu'à au substratum non altéré, la roche « saine » (Figure 2). Les latérites, formes altérées des péridotites qui sont en surface, sont friables et naturellement sensibles à l'érosion. Comme la roche mère, elles sont également riches en éléments métalliques potentiellement toxiques pour l'environnement.

Subduite* : ce dit de la plaque qui est chevauchée lors d'un phénomène de subduction.

Obduction* : chevauchement d'une croûte continentale par une croûte océanique.

Altérites* : roches résultant de l'altération d'une roche saine.

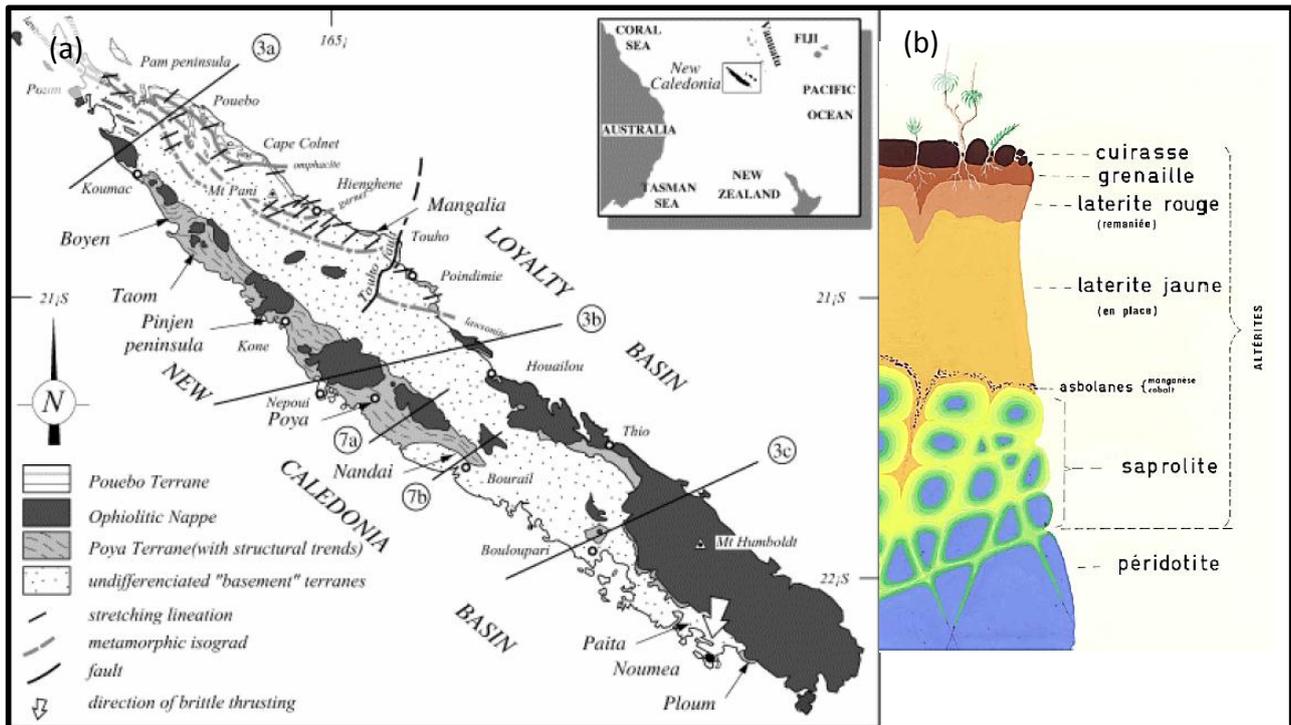


Figure 2 : (a) Structure géologique de la grande terre (Cluzel et al., 2001) ; la classe « Ophiolitic Nappe » correspond aux roches ultrabasiques. (b) Profil type d'altération tropicale sur pèridotites (Pelletier, 2001).

Le climat de la Nouvelle-Calédonie est tropical océanique, tempéré soumis à des alizés de Sud Est (Météo France Nouvelle-Calédonie). La saison cyclonique (de mi-novembre à mi-avril) implique de fortes précipitations qui occasionnent une érosion accrue des sols durant les événements exceptionnels. Le ruissellement des eaux de pluie sur les versants des massifs ultrabasiques correspond à la cause majeure de leur érosion.

(Pour plus de précisions sur le contexte ultrabasique en Nouvelle-Calédonie voir Maurizot et Lafoy 2003)

II.1.2. Érosion hydrique en milieu ultrabasique

Les phénomènes d'érosion hydrique sur les massifs ultrabasiques retiennent toute l'attention de l'Observatoire pour plusieurs raisons. Ces formations géologiques recouvrent la grande majorité de la zone d'action terrestre de l'OEIL et leurs sols particulièrement érodables sont de véritables réserves en éléments métalliques. C'est notamment ce contexte géologique si particulier du Sud de la Nouvelle-Calédonie qui :

- a conditionné le développement d'un fort taux d'endémisme faunistique et floristique,
- suscite l'intérêt des exploitants miniers.

Ces espaces sont donc témoins aujourd'hui d'un conflit d'intérêt où conservation environnementale et développement économique apparaissent tout deux comme des objectifs prioritaires.

II.1.3. Biodiversité

La biodiversité de la Nouvelle-Calédonie s'est développée dans des conditions originales qui ont façonnées son caractère exceptionnel. Lors de sa formation géologique, l'immersion totale de l'île signifie que la vie terrestre a disparu pendant cette phase. Géographiquement isolée, la flore et la faune néo-calédoniennes actuelles résultent de la radiation spécifique de quelques espèces provenant du continent australien, des îles de Mélanésie et de Nouvelle-Zélande (Smith *et al.*, 2007 ; Murienne *et al.*, 2005 ; Richer de Forges & Pascal, 2008). Les fortes concentrations en métaux, en partie toxiques, contenues dans les substrats ultrabasiques ont ajouté une contrainte environnementale qui a joué un rôle important dans la radiation évolutive des plantes et des espèces qui les consomment (Whiting *et al.*, 2004).

Comme la plupart des îles océaniques, la Nouvelle-Calédonie ne fait pas exception en qui concerne le caractère « dysharmonique » de sa faune et de sa flore terrestres, c'est-à-dire l'absence de certains groupes taxonomiques (Simberloff, 1988 dans Richer de forges & Pascal, 2008). En revanche la Nouvelle-Calédonie dispose d'une richesse spécifique très élevée et d'un taux d'endémisme exceptionnel. Ce taux d'endémisme est associé à des répartitions géographiques très retraintes de certaines espèces qui vont être regroupées sur des aires de quelques km² : il s'agit de micro-endémisme. Ce micro-endémisme concerne plus particulièrement les espèces végétales sur les substrats ultrabasiques. Dans ces milieux, l'endémisme pour les 2200 espèces recensées est de 80% dont 35% des espèces qui ne sont représentées que dans ces écosystèmes (Jaffré, 2003).

Les cours d'eaux néo-calédoniens abritent également des espèces endémiques. Sur 69 espèces de poissons recensées, 13 sont endémiques à la Nouvelle-Calédonie ou à l'ensemble Nouvelle-Calédonie/Vanuatu.

Le lagon néo-calédonien, quant à lui, est l'un des plus vastes au monde couvrant une superficie de 23000 km² avec la plus grande barrière récifale continue : 1600 kilomètres de long (Richer de forges, 1991). Son état de conservation exceptionnel et sa richesse a valu l'inscription de 6 sites récifo-lagonaires de Nouvelle-Calédonie au patrimoine mondial de l'humanité (UNESCO) en 2008.

II.1.4. Activités anthropiques et érosion

L'essor minier de la Nouvelle-Calédonie est due à la présence de roches riches en métaux (Fe, Mn, Ni, Cr, Co etc.). Les sols qui font l'objet d'exploitations minières depuis la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, représentent selon les estimations le quart des réserves mondiales du type supergène en nickel. Les ressources minières étant accessibles depuis la surface des massifs exploités, ce sont des mines à « ciel ouvert » qui sont mises en place. Le procédé consiste à excaver la couche superficielle

de matériaux afin d'accéder aux couches sous-jacentes aux teneurs plus importantes en métaux, les saprolites essentiellement jusqu'à ces dernières années et les latérites plus récemment. Ces exploitations nécessitent donc le défrichage de grandes surfaces de végétation dans les conditions de micro-endémisme connues en Nouvelle-Calédonie. Au-delà de la destruction pure et simple de grandes surfaces d'habitats terrestres, c'est l'exposition des sols à une érosion accrue qui soumet l'environnement à des pressions mettant en péril son intégrité.

L'activité minière n'est pas la seule source de perturbation anthropique des phénomènes d'érosion. En Nouvelle-Calédonie, les « feux de brousse » (1000 à 10 000 Ha de végétation brûlée recensés chaque année) sont principalement d'origine humaine et détruisent ou détériorent le couvert végétal, ce qui a pour effet, associés aux précipitations et au ruissellement, de rendre les sols plus sensibles à l'érosion. L'agriculture qui nécessite le défrichage de la végétation est aussi une activité qui va affecter les processus d'érosion en exposant la surface des sols.

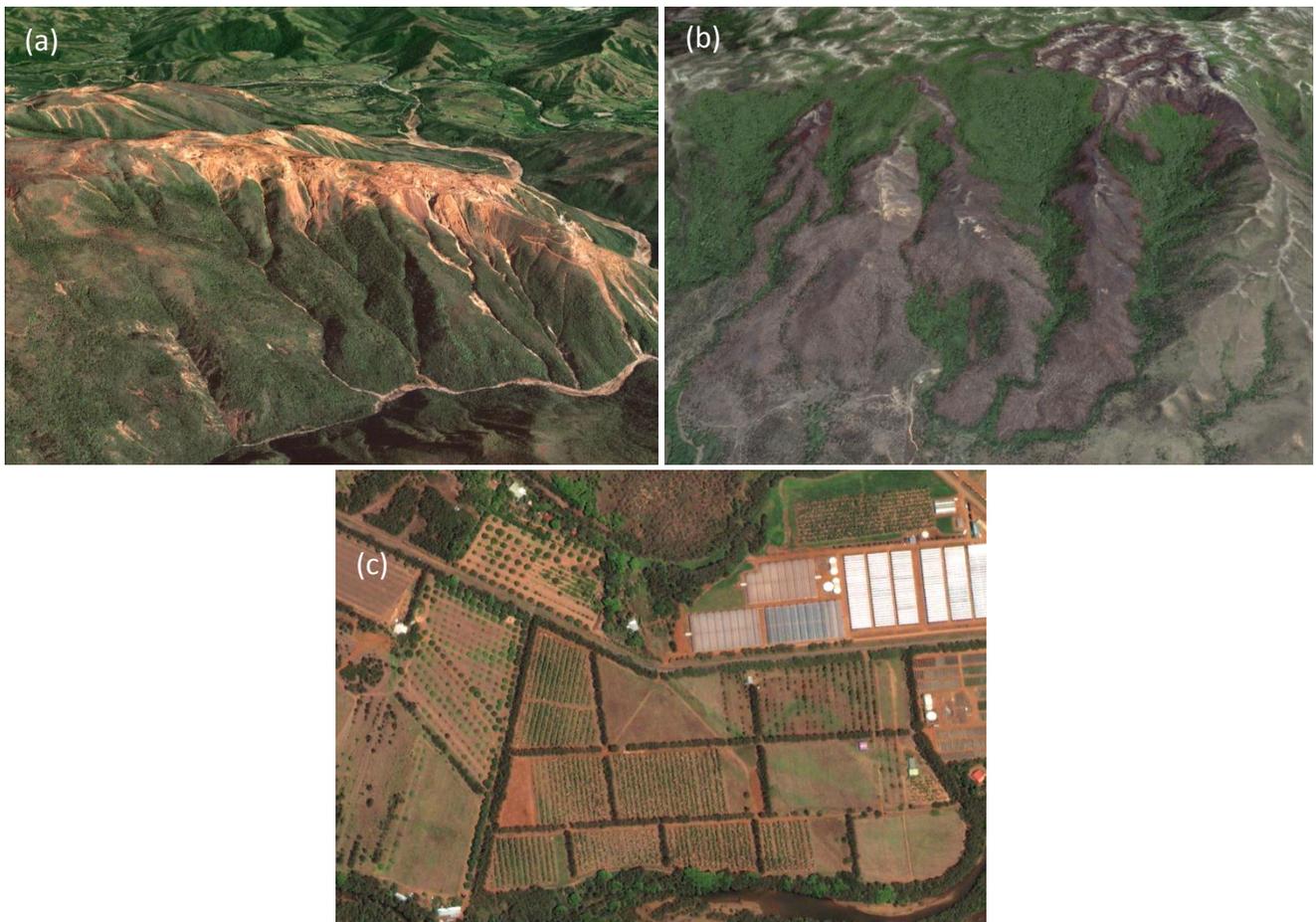


Figure 3 : Principales activités anthropiques sources de perturbation des phénomènes d'érosion en Nouvelle-Calédonie. (a) Site minier ; (b) feu de brousse sur un versant de montagne ; (c) Activités agricoles. (Source : Geoeye - Google earth).

II.2. Les formes d'érosion

II.2.1. L'érosion particulaire

C'est le phénomène d'érosion qui est associé à l'érosion hydrique. Deux types se distinguent : l'érosion en nappe et l'érosion concentrée. L'érosion en nappe intervient sur les surfaces exposées à la battance des pluies. La chute des gouttes va engendrer la formation d'une « croûte de battance » peu perméable qui favorise le ruissellement en nappe (Le buissonnais *et al.*, 2002 ; Rouet, 2009). Cette érosion en nappe va ensuite évoluer vers une érosion concentrée lorsque le ruissellement n'est plus uniforme sur la surface et que les écoulements se rejoignent. L'érosion particulaire représente une pression chronique sur l'environnement puisqu'elle est associée aux précipitations. Elle est susceptible d'affecter l'ensemble des milieux naturels puisque les particules arrachées sont facilement transportables par l'eau.

L'ensemble des formes d'érosion présentées ci-dessous sont décrites dans « Caractérisation et éléments de quantification d'aléas naturels liés à l'évolution des versants dans les massifs ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie » (Rouet, 2009).

II.2.1.a. Les lavakas

« Lavaka » provient du malgache et signifie : « grand trou ». Ces formes sont issues de l'érosion particulaire sur versant latéritique. Elles sont initiées , en Nouvelle-Calédonie par l'érosion des latérites rouges plus ou moins friables et évoluent pour atteindre les couches sous-jacentes (latérites jaunes) jusqu'au substratum rocheux non altéré. En forme de poires inversées, les lavakas peuvent s'étendre jusqu'au sommet des versants.

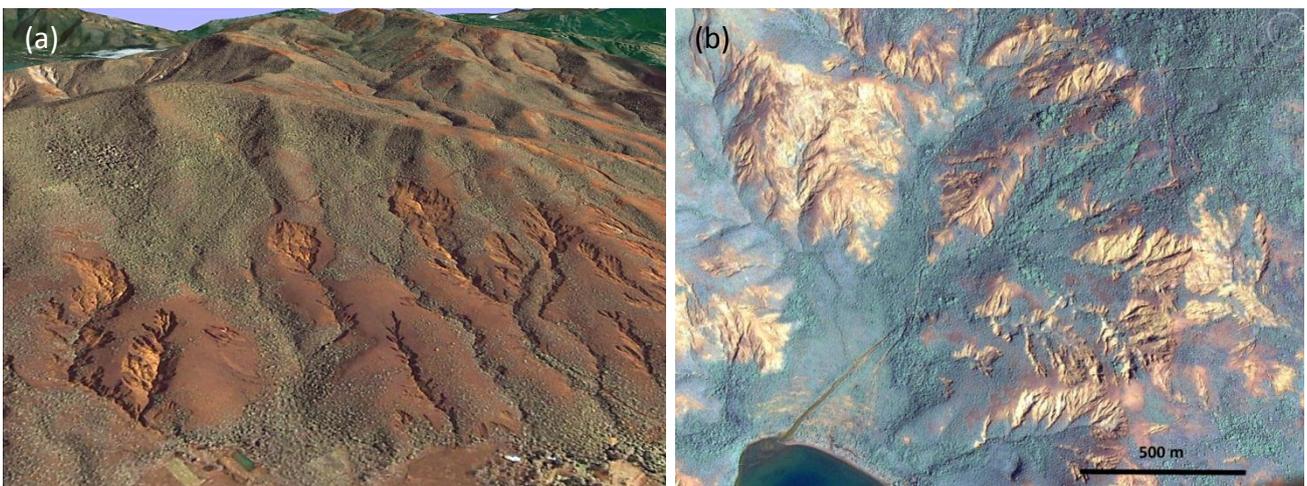


Figure 4 : Lavakas en milieu ultrabasique, Nouvelle-Calédonie ; (a) lavakas situés sur le bassin versant de la rivière des pirogues. (b) lavakas sur le bassin versant de la baie de la Somme. (Source : Geoeye - Google earth).

II.2.1.b. Les ravines à érosion régressive

Ces formes sont présentes en domaine rocheux principalement. Les ravines forment de grandes tranchées linéaires dans les versants et vont parfois mesurer plusieurs centaines de mètres de long. A l'inverse des lavakas, ces formes peuvent se développer de manière isolée sur un versant. Les ravines restent actives tant qu'il y a présence de matériaux érodables.

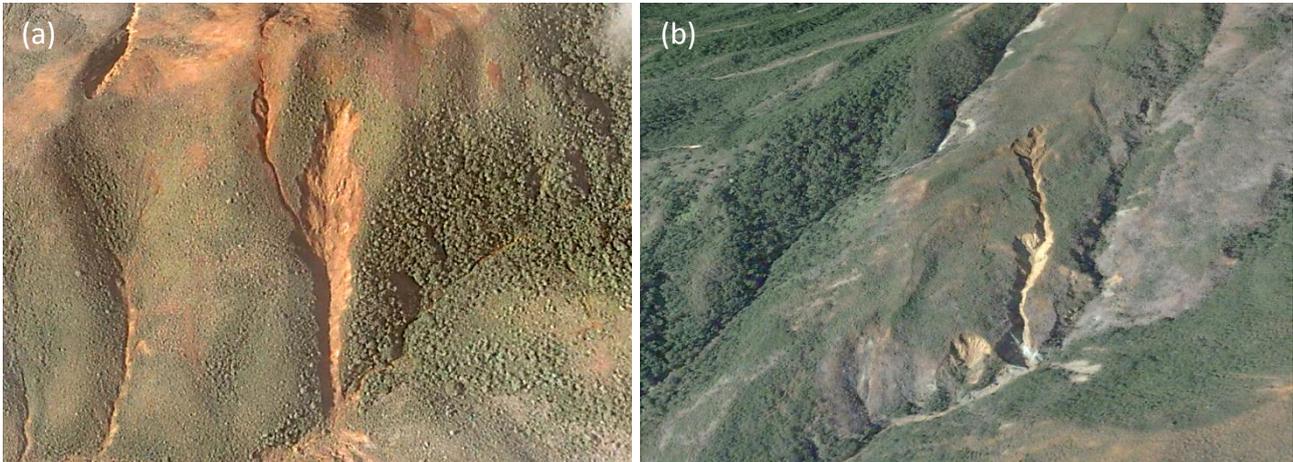


Figure 5 : Ravines à érosion régressives en milieu ultrabasique, Nouvelle-Calédonie ; (a) Mont Dore ; (b) Massif du Kopéto. (Source : Geoeye - Google earth).

II.2.1.c. Les coulées de débris et laves torrentielles

Formes superficielles, les coulées de débris apparaissent sur les surfaces à fortes pentes. Elles forment des tranchées sur les versants le long desquels des coulées de matériaux fortement chargés en eau vont être provoquées pendant des épisodes de fortes précipitations. Les coulées boueuses sont principalement issues de matériaux latéritiques, mais elles peuvent incorporer un pourcentage non négligeable de matériaux rocheux arrachés au point de départ ou aux terrains parcourus par la coulée (par effet « boule de neige ») et peuvent évoluer en laves torrentielles lorsqu'elles rencontrent un thalweg.



Figure 6 : Coulées de débris et laves torrentielles en Nouvelle-Calédonie ; (a) Coulées de débris dans l'emprise d'un site minier ; (b) Laves torrentielles, massif du Mé Moya. (Source : Geoeye - Google earth).

II.3. Surveillance des pressions associées à l'érosion

Compte tenu des pressions et menaces que représente l'érosion sur les milieux naturels en Nouvelle-Calédonie, le suivi du phénomène est indispensable pour une gestion environnementale efficace.

II.3.1. Échelles spatiales et temporelles

L'érosion est un phénomène complexe et multi-échelle, tant sur le plan spatial que temporel. Dans une démarche de surveillance environnementale, l'observation des pressions associées doit se faire selon des échelles adaptées aux objectifs fixés.

II.3.1.a. Échelles spatiales

Pour observer les pressions associées à l'érosion, les échelles spatiales considérées correspondent aux zones d'érosion contributrices. Dans le cas de l'érosion hydrique, l'échelle retenue est celle du bassin-versant puisqu'elle est hydrologiquement définie et généralement opérable en termes de mise en place de mesures de gestion.

Bassin versant : le terme bassin versant désigne la surface géographique sur laquelle toutes les eaux s'écoulent vers un même point appelé exutoire (Banton & Bangoy, 1997). Cet espace est ceinturé par la ligne suivant la crête des montagnes, des collines et des hauteurs du territoire, appelée ligne des crêtes ou ligne de partage des eaux (Gangbazau, 2004).

Notons que la notion de bassin versant reste spatialement « élastique », puisqu'un ensemble de bassins versant dont les réseaux hydrologiques se rejoignent en aval peuvent être réunis en un bassin versant plus grand. Dans le présent rapport, le bassin versant sera considéré comme une entité s'étendant de la ligne de crête des montagnes en amont jusqu'à une zone estuarienne correspondant à l'exutoire en aval.

Ce type de bassin versant regroupe donc les milieux : terrestre, dulçaquicole et marin (zone estuarienne). Cette configuration du bassin versant est celle la plus souvent prise en considération pour la gestion environnementale en Nouvelle-Calédonie.

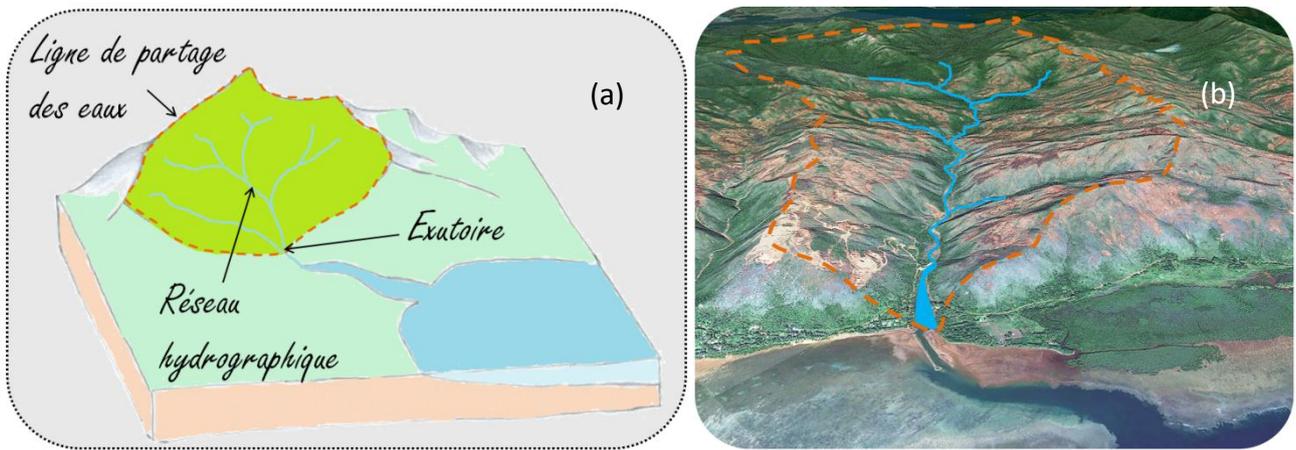


Figure 7 : (a) schéma d'un bassin versant et ses composantes. (b) Configuration du bassin versant type pris en considération dans le rapport : Bassin versant sur massif ultrabasique - Commune de Yaté - Côte oubliée - Sud de la Grande Terre, Nouvelle-Calédonie. (Source : Geoeye - Google earth).

II.3.1.b. Échelles temporelles

Le choix de l'échelle temporelle de suivi va être fonction des caractéristiques du processus à l'origine des pressions et de sa cohérence avec les objectifs de gestion environnementale. La surveillance des pressions associées à l'érosion hydrique correspond généralement à une base annuelle ou à l'occurrence des précipitations. Les études de Hicks (1994) en Nouvelle-Zélande, Soicher et Peterson (1997) à Hawaii et Wotling à Tahiti (2002) ont montré que les flux de matière annuels dans les milieux insulaires du Pacifique sont principalement issus de quelques événements pluvieux durant la saison des pluies. Il en est de même en Nouvelle-Calédonie.

II.3.2. Forçages et pressions associés à l'érosion

Les suivis environnementaux s'insèrent généralement dans un schéma classique où se distinguent les forçages qui engendrent des pressions qui sont subies par les milieux naturels.

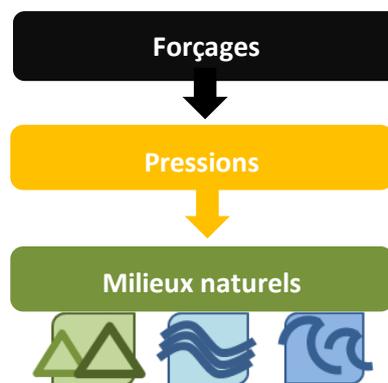


Figure 8 : schéma simplifié représentant l'approche par pression.

- **Forçages.** Dans le cas des pressions associées à l'érosion, les forçages vont être les agents à l'origine de la modification des phénomènes naturels d'érosion et/ou du déclenchement de

nouveaux phénomènes. Quelques exemples de forçages que l'on peut citer : les activités minières, les feux de brousse, l'agriculture, la prolifération d'espèces herbivores.

- **Pressions.** Les pressions correspondent aux conséquences des forçages qui compromettent de manière directe l'intégrité de l'environnement. Dans le cas des pressions associées à l'érosion les plus récurrentes pouvant être citées sont : la dégradation des sols, l'apport sédimentaire, l'apport en métaux, la destruction mécanique.
- **Milieus naturels.** Ce sont les trois grands milieux : terrestre, dulçaquicole et marin. L'intérêt de ce découpage est que les pressions associées vont concerner plus particulièrement certains milieux que d'autres.

Remarque : un forçage peut-être à l'origine de diverses pressions et une même pression peut être provoquée par différents forçages.

FORÇAGES "EROSION"	PRESSIONS "EROSION"	MILIEU		
		TERRESTRE	DULÇAQUICOLE	MARIN
Mines	Apport en sédiments	-	✓	✓
Feux de brousse	Apport en métaux	-	✓	✓
Agriculture	Dégradation des sols	✓	-	-
Espèces herbivores	Destruction mécanique	✓	-	-
Aménagements (ex: piste)				
Changement climatique				

Tableau 2 : Principaux forçages relatifs à l'érosion et les pressions subies par milieu en Nouvelle-Calédonie.

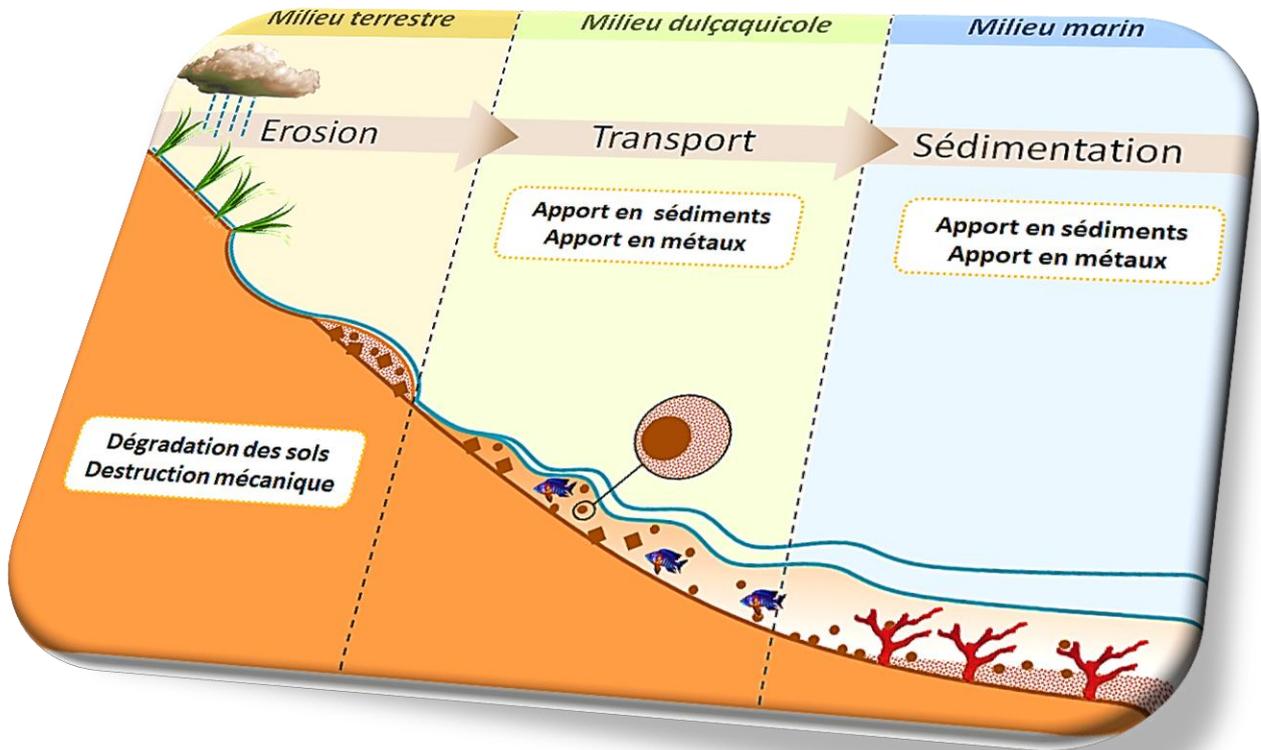


Figure 9 : Ce schéma simplifié illustre les pressions associées à l'érosion (encadrés jaunes) dans les milieux naturels. Notons qu'en ce qui concerne les processus érosion/transport/sédimentation, ces derniers peuvent être associés aux trois milieux. Cependant, l'objet de l'illustration est de présenter un scénario « classique » d'érosion hydrique en milieu ultrabasique sur un bassin versant où la matière issue de l'érosion des versants transite via les creeks et rivières pour arriver en milieu marin où elle sédimente.

II.3.3. Paramètre

Le paramètre est l'objet d'une mesure ou d'un dénombrement. Il correspond au contenant de la donnée qui est générée par l'analyse ou l'observation réalisée dans le cadre d'un suivi (Beliaeff *et al.*, 2011). Exemples de paramètres : la concentration en matière en suspension, l'abondance en macro-invertébrés.

Dans l'optique d'un suivi environnemental les paramètres qui sont sélectionnés vont permettre de suivre :

- l'état de l'environnement, c'est-à-dire sa structure et ses fonctionnalités,
- les pressions sur l'environnement.

➔ Le suivi simultané des deux types de paramètres : « paramètres d'état » et « paramètres de pression », permet :

- d'interpréter les évolutions des paramètres d'état en fonction des évolutions des paramètres de pression,
- lorsque les pressions qui ont un impact sur l'état de l'environnement ont été déterminées, il est possible de prendre les mesures de gestion adaptées,

- d'anticiper les impacts sur l'environnement puisque l'intensification d'une pression peut être détectée avant qu'elle n'est eue un impact sur l'environnement.

Spécificité : *les paramètres peuvent être plus ou moins spécifiques à une pression environnementale. Par exemple, pour suivre la pression « apport en sédiments » liée à l'érosion dans les milieux dulçaquicoles, le paramètre « turbidité de l'eau » est moyennement spécifique de cette pression puisque la turbidité est, certes, le résultat des apports sédimentaires liés à l'érosion, mais également des processus de remise en suspension et d'eutrophisation.*

Sensibilité : *la sensibilité est également un aspect important à prendre en compte dans le choix et l'analyse des paramètres puisqu'ils sont plus ou moins sensibles aux variations des pressions. Par exemple pour détecter une perturbation fine liée aux « apport en sédiments » l'observation de la concentration en matière en suspension sera un paramètre plus sensible que la mesure du taux d'accumulation des sédiments.*

II.3.4. Méthodologie de suivi d'un paramètre

Le suivi d'un paramètre nécessite d'avoir identifié une méthodologie qui permette d'accéder à la valeur de ce dernier. Elle représente les moyens (compétences et équipements) et le protocole qui sont mis en œuvre pour obtenir la valeur du paramètre retenu. De manière générale la méthodologie de suivi d'un paramètre englobe diverses étapes comportant :

- L'acquisition de données
- le traitement des données
- la production de résultats

Le suivi d'un même paramètre peut généralement être effectué grâce à diverses méthodes et le choix s'effectue en fonction des aspects suivants :

- la précision
- la répétabilité
- le domaine d'application
- la complexité de mise en œuvre
- le coût

II.4. Objectifs du rapport

La démarche générale pour la mise en place d'un suivi est de considérer la problématique et les objectifs pour définir les paramètres et leur méthodologie. Ainsi, pour un phénomène aussi

complexe que l'érosion, qui va potentiellement affecter l'ensemble des milieux naturels interconnectés, de nombreuses méthodes ont été développées pour le suivi de paramètres adaptés.

À partir de l'existant, l'objectif de ce rapport est de dresser un panorama des principales méthodes de suivi de paramètres de pressions liés à l'érosion dans les milieux naturels, applicables dans une optique de gestion environnementale de l'érosion hydrique.

Ce rapport ne se veut donc pas exhaustif puisqu'il présente une sélection de méthodes.

Chapitre III - MATERIEL ET METHODES

Les informations et données contenues dans le présent rapport sont issues de recherches bibliographiques et d'échanges effectués avec les principaux acteurs néo-calédoniens concernés par la thématique de l'érosion.

III.1. Consultation des principaux acteurs locaux

Une étape de consultation des principaux experts et professionnels locaux a été entreprise afin d'échanger sur les diverses techniques employées pour le suivi des pressions associées à l'érosion. Ainsi, se sont 17 personnes qui ont été contactées dans le cadre de cette étude. Les structures concernées sont listées ci-dessous :

Structures contactées
Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) - Antenne de Nouvelle-Calédonie
Bureaux d'études - EMR / BLUECHAM
Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie de Nouvelle-Calédonie (DIMENC) - Fonds nickel / Service Géologie
Direction des Affaires Vétérinaires, Alimentaires et Rurales (DAVAR)
Exploitants miniers - Vale Nouvelle-Calédonie / Société Le Nickel (SLN)
Insitut de Recherche pour le Developpement (IRD) de Nouméa - Unité de recherche ESPACE
Institut national de Recherche en Science s et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA) - Observatoire de Recherche sur les processus hydrologiques et Erosifs en montagne (ORE Draix)
Province Nord - Direction du Développement Economique et de l'Environnement (DDEE)
Province Sud - Direction du Developpement Rural (DDR)
Université de Nouvelle-Calédonie (UNC) - Pôle Pluridisciplinaire de la Matière et de l'Environnement (PPME) / Equipe de Recherche en Informatique et Mathématiques (ERIM)

III.2. Recherches bibliographiques

Des recherches bibliographiques dans la littérature locale et internationale ont permis d'identifier des méthodes de suivi des pressions associées à l'érosion. L'ensemble des références

bibliographiques ayant permis la construction du rapport sont reprises en annexes. L'accès à la bibliographie a été rendu possible par l'utilisation de bases de données bibliographiques, grâce à la transmission de certains experts locaux et par téléchargement libre.

III.3. Exhaustivité

Ainsi, les techniques marginales développées, notamment en recherche, ne sont pas prises en compte dans ce rapport. Le panorama présenté ici ne se veut donc pas exhaustif, mais il reprend les principales méthodes pouvant être employées pour la mise en place de suivi des pressions associées à l'érosion hydrique sur les milieux naturels dans un objectif de gestion environnementale.

Aussi, il a été choisi d'écarter les méthodes faisant appel aux suivis de paramètres biologiques. Bien qu'ils puissent constituer de bons indicateurs des pressions de l'érosion, ils sont généralement très complexes à développer, de par la difficulté d'établir des relations de causes à effets entre l'évolution d'une pression et la réponse du paramètre biologique.

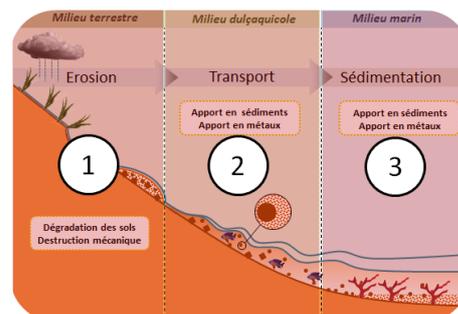
Seules des méthodes pour le suivi de paramètres physiques et chimiques sont donc présentées dans ce document.

III.4. Présentation des méthodes

III.4.1. Classement

Afin d'organiser la présentation des méthodes, ces dernières ont été classées de manière arbitraire selon les processus concernés à savoir :

- ① Érosion : détachement de matière
- ② Transport : déplacement de matière
- ③ Sédimentation : dépôt de la matière



Remarque : Certaines méthodes ont été classées dans une catégorie mais pourraient appartenir à plusieurs. Par exemple une méthode de suivi s'appuyant sur l'étude des dépôts sédimentaires en lit mineur d'une rivière va probablement rendre compte de la dynamique de sédimentation de ces dépôts mais également de leur érosion.

III.4.2. Fiche type

Afin d'en faciliter la lecture, les méthodes sont présentées sous formes de fiches.

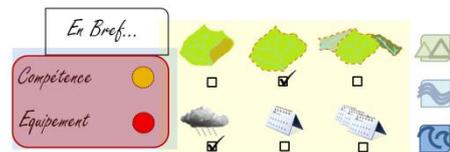
III.4.2.a. « En bref... »

La première partie de chaque fiche est composée du titre suivi d'un encart « En bref... » donnant un aperçu rapide sur la méthode décrite.



→ Technicité de la mise en œuvre

Cette partie de l'encart illustre la technicité qu'implique l'emploi d'une méthode de suivi. Ceci est un critère important pour pouvoir effectuer un choix.



- **Compétence** : correspond au niveau de compétence requis pour la mise en œuvre de la méthode.
- **Équipement** : c'est le niveau d'équipement nécessaire à la réalisation de la méthode.

Chaque caractéristique est évaluée selon trois niveaux : - **Faible**



- **Moyen**

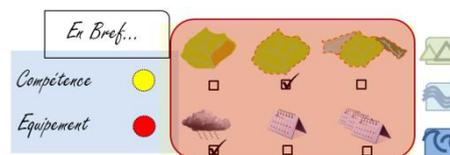


- **Fort**



→ Domaine spatial et temporel

Cette partie de l'encart renseigne sur le domaine d'application des méthodes qui va dépendre de leurs caractéristiques et de la cinétique des processus étudiés.



Échelle spatiale

Cette échelle correspond au domaine d'application spatiale de la méthode. Trois échelles spatiales sont prises en compte et sont définies selon le bassin versant (cf. II.3.1.a Échelles spatiales) :

- **Le sous bassin versant** : correspond à une portion du bassin versant. Échelle généralement plus opérable en termes de mise en place de mesures de gestion.



- **Le bassin versant** : correspond au bassin versant tel que définit dans II.3.1.a. Le bassin versant sera considéré comme une entité s'étendant de la ligne de crête des montagnes en amont jusqu'à une zone estuarienne correspondant à l'exutoire en aval.



- **Ensemble de bassins versant** : regroupe plusieurs bassins versant hydrologiquement distincts. Échelle adaptée à une surveillance globale des pressions liées à l'érosion.



Une case apparait sous chaque icone et elle est cochée lorsque le critère est retenu.



Échelle temporelle

Elle correspond à l'échelle temporelle adaptée pour la mise en œuvre de la méthode. Dans d'autres termes l'échelle temporelle correspond à la fréquence d'échantillonnage de la méthode.

Trois échelles temporelles peuvent être prises en compte :

- **Échelle des précipitations** : les précipitations étant le principal moteur des processus d'érosion/transport/sédimentation en milieu tropical insulaire la mise en œuvre de nombreuses méthodes va prendre en considération l'occurrence des phénomènes pluvieux.



- **Échelle Annuelle** : l'échelle annuelle est généralement adaptée à la réalisation de bilan pour l'orientation des mesures de gestion.



- **Échelle Pluriannuelle** : plus adaptée à une gestion de pressions associées à des processus lents comme l'accumulation des particules sédimentaires en milieu marin au droit d'un bassin versant.



Une case apparait sous chaque icone et elle est cochée lorsque le critère est retenu.



➔ **Milieux naturels ciblés**

Composée de trois icônes cette section renseigne sur les milieux naturels ciblés par la méthode de suivi.



Iconographie :



Milieu terrestre

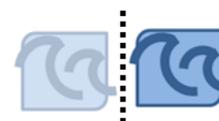


Milieu dulçaquicole



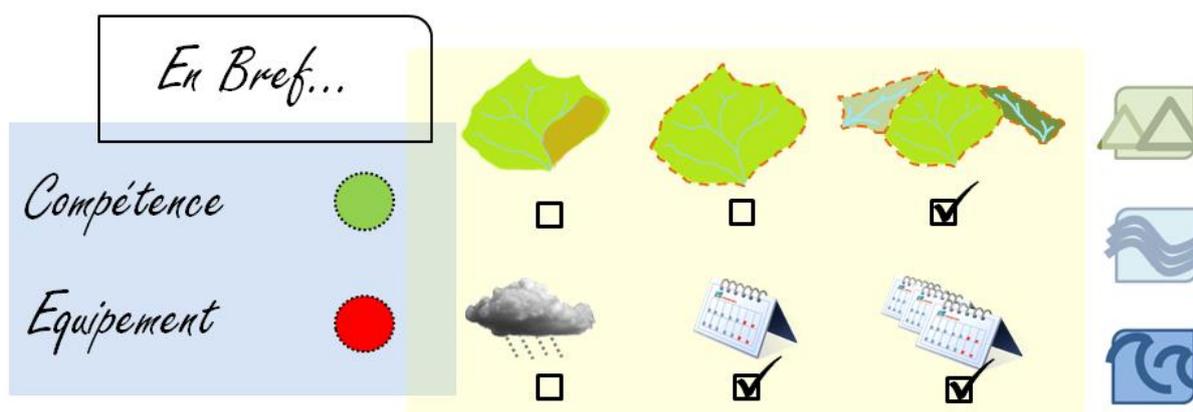
Milieu marin

Lorsque qu'un milieu n'est pas concerné par la méthode son icône est grisée.



Exemple

Ci-dessous, l'encart fictif de cette méthode de suivi d'une pression liée à l'érosion nous informe que sa mise en œuvre demande un faible niveau de compétence avec cependant beaucoup d'équipement requis. Son domaine d'application dans l'espace correspond au suivi d'un ensemble de bassins versant et sa mise œuvre peut être annuelle ou pluriannuelle. La méthode permet de réaliser un suivi dans le milieu marin uniquement.



III.4.3. Présentation de la fiche type

Titre : Nom de la méthode

En Bref...

<p>Compétence ●</p> <p>Équipement ●</p>	 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	  
	 <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	

Présentation

Définitions	Définition des termes importants.
Phénomène évalué	Précisions concernant la pression évaluée par la méthode et le phénomène concerné : Érosion/Transport/ sédimentation.
Paramètre suivi	Détails concernant le paramètre suivi.

Méthodologie

Principe	Description de la mise en œuvre de la méthode présentée.
Technicité et équipement	Détails concernant la technicité et l'équipement nécessaires pour la bonne réalisation de la méthode.
Données nécessaires	Description de la nature des données nécessaires à la production des résultats et de leur provenance.
Nature des résultats	Type de résultats produits par la méthodes.
Echelle spatiale et temporelle	Détails concernant le domaine d'application spatial et temporel de la méthode.

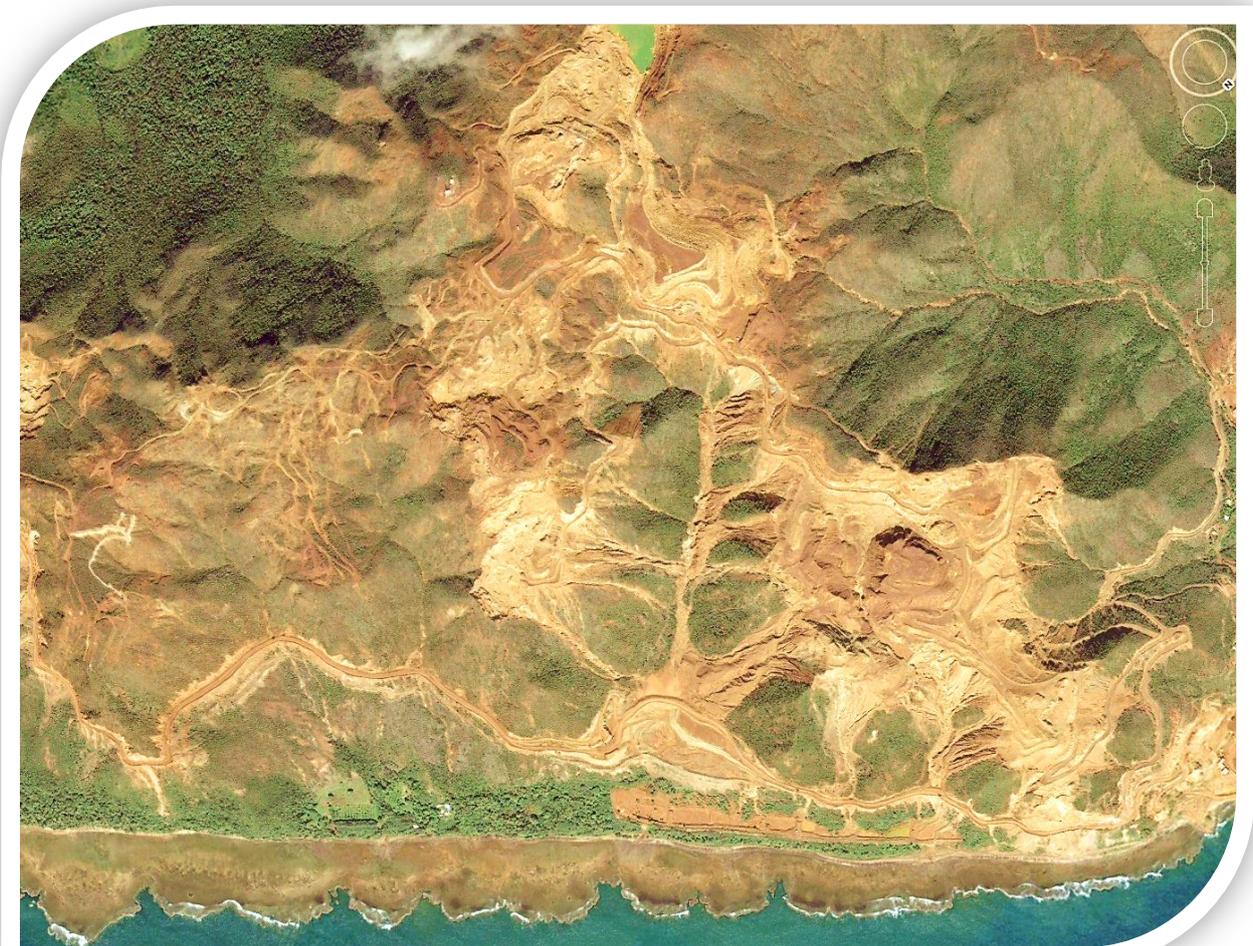
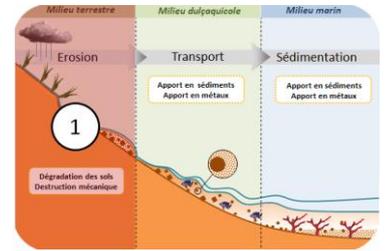
Application

Avantages	Avantages de la méthode sur le plan technique, scientifique et financier.
Limites	Limites de la méthode sur le plan technique, scientifique et financier.
Références bibliographiques	Liste des références bibliographiques employées pour la construction de la fiche.

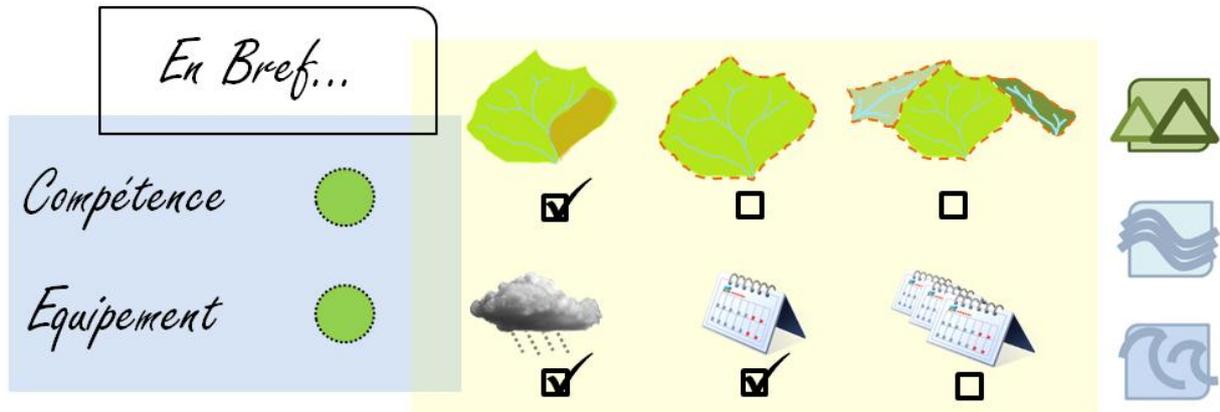
Chapitre IV - PANORAMA DES METHODES

IV.1. Phase de détachement de la matière : érosion

Les méthodes de suivi des pressions associées à l'érosion présentées ci-après s'appuient sur l'étude de la phase de détachement de matière. La production primaire des sédiments sur un bassin versant correspond généralement aux phénomènes d'érosion terrestres qui affectent plus particulièrement les terrains à forte pentes et peu végétalisés.



FICHE 1: Barrière à sédiment



Présentation

Définition(s)	La barrière à sédiment est généralement constituée de pieux de soutènement et d'un textile perméable. Le dispositif, installé de manière perpendiculaire au dénivelé d'un versant, permet de retenir les sédiments issus de l'érosion plus en amont. Généralement utilisée pour limiter la dispersion des sédiments elle permet aussi d'estimer l'érosion hydrique d'un versant.
Phénomène évalué	La barrière à sédiment va intercepter la matière en déplacement issue des phénomènes d'érosion en amont d'un versant. C'est le flux de sédiment qui va donc être estimé. La pression subie par le milieu terrestre qui est directement prise en compte est la « dégradation des sols » associée à l'érosion.
Paramètre suivi	Les données obtenues sur le terrain vont permettre de calculer un taux de perte en sol ou taux d'érosion correspondant à une quantité de sédiment érodé pour une surface et une durée données.

Méthodologie

Principe	La barrière à sédiment est installée perpendiculairement au dénivelé d'un versant dont on souhaite estimer le taux d'érosion. Ce dispositif perméable en retenant les sédiments va permettre d'effectuer régulièrement des estimations de quantités de sédiments érodés. L'estimation de la quantité de sédiments capturés par la barrière va être effectuée manuellement <i>in situ</i> par pesée à l'aide d'une balance ou par mesure de volumes. Ces phases d'échantillonnage permettent de curer le dispositif et d'effectuer des opérations de maintenance si besoin est. Dans le cas d'une pesée, des
-----------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Principe	échantillons de sédiment doivent être prélevés et traités en laboratoire afin de déterminer leurs teneurs en eau qui permettront de calculer par déduction leurs masses sèches. Parallèlement, des mesures de la pluviométrie peuvent être réalisées afin d'étudier la relation entre érosion et précipitation.
Technicité et équipement	La mise en œuvre de cette méthode de suivi est relativement simple et l'équipement employé peu onéreux. Une bonne connaissance de la zone d'étude est cependant nécessaire pour un positionnement et un dimensionnement approprié des barrières qui ne doivent pas être soumises à des zones de ruissellements trop intenses (risque de rupture et/ou de sous estimation des flux de sédiment).
Données nécessaires	Les données employées sont les quantités en sédiment (volumes ou masses), la surface de versant drainé en amont de la barrière à sédiment et les données relatives aux précipitations si l'on souhaite mettre en relation les phénomènes érosion/précipitation.
Nature des résultats	Les résultats produits vont être des taux d'érosion ou taux de perte en sol. Ils correspondent à des estimations de quantités de sédiments érodés par unité de surface (correspond à la surface drainée du versant) et de temps (temps écoulé entre deux relevés); ex : $m^3/m^2/an$. Ces valeurs peuvent être comparées avec les données pluviométriques afin d'étudier les relations entre les deux phénomènes.
Echelle spatiale et temporelle	La barrière à sédiment est adaptée au suivi d'un versant ou d'une portion de versant. Robichaud (2002) préconise le suivi d'une surface qui ne doit pas excéder $1950 m^2$. La fréquence du suivi dépend des objectifs fixés et peut être associée aux événements pluvieux ou à un suivi annuel. Elle doit cependant prendre en considération la vitesse de remplissage du dispositif. La durée de vie de ce type de dispositif est estimé à 3-5 ans (Robichaud, 2002).

Application

Avantages	<p>Cette méthode est simple à mettre en place sur le terrain et ne nécessite de moyens humains importants. L'équipement employé n'est pas coûteux. Lorsque le dispositif est installé dans les conditions adaptées, les résultats obtenus sont relativement fiables (environ 90 pourcent des sédiments retenus).</p> <p>La visualisation des quantités retenues dans les barrières permet une bonne</p>
------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	appréhension du phénomène d'érosion notamment par les non spécialistes.
Limites	La mise en place d'une barrière nécessite une bonne connaissance de la zone d'étude et peut nécessiter plusieurs essais, des flux de sédiments trop importants pouvant entraîner un débordement ou une rupture. L'estimation de la surface drainée peut s'avérer délicate. L'estimation des quantités capturées peuvent être difficile à réaliser sur le terrain en particulier s'il est choisi de mesurer la masse de sédiment plutôt que le volume.
Références bibliographiques	<ul style="list-style-type: none"> • Robichaud PR, Brown RE, 2002 - Silt fences: an economical technique for measuring hillslope soil erosion. General Technical Report (RMRS-GTR-94). United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 24 p. • Ypsilantis WG, 2011 - Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview. Technical Note 438. Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, CO. 35 p.

FICHE 2: Parcelle d'érosion

En Bref...

<p>Compétence </p> <p>Équipement </p>	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	
	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	

Présentation

Définition(s)	La parcelle d'érosion est un dispositif placé sur un versant dont on souhaite étudier/surveiller le ruissellement et le taux d'érosion hydrique. Elle permet de récupérer les eaux de ruissellement et les sédiments provenant d'une surface définie.
Phénomène évalué	La parcelle d'érosion permet de récolter les sédiments et les eaux de ruissellement directement issus de l'érosion des sols étudiés. L'emploi de ce dispositif permet donc de suivre la pression « dégradation des sols » associé à l'érosion.
Paramètre suivi	Le taux d'érosion ou taux de perte en sol est le paramètre suivi. Il correspond à une quantité de sédiment érodé pour une surface et une durée donnée.

Méthodologie

Principe	La technique consiste à collecter les sédiments et eaux de ruissellement d'un versant afin de quantifier l'érosion des sols en fonction de la pluviométrie. La parcelle d'érosion se constitue d'une surface délimitée par des barrières imperméables avec en aval un exutoire muni d'un dispositif de rétention des eaux de ruissellement et des sédiments. La quantité de sédiment récoltée (masse ou volume) permet de déterminer le taux d'érosion des sols (ou de perte en sol) qui peut être mise en relation avec la quantité d'eau de ruissellement collectée sur la zone d'étude. La détermination des quantités de sédiment et d'eau collectées s'effectue sur le terrain. La mesure de la masse
-----------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

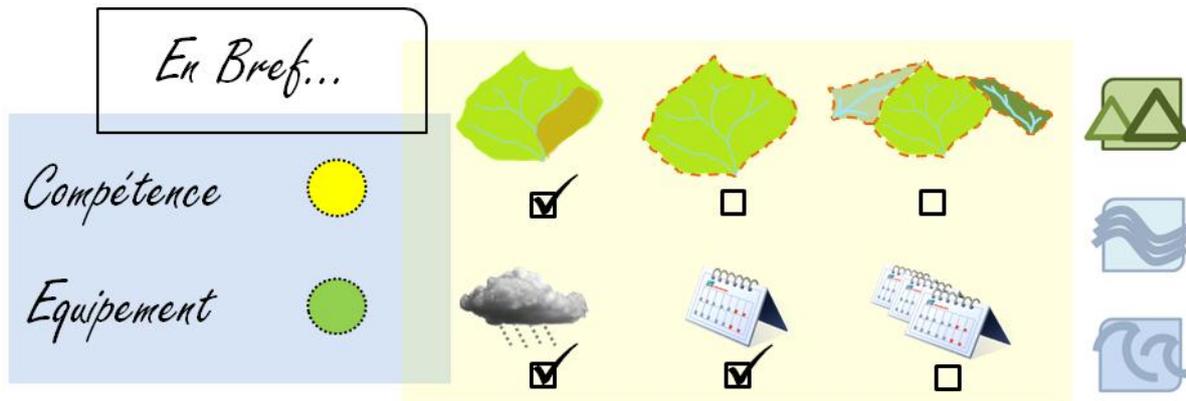
Principe	<p>en sédiment est effectuée avec une balance et elle doit être couplée à un prélèvement d'échantillons de sédiments dont la teneur en eau est déterminée en laboratoire afin de pouvoir calculer la masse sèche. La mesure des quantités d'eau de ruissellement est effectuée simultanément. Elle peut être réalisée à l'aide d'un mécanisme de flotteur qui va indiquer le détail du cumul des quantités collectées.</p>
Technicité et équipement	<p>La mise en place d'une parcelle d'érosion et son emploi nécessite une bonne connaissance technique du dispositif et de la zone d'étude. Son dimensionnement, sa position et son design doivent également être bien déterminés en fonction des objectifs du suivi et des caractéristiques de la zone d'étude. Aucun équipement sophistiqué n'est nécessaire pour la mise en place de cette méthode. Le coût de l'équipement va donc varier en fonction du dimensionnement de la parcelle construite mais représente globalement un fort investissement. Dans l'objectif de réaliser un suivi, la parcelle doit être suffisamment étendue pour être représentative des phénomènes d'érosion de la zone et peut représenter un coût considérable.</p>
Données nécessaires	<p>Les données employées sont les quantités en sédiment (volumes ou masses), la surface de versant drainé et les données relatives aux quantités d'eau de ruissellement collectées.</p>
Nature des résultats	<p>Les résultats produits vont être des estimations de quantités de sédiments érodés par unité de surface (relative à la surface drainée du versant) et de temps (temps écoulé entre deux relevés) ; ex : $g/m^2/an$. Ces résultats peuvent alors être mise en relation avec la quantité d'eau de ruissellement collectée afin d'étudier la relation entre les deux phénomènes.</p>
Echelle spatiale et temporelle	<p>La parcelle d'érosion est adaptée au suivi d'un versant ou d'une portion de versant. La fréquence des mesures dépend des objectifs de suivi mais le dispositif est adapté à la détermination d'un taux d'érosion annuel ou à l'échelle d'une seule précipitation.</p>

Application

Avantages	<p>Bien exécutée la méthode permet d'avoir des résultats précis et fiables pour la mesure du taux d'érosion à moyen / long terme. Les résultats obtenus peuvent également permettre d'améliorer certains modèles d'érosion (RUSLE/WEPP ; cf. V.3. Modélisation).</p>
------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Limites</p>	<p>La qualité des résultats peut être altérée suite à la détérioration de la parcelle notamment par certains organismes fousseurs pouvant occasionner une perte d'eau de ruissellement. La représentativité des résultats dépend du bon dimensionnement de la parcelle. La détermination d'une zone témoin peut être difficile lorsque sont suivies de grandes surfaces. Sur le long terme une parcelle peut ne plus être représentative avec l'épuisement des matériaux les plus érodables.</p>
<p>Références bibliographiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Boix-Fayos C, Martinez-Mena M, Arnau-Rosalén E, Calvo-Cases A, Castillo V, Albaladejo J, 2006 - Measuring soil erosion by field plots : Understanding the sources of variation. Dans Earth-Science Reviews. Vol 78. pp. 267-285. • Ollesch G, Vacca A, 2002 - Influence of time on measurement results of erosion plot studies. Dans Soil and Tillage Research. Vol 67. pp. 23-39. • Ypsilantis WG, 2011 - Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview. Technical Note 438. Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, CO. 35 p.

FICHE 3: Règle topographique



Présentation

Définition(s)	Une règle topographique se compose de deux pieux qui sont plantés profondément dans le sol. Ces pieux sont surmontés d'un niveau de maçonnerie placé horizontalement. Le dispositif permet de mesurer les variations de l'élévation du sol.
Phénomène évalué	La règle topographique est un dispositif fixe qui permet de mesurer l'élévation ou dépression du sol entre deux mesures. L'installation va donc permettre d'obtenir des indications sur la perte en sol ou le dépôt de sédiments. L'emploi de cette technique donne une indication sur la pression « dégradation du sol » associée à l'érosion.
Paramètre suivi	Le paramètre suivi est le taux d'érosion sur la zone d'étude. Il correspond à la quantité de sédiment érodée pour une durée donnée.

Méthodologie

Principe	La règle topographique est installée sur la zone d'étude, les pieux doivent être plantés profondément dans le sol de manière à ce qu'ils soient bien stables. La profondeur et l'espace entre les pieux sont ajustés de manière à ce que le niveau qui les surmonte soit bien horizontal. Le niveau mesurant environ un mètre est percé de dix trous dans son plan vertical. Pour chaque trou, la distance sol-niveau est régulièrement mesurée à l'aide d'un axe. Le traitement des données obtenues permet d'estimer le taux d'érosion (ou de sédimentation dans le case d'une élévation mesurée). Le nombre de dispositifs placés dans la zone d'étude doit bien sûr permettre d'effectuer des
-----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Principe	extrapolations représentatives de la zone d'étude. Dans le cas d'un versant il est conseillé de répartir les dispositifs en partie haute et basse.
Technicité et équipement	Une bonne connaissance préalable de la zone d'étude et des processus en place est nécessaire pour le bon positionnement des règles topographiques sur le terrain. Dans l'ensemble, la mise en œuvre de cette technique est simple et l'équipement nécessaire est basique et peu onéreux.
Données nécessaires	Les données collectées sont des distances au sol en centimètres qui sont mesurées au millimètre près. La surface de la zone d'étude doit être définie. Des données concernant la pluviométrie sur la zone d'étude peuvent également être employée afin d'étudier la relation entre précipitation et taux d'érosion.
Nature des résultats	Pour chaque règle topographique les distances au sol sont moyennées. La différence des moyennes est réalisée entre deux relevés. Ces différences permettent de réaliser une estimation du taux d'érosion sur la zone d'étude. Il correspond à une quantité de sédiments érodés pour une surface et une durée donnée ; Ex : $m^3/m^2/an$.
Echelle spatiale et temporelle	Cette méthode est plutôt adaptée au suivi d'un sous bassin versant car elle peut nécessiter un effort d'échantillonnage sur le terrain assez important. La fréquence des mesures va dépendre des objectifs du suivi et de l'intensité des phénomènes d'érosion considérés mais elle peut être associée aux précipitations annuelles majeures ou être effectuée de manière annuelle pour la réalisation d'un bilan.

Application

Avantages	Le suivi réalisé à l'aide de cette méthodologie est relativement simple, rapide à mettre en place et ne demande pas un gros investissement en termes de moyens humain ou financier.
Limites	Le dispositif peut être endommagé par la faune ou la chute de matériel lourd type bloc. L'installation de plusieurs règles topographiques est indispensable pour calculer des taux d'érosion représentatifs de la zone d'étude. Il existe des biais possibles si des matériaux grossiers se trouvent sous l'axe de mesure ou que ce dernier se plie.

**Références
bibliographiques**

- Blaney DG, Warrington GE, 1983 - Estimating soil erosion using an erosion bridge. United States Department of Agriculture, Forest Service, Watershed Development Group, Fort Collins. 55 p.
- Ypsilantis WG, 2011 - Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview. Technical Note 438. Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, CO. 35 p.

FICHE 4: Étude diachronique d'images des figures d'érosion

En Bref...

<p>Compétence </p> <p>Équipement </p>	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input checked="" type="checkbox"/>	
	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input checked="" type="checkbox"/>	

Présentation

Définition(s)	Les figures d'érosion correspondent aux zones de départ de matière. L'étude diachronique d'images de ces figures correspond donc à l'observation des évolutions visibles de leur morphologie.
Phénomène évalué	Les figures d'érosion permettent de visualiser la dégradation et la perte en sol. L'étude de ces zones renseigne donc sur les pressions « dégradation des sols » et « destruction mécanique » associées aux processus d'érosion.
Paramètre suivi	Le paramètre suivi est la surface érodée des sols sur la zone d'étude, il s'exprime en unité de surface (Km ² , Ha...). L'unité du paramètre est adaptée à l'étendue de la zone suivie. L'étude de ce paramètre doit être accompagnée d'une analyse spatiale des figures d'érosion ce qui consiste à observer leur localisation.

Méthodologie

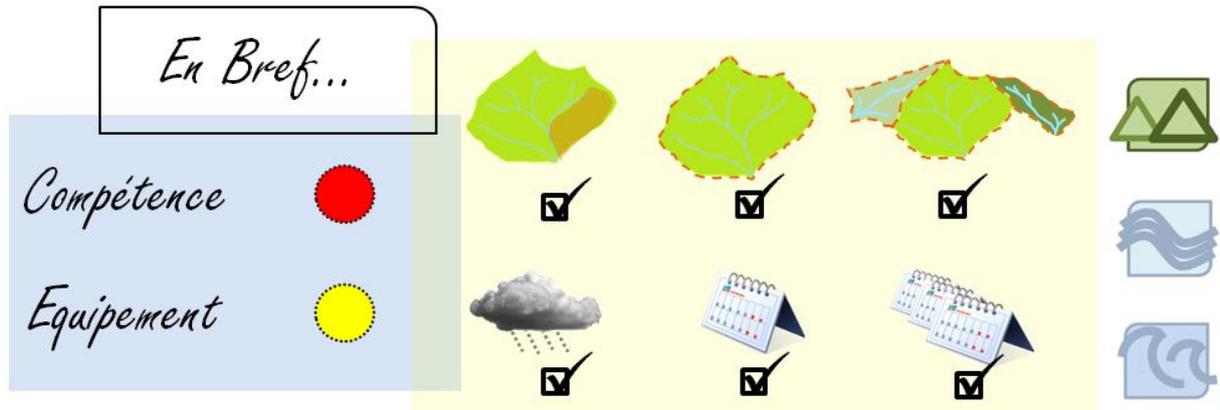
Principe	Il s'agit de réaliser des images aériennes (de l'ensemble de la zone d'étude, selon une fréquence définie et d'effectuer une analyse diachronique de ces dernières. Lors de la mise en place du suivi, les premières images vont permettre de réaliser un inventaire des figures d'érosion (état de référence). Les caractéristiques des images, les méthodologies cartographiques qui sont adaptées aux objectifs du suivi (définition des images, emprise) doivent être conservées d'une acquisition à une autre afin d'assurer la comparabilité des résultats. Le traitement des images permet de déterminer les surfaces des
-----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Principe	<p>figures d'érosion mais également leur positionnement dans l'espace. L'emploi d'un logiciel SIG (système d'Information Géographique) permet d'effectuer le traitement des images par digitalisation des figures d'érosion. Cette phase de digitalisation peut être plus ou moins automatisée en fonction des besoins et de l'intérêt. Le suivi de l'évolution des surfaces des figures d'érosion va renseigner sur les pressions « dégradation des sols » et « destruction mécanique » subies par le milieu terrestre. D'autres aspects peuvent être pris en considération tels que l'apparition de nouvelles figures d'érosion et le niveau d'activité des zones d'érosion qui est généralement déterminé en fonction de l'évolution de la couverture végétale. L'origine de l'érosion (anthropique ou naturelle) peut aussi présenter un intérêt en fonction de objectifs du suivi. Des vérifications terrain sont nécessaires afin de s'assurer que le résultat du traitement des images correspond bien à la réalité.</p>
Technicité et équipement	<p>L'acquisition d'images peut faire appel à de nombreuses technologies. Le mode d'acquisition doit être déterminé en fonction des caractéristiques attendues des images. De manière générale les images satellites et aériennes sont généralement employées (cf. V.1.2 Acquisition de données <i>ex situ</i>). Les capteurs de type Lidar ou Hyper spectral présentent un potentiel de traitement intéressant pour le suivi des formes d'érosion. Le traitement des données est relativement technique puisqu'il fait appel à l'utilisation d'outils informatiques complexes (logiciel SIG). Le matériel informatique pour le traitement des images est généralement le seul équipement nécessaire.</p>
Données nécessaires	<p>Les données collectées sont des images de la zone d'étude et des observations issues du terrain.</p>
Nature des résultats	<p>Le traitement des images consiste dans son principe à déterminer les surfaces de sol affectés par l'érosion et, par comparaison, en déduire la dynamique. L'analyse de l'évolution des ces surfaces érodées peut être réalisée globalement et spécifiquement pour chaque figure d'érosion. La détermination des surfaces peut s'accompagner de celle de la densité de la couverture végétale.</p>
Echelle spatiale et temporelle	<p>La diversité des techniques d'acquisition et types d'images disponibles (cf. V.1.2 Acquisition de données <i>ex situ</i>) rend cette méthodologie adaptable à l'ensemble des échelles spatiales et temporelles définies.</p>

Application

Avantages	<p>Cette méthodologie permet efficacement de surveiller des zones d'études particulièrement étendues.</p> <p>Les possibilités d'automatisation du traitement des images représentent un véritable gain de temps et une limitation du biais lié aux interprétations de différents opérateurs.</p> <p>Des zones difficiles d'accès peuvent être suivies. Les images peuvent être archivées et retraitées selon d'autres méthodologies.</p>
Limites	<p>Les limites de la méthodologie sont généralement associées aux caractéristiques des images qui conditionnent la précision des résultats pouvant être produits. Par exemple, une image de basse définition ne permet pas de déterminer précisément les surfaces.</p> <p>Aussi, l'étude des surfaces ne permet pas de connaître la quantité de matière (les volumes) qui se détache des versants et ne sont donc pas forcément représentatives des pressions environnementales associées à l'érosion.</p> <p>Des opérations de terrain sont toujours nécessaires pour assurer la qualité du traitement des images.</p>
Références bibliographiques	<ul style="list-style-type: none">• Matthews NA, Noble TA, Breithaupt B, 2006 - The application of photogrammetry, remote sensing and geographic information systems (GIS) to fossil resource management. Dans New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin. Vol 34. pp. 119 - 131.• Ypsilantis WG, 2011 - Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview. Technical Note 438. Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, CO. 35 p.

FICHE 5: Étude de la topographie des figures d'érosion



Présentation

Définition(s)	Les figures d'érosion correspondent aux zones de départ de matière. La topographie est la représentation tridimensionnelle d'un objet / d'une surface dans l'espace, ce qui signifie que la position de l'objet / la surface est connue (ou estimée) en tous points. L'étude de la topographie des figures d'érosion consiste à suivre l'évolution de leur morphologie tridimensionnelle.
Phénomène évalué	L'étude de la topographie des zones de départ de matière permet d'estimer les volumes de perte en sol. Cette méthodologie permet donc de suivre la pression « dégradation des sols » associée à l'érosion.
Paramètre suivi	Le paramètre suivi est un taux d'érosion. Il représente, pour une surface et une durée donnée, un volume de matière détaché.

Méthodologie

Principe	L'acquisition de données topographiques peut faire appel à de nombreuses techniques : GPS différentiel, système Lidar, scanner tridimensionnel, photogrammétrie, etc. (cf. V.1.2 Acquisition de données <i>ex situ</i>). Indépendamment de la technique d'acquisition des données, le principe pour l'étude des figures d'érosion reste semblable. Dans un périmètre spatial défini, la topographie est régulièrement observée. La comparaison des données topographiques permet de détecter les évolutions. Une dépression qui s'est créée va donc correspondre à une perte de matière causée par l'érosion. L'emploi de logiciels informatiques permet le calcul des différences d'altitude de chaque point de la zone d'étude.
-----------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Principe	Lorsque la différence d'altitude entre t0 et t1 est positive (t0 - t1) cela signifie qu'il y a eu départ de matière puisque l'altitude du point a diminuée. Ce calcul appliqué à l'ensemble de la zone d'étude permet d'estimer les volumes de matière qui se sont déplacés. Cette méthodologie permet donc de suivre le niveau d'activité des figures d'érosion mais également de détecter de nouvelles figures.
Technicité et équipement	La mise en œuvre de cette méthode fait appel à un niveau de compétence relativement élevé, tant pour l'acquisition des données que pour leur traitement. L'équipement nécessaire à la phase d'acquisition des données dépend de la technique employée. L'investissement nécessaire n'est pas systématiquement important. La phase de traitement fait appel à l'emploi d'un ordinateur et de logiciels adaptés (logiciels de traitement de modèles numériques de terrain).
Données nécessaires	Les données topographiques relatives à la zone d'étude sont nécessaires. La surface de la zone d'étude est également nécessaire au calcul d'un taux d'érosion.
Nature des résultats	Le traitement des données est réalisé par un logiciel adapté. Les résultats obtenus sont des volumes de matière déplacés sur la zone d'étude. Il est possible à partir de ces résultats de calculer un taux d'érosion, qui est exprimé en quantité de matière détachée par unité de surface par unité de temps ; Ex : $m^3/km^2/an$.
Echelle spatiale et temporelle	La diversité des techniques d'acquisition et des types de données disponibles rend cette méthodologie adaptable à l'ensemble des échelles temporelles et spatiales définies.

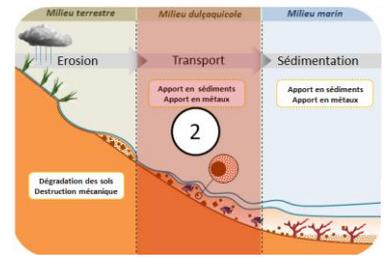
Application

Avantages	<p>Cette méthode peut permettre de surveiller de grandes zones d'étude difficilement accessibles.</p> <p>La nature des résultats permet d'obtenir de manière indirecte une indication de la pression « apports en sédiments » dans les milieux aquatiques.</p> <p>La possibilité d'automatisation du traitement des données représente un gain de temps.</p>
Limites	L'acquisition des données peut être assez onéreuse et leur traitement complexe compte tenu de la richesse des informations.

Limites	En fonction du type de données acquises, des images de la zone d'étude et des visites terrain restent nécessaires pour une bonne interprétation des résultats.
Références bibliographiques	<ul style="list-style-type: none"> • Martinat A, 2009 - Mise en place d'une méthode de suivi d'érosion au Val des dents bouches (Massif du Sancy). Rapport de stage Master 2, Université Blaise Pascal, département de géographie. 38 p. • Matthews NA, Noble TA, Breithaupt B, 2006 - The application of photogrammetry, remote sensing and geographic information systems (GIS) to fossil resource management. Dans New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin. Vol 34. pp. 119 - 131. • Ysilantis WG, 2011 - Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview. Technical Note 438. Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, CO. 35 p.

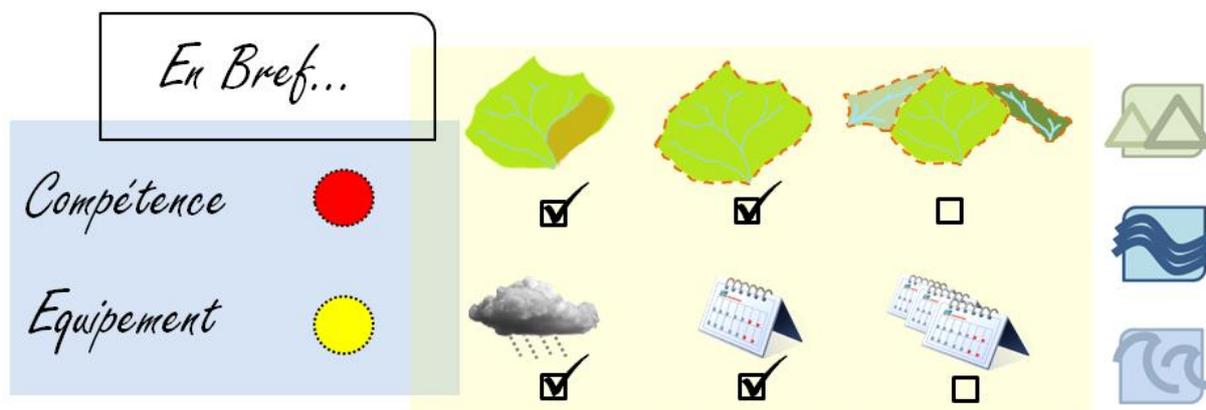
IV.2. Phase de transport de la matière : transport

Les méthodes de suivi des pressions associées à l'érosion présentées ci-après s'appuient principalement sur l'étude de la phase de transport de matière. Le transport de matière peut intervenir dans l'ensemble des milieux naturels qui sont interconnectés dans le bassin versant.



Source : Geoeye - Google earth

FICHE 6: Chaîne d'érosion

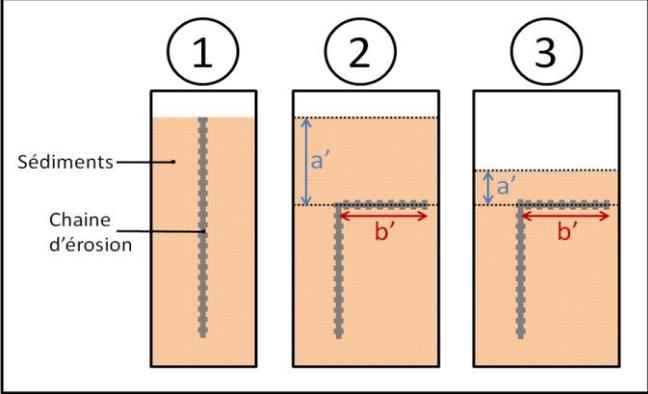


Présentation

Définition(s)	Une chaîne d'érosion est une chaîne métallique, constituée de maillons d'un centimètre de diamètre, que l'on place verticalement dans les dépôts sédimentaires.
Phénomène évalué	L'emploi de chaînes d'érosion donne des indications sur les processus d'érosion/dépôt au sein du lit mineur ou majeur d'une rivière et permettent d'appréhender la pression « apports en sédiments ».
Paramètre suivi	Le paramètre suivi est le débit solide. Il correspond à la quantité de sédiment qui est charriée par la rivière pour une durée donnée.

Méthodologie

Principe	Le principe consiste à enfouir verticalement la chaîne d'érosion de 2 mètres de longueur dans le plancher alluvial du lit mineur. Sa position (x, y, z) exacte est enregistrée avec un GPS différentiel. La chaîne va être déplacée lors des épisodes d'érosion. Le suivi de sa position dans les sédiments permet de connaître la dynamique des processus d'érosion/dépôt entre deux relevés. Le schéma ci-dessous illustre l'emploi d'une chaîne. La figure (a) illustre en (1) une chaîne mise en place, elle est enfouie verticalement dans les sédiments. En (2) et (3) la longueur b' correspond à la hauteur de sédiment qui a été emportée par le processus d'érosion ; La hauteur a' montre la hauteur de sédiment qui s'est déposée après érosion. Les données obtenues sont traitées afin de réaliser des estimations de débits solides. Les données concernant le débit liquide de la rivière ou la pluviométrie peuvent également être
-----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Principe</p>	<p>employées pour étudier la relation entre débit liquide et débit solide de la rivière.</p>  <p><i>Figure (a) : principe d'emploi d'une chaîne d'érosion.</i></p>
<p>Technicité et équipement</p>	<p>La mise en œuvre de cette méthode fait appel à un fort niveau de compétence puisque une excellente connaissance des processus hydrosédimentaires de la zone d'étude est indispensable pour l'obtention de résultats représentatifs. Une fois les stations déterminées, la mise en place des chaînes sur le terrain est relativement simple, seul le relevé des positions de chaîne notamment à l'aide d'un GPS différentiel fait appel à une certaine technicité. Hormis l'équipement de géolocalisation le matériel employé est assez basique (chaînes, pelles et règle graduée).</p>
<p>Données nécessaires</p>	<p>Les données collectées sont les positions (x,y,z) des chaînes et les longueurs correspondant aux épaisseurs de sédiments déplacées. Les données relatives au débit liquide de la rivière ou à défaut les données pluviométriques peuvent permettre d'étudier la relation entre débit solide et débit liquide.</p>
<p>Nature des résultats</p>	<p>Les données concernant le décapage (longueur b' dans figure (a)) ainsi que les données de dépôt (longueur a' dans figure (a)) permettent d'estimer la quantité de sédiment qui a été déplacée dans le lit mineur ou majeur de la rivière. L'estimation d'une quantité charriée entre deux relevés des chaînes permet alors de calculer un débit solide : quantité de sédiment (volume ou masse) pour une période de temps donnée. Ex : m^3/an.</p>
<p>Echelle spatiale et temporelle</p>	<p>Le suivi du paramètre, débit solide en rivière, va indirectement fournir une indication sur la dynamique des phénomènes d'érosion qui contribuent à produire les sédiments charriés. L'échelle spatiale concerne donc celle des phénomènes d'érosion contributeurs : le bassin versant ou sous bassin versant. La fréquence de suivi peut être associée à l'occurrence des crues ou à la réalisation d'un calcul annuel du débit solide.</p>

Application

Avantages	Cette technique permet d'étudier la dynamique des dépôts sédimentaires et donc de donner des indications quantitatives sur les pressions liées aux apports sédimentaires.
Limites	<p>La chaîne d'érosion ne permet pas de connaître les phénomènes de dépôt et d'érosion intermédiaires. Cela sera particulièrement le cas si les mesures ont lieu plusieurs crues après la pose des chaînes. Ex : Après sa pose la chaîne a été enfouie à 50 cm en dessous des sédiments par un épisode d'érosion suivi d'un dépôt de sédiments. Si les épisodes d'érosion suivants n'atteignent pas la chaîne enfouie à 50 cm il sera impossible de les détecter.</p> <p>À moins d'effectuer une étude complémentaire sur la granulométrie et la composition des sédiments cette méthodologie ne permet pas de connaître précisément l'origine des sédiments : phénomènes d'érosion du bassin versant, érosion des berges ou érosion du lit mineur de la rivière.</p> <p>La méthodologie ne peut être mise en application que pour des sédiments relativement fins (type sable / graviers).</p> <p>Des biais sont possibles lors du relevé des chaînes lorsqu'elles sont profondément enfouies (difficultés à trouver le point d'inflexion de la chaîne).</p>
Références bibliographiques	<ul style="list-style-type: none">• Malavoi JR, 2003 - Compte rendu du suivi de chaînes d'érosion sur le site d'Ingrandes. Rapport d'étude, programme de suivi des impacts des seuils du Fresne-sur-Loire, Ingrandes. 15 p.• Malavoi JR, Garnier CC, Landon N, Recking A, Baran P, 2011 - Éléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière. Rapport Onema. Collection « comprendre pour agir ». 216 p.• Rollet AJ, 2007 - Étude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée d'Ain. Rapport de thèse. Université de Jean Moulin, Lyon 3. 305 p.

FICHE 7: Suivi de la concentration en matière en suspension

En Bref...

<i>Compétence</i>					
<i>Équipement</i>					
		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Présentation

Définition(s)	La matière en suspension (MES), correspond à la fraction solide contenue dans un liquide souvent formée de particules très fines pouvant être séparées de la fraction liquide par filtration.
Phénomène évalué	L'étude de la matière en suspension permet d'appréhender la pression « apport en sédiments » associée à l'érosion, dans les milieux aquatiques.
Paramètre suivi	Le paramètre suivi est donc la concentration en matière en suspension. Cette concentration correspond à la masse de matière contenue dans un volume de liquide.

Méthodologie

Principe	La première étape consiste à prélever des échantillons d'eau, opération qui peut être réalisée manuellement ou de manière automatisée grâce à l'emploi d'échantillonneurs. L'emploi d'échantillonneurs automatiques sur un cours d'eau semble le plus adapté puisqu'ils permettent de réaliser des prélèvements tout au long d'un événement pluvieux. En laboratoire, à partir des échantillons d'eau prélevés, les masses de MES sont déterminées. Le principe de mesure repose sur une filtration de l'échantillon suivi d'un séchage du filtrat avant pesée. Les concentrations en matière en suspension calculées peuvent être mises en relation avec les données pluviométriques de la zone d'étude.
-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Technicité et équipement	Cette méthodologie ne nécessite pas une grande technicité tant sur le terrain que pour le traitement et l'analyse des données. Cependant, la mise en place des stations d'échantillonnages peut-être délicate et nécessite une bonne connaissance de la zone d'étude et des processus concernés. Des équipements spécifiques sont nécessaires en laboratoire (matériel de filtration, étuve et balance de précision) et sur le terrain (échantillonneur automatique). Le coût en équipement peut être relativement élevée notamment s'il est choisi d'employer des échantillonneurs automatiques.
Données nécessaires	Les données nécessaires sont pour chaque échantillons, la masse en matière en suspension et le volume de l'échantillon correspondant. Les données pluviométriques peuvent également être employées.
Nature des résultats	Le calcul de la concentration en matière en suspension correspond au simple rapport : masse de MES sur volume de l'échantillon filtré ; ex : mg/l. L'étude de la relation pluviométrie et concentration en MES permet une interprétation des évolutions du paramètre suivi.
Echelle spatiale et temporelle	L'échelle pris en considération est celle correspondant aux phénomènes d'érosion amonts à l'origine des apports sédimentaires : le bassin versant ou le sous bassin versant. L'échelle temporelle adaptée à l'étude de la concentration en MES est celle correspondant aux événements pluvieux puisqu'ils influencent fortement la valeur du paramètre.

Application

Avantages	La méthodologie est assez représentative de la pression « apports en sédiments » associée à l'érosion hydrique dans les milieux aquatiques.
Limites	<p>La méthodologie ne donne d'indications que sur une fraction des sédiments issus des phénomènes d'érosion.</p> <p>La réalisation de prélèvements durant les épisodes pluvieux peut être difficile (accessibilité aux stations).</p> <p>La méthode ne permet pas de connaître l'origine de la MES qui peut provenir de l'érosion interne des cours d'eau. Des analyses supplémentaires sur la physicochimie de la MES sont nécessaires pour plus de précisions.</p>
Références bibliographiques	<ul style="list-style-type: none"> Jean-Luc L, 1986 - Dissolved and suspended matter transported by the Girou River (France) : mechanical and chemical erosion rates in a calcareous molasse basin / Transports en suspension et en solution par

**Références
bibliographiques**

le Girou (France) : taux d'érosion mécanique et chimique sur un bassin molassique calcaire. Dans Hydrological Sciences Journal. Vol 31 (1). pp. 61-79.

- Lewis J, 1996 - Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation. Dans Water resources research. Vol 32 (7). pp. 2299-2310.

FICHE 8: Piège à sédiment de charge de fond

En Bref...

<p>Compétence </p> <p>Équipement </p>	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	
	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	

Présentation

Définition(s)	La charge de fond correspond aux sédiments qui sont charriés par les cours d'eau. Le piège à sédiment de charge de fond est donc un dispositif qui va capturer les sédiments charriés dans un cours d'eau.
Phénomène évalué	L'emploi de ce type de piège va permettre de suivre le processus de transport sédimentaire et d'appréhender la pression « apports en sédiments » associée à l'érosion.
Paramètre suivi	Le paramètre suivi correspond au débit solide c'est-à-dire une quantité de sédiment transportée pour une unité de temps.

Méthodologie

Principe	De nombreux équipements existent et sont adaptés à la fraction (granulométrie) et au flux de sédiment que l'on souhaite étudier. Les pièges à sédiments peuvent être des ouvrages déjà existants type barrage ou de simples réceptacles placés manuellement à proximité du fond. Pour la construction d'un piège, une méthode simple est celle de la fosse de piégeage. Une fosse est creusée dans le lit mineur pour un volume équivalent à environ une ou deux années d'apports sédimentaires estimés (estimations pouvant être réalisées avec des équations classiques). L'ouvrage doit être réalisé dans une zone où il ne risque pas de créer de désordres hydrodynamiques. La topographie initiale de la fosse est mesurée puis elle est régulièrement relevée afin d'estimer les quantités de sédiment piégées. Un curage de la fosse à sa côte d'origine doit être effectué régulièrement pour ne pas altérer ses
-----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Principe	capacités de rétention. Les données qui sont collectées sont des quantités de sédiments capturées pour une durée donnée. Le débit solide est calculé à partir de ces données. Ce débit solide peut alors être mis en relation avec le débit liquide du cours d'eau ou à la pluviométrie par défaut.
Technicité et équipement	Il existe de nombreux dispositifs qui peuvent être employés pour le piégeage de la charge de fond. Bien que le principe de cette méthode soit relativement simple, sa mise œuvre peu demander l'emploi d'un équipement lourd. Par exemple, dans le cas de la mise en place d'une fosse l'emploi d'une pelle mécanique peut être nécessaire pour le curage. La réalisation de mesures topographiques quant à elle fait appel à des compétences spécifiques.
Données nécessaires	Les données employées sont des quantités de sédiments capturées pour des durées données. Dans le cas de l'emploi d'un piège type fosse, les volumes de sédiments piégés sont calculés à partir des données topographiques relatives à la fosse. Les données concernant le débit du cours d'eau ou à défaut la pluviométrie peuvent également être nécessaires.
Nature des résultats	Le débit solide du cours d'eau est calculé pour une période définie et il correspond donc à un volume de sédiment transporté pour une unité de temps ; Ex : m ³ /an. Les données du débit liquide ou de la pluviométrie peuvent être employées afin d'étudier la relation entre débit liquide et débit solide.
Echelle spatiale et temporelle	Le suivi du paramètre débit solide en rivière va donner une indication sur la pression « apports en sédiments » et indirectement sur la dynamique des phénomènes d'érosion qui contribuent à produire les sédiments charriés. L'échelle spatiale correspond à celle des phénomènes d'érosion : bassin versant ou sous bassin versant. La fréquence de suivi peut être associée à l'occurrence des crues ou à la réalisation d'un calcul annuel du débit solide.

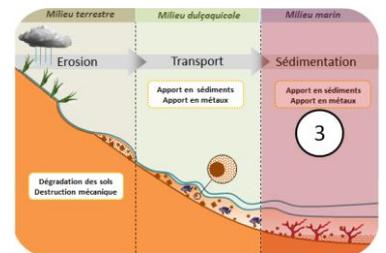
Application

Avantages	L'emploi de pièges à sédiments de charge de fond peut se faire grâce à l'exploitation d'installations déjà en place (ex : Barrage sur un cours d'eau). La diversité des dispositifs qui ont été développés permet de trouver des équipements adaptés aux caractéristiques de la zone d'étude.
------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Limites</p>	<p>Cette méthode ne permet pas de suivre spécifiquement la pression liée à l'érosion terrestre puisque l'érosion « interne » des cours d'eau (berges, lits de la rivière...etc.) va aussi contribuer à l'apport en sédiment.</p> <p>Pour connaître l'origine des sédiments des analyses physico-chimiques supplémentaires doivent être réalisées.</p> <p>Les pièges à sédiment type fosse ne vont généralement pas capter 100% des quantités charriées et fournissent des estimations plutôt basses des quantités transportées.</p> <p>L'étude de la charge de fond ne permet d'étudier qu'une fraction des transports sédimentaires en rivière puisque la matière en suspension n'est pas prise en considération.</p>
<p>Références bibliographiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Malavoi JR, Garnier CC, Landon N, Recking A, Baran P, 2011 - Éléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière. Rapport Onema. Collection « comprendre pour agir ». 216 p.

IV.3. Phase de dépôt de la matière : sédimentation

Les méthodes de suivi des pressions associées à l'érosion présentées ci-après s'appuient sur l'étude de la phase de dépôt de matière. Les dépôts sédimentaires peuvent être observés dans l'ensemble des milieux naturels du bassin versant mais concernent plus particulièrement les milieux aquatiques dans le cas particulier de l'érosion hydrique.



Source : Geoeye - Google earth

FICHE 9: Suivi de la concentration en métaux dissous

En Bref...

<i>Compétence</i>					
<i>Équipement</i>					

Présentation

Définition(s)	Les métaux sont présents dans tous les compartiments de l'environnement généralement à des concentrations très faibles (traces). Les processus d'érosion hydrique participent à leur transfert du milieu terrestre aux milieux aquatiques sous forme dissoute et particulaire.
Phénomène évalué	Les processus d'érosion participent aux apports en métaux dans les milieux aquatiques, le suivi des concentrations en métaux dissous permet donc de suivre la pression « apport en métaux » associée à l'érosion. Les mesures sont réalisées dans le panache de dispersion (dilution) des matières en suspension où les métaux dissous vont avoir tendance à être plus concentrés.
Paramètre suivi	Le paramètre suivi est la concentration en métal dissous. Cette concentration correspond au rapport : masse d'un élément métallique par un volume d'eau.

Méthodologie

Principe	La méthodologie consiste à effectuer un suivi des concentrations en métaux dissous dans le milieu aquatique. En employant les protocoles d'usage pour éviter toute contamination, des prélèvements d'eau sont effectués à plusieurs profondeurs afin de pouvoir discriminer l'effet des courants et de dilution notamment en milieu estuarien. Les échantillons sont conservés à 4°C jusqu'à leur analyse. Le choix des éléments métalliques suivis doit prendre en compte leur écotoxicité, leur représentativité des phénomènes d'érosion et la facilité
-----------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

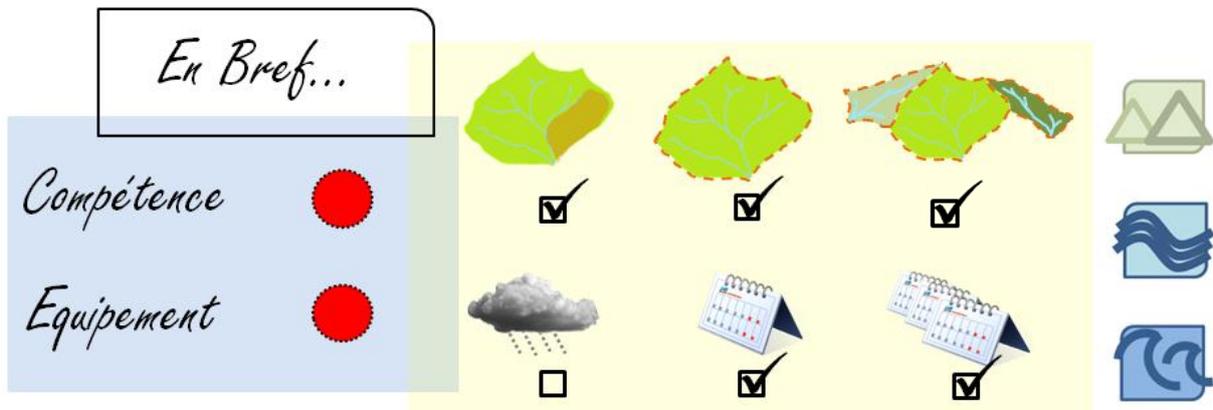
Principe	d'analyse (en Nouvelle-Calédonie Co, Ni et Mn sont les principaux métaux permettant de suivre l'apport terrigène des terrains ultrabasiques). De retour en laboratoire, les concentrations en métaux sont dosées. Les méthodes d'analyse sélectionnées doivent prendre en compte les concentrations attendues dans le milieu. Les éléments métalliques étant généralement présents en « traces » les méthodes permettant d'atteindre des seuils de quantification très bas sont donc retenues. Des données physicochimiques de base doivent également être analysées sur le terrain pour une bonne interprétation du paramètre (pH, Température...).
Technicité et équipement	L'analyse de la concentration en éléments traces est très délicate en raison des possibilités de contamination. Cette méthode fait donc appel à une forte compétence notamment de part la technicité de la phase de laboratoire. L'équipement nécessaire pour la phase de terrain est relativement conséquent notamment si l'échantillonnage est réalisé en milieu marin : bateau, bouteilles de prélèvement etc. Le niveau d'équipement en laboratoire est important : installations pour limiter les risques de contaminations lors de la manipulation des échantillons, appareil d'analyse de pointe...
Données nécessaires	Les données nécessaires sont les concentrations en métaux dissous. Les données physicochimiques de bases doivent également être connues pour l'interprétation des résultats.
Nature des résultats	Les concentrations en métaux sont obtenues à l'aide des appareils d'analyse et correspondent à la masse en élément métallique pour un volume d'eau ; Ex : $\mu\text{g/l}$.
Echelle spatiale et temporelle	La méthodologie consiste à suivre un paramètre qui varie notamment avec les apports terrigènes associés aux précipitations. La stratégie développée par les experts en Nouvelle-Calédonie est basée sur la réalisation d'une campagne en saison sèche et une campagne en saison humide chaque année. L'échelle spatiale de surveillance considérée correspond à celles des phénomènes d'érosion contribuant à la variation du paramètre : bassin versant et sous bassin versant.

Application

Avantages	La fréquence de réalisation des suivis est relativement basse (2 fois par an préconisé).
------------------	------------------------------------------------------------------------------------------

Avantages	La méthodologie permet d'avoir une bonne indication sur la pression « apport en métaux » dans les milieux aquatiques d'autant que la fraction dissoute est en principe très bio-disponibles pour les organismes.
Limites	Cette méthodologie ne peut être mise en place qu'après avoir étudié le contexte hydrosédimentaire de la zone d'étude. Elle ne permet pas de suivre la totalité des apports en métaux dans les milieux aquatiques puisque les éléments métalliques peuvent être dispersés notamment sous forme particulaire. Cependant à de longues distances des zones d'érosion on préfère le suivi des formes dissoutes.
Références bibliographiques	<ul style="list-style-type: none"> • Beliaeff B, Bouvet G, Fernandez JM, David C, Laugier T, 2011 - Guide pour le suivi du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169 p. • Le Goff F, Bonnomet V, 2004 - Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM. Rapport technique, INERIS. 85 p. • Zhou Y, 2009 - Évaluation de la biodisponibilité des métaux dans les sédiments. Rapport d'étude. Agence de l'Eau Artois-Picardie et Université des Sciences et Technologies de Lille I, UMR Géosystèmes. 33 p.

FICHE 10: Prélèvement de sédiment par carottage et datation



Présentation

Définition(s)	Le carottage est une méthode de prélèvement qui consiste à perforer un substrat à l'aide d'un outil creux et cylindrique. L'échantillon prélevé verticalement dans le substrat est donc une accumulation de matière qui s'est déposée au cours du temps. La datation consiste à attribuer un « âge » aux couches successives de sédiment qui se sont déposées.
Phénomène évalué	La datation des sédiments prélevés par carottage va permettre d'estimer le taux d'accumulation. Ce taux d'accumulation renseigne sur la dynamique de la pression « apports en sédiments » associé à l'érosion. Le processus directement concerné est donc la sédimentation.
Paramètre suivi	Le paramètre suivi est le taux d'accumulation qui correspond à la quantité de sédiment qui se dépose pour une durée donnée.

Méthodologie

Principe	Dans une zone de dépôts sédimentaires fins, un prélèvement par carottage est réalisé verticalement dans les sédiments. La carotte sédimentaire conservée à 4°C est ensuite ramenée en laboratoire pour analyse. Découpée en tranches de l'ordre du centimètre, chaque horizon de sédiment est daté par mesure de la proportion de radio-isotopes, cette proportion évoluant dans le temps. La géologie isotopique s'appuie généralement sur le radiotracteur ^{210}Pb dans l'hémisphère Sud. L'appareil employé pour la mesure des proportions isotopiques est un spectromètre.
-----------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

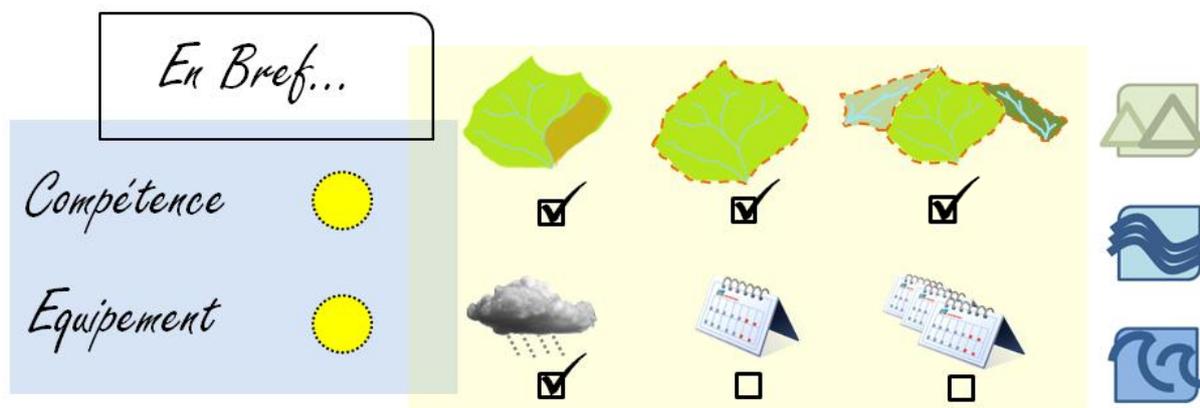
Principe	Une fois les horizons datés, il est possible d'estimer les quantités de sédiment qui se sont accumulées au cours du temps. Les données obtenues permettent alors de calculer les taux d'accumulation.
Technicité et équipement	Les stations de prélèvements ne peuvent être sélectionnées que lorsque le contexte hydrosédimentaire de la zone d'étude est bien connu. Les prélèvements sur le terrain peuvent nécessiter l'intervention de plongeurs. En laboratoire l'analyse des sédiments fait appel à un fort niveau de compétence. Le matériel nécessaire au carottage ne représente pas un fort investissement, en revanche l'équipement nécessaire en laboratoire est très onéreux (balance, étuve, spectromètre).
Données nécessaires	Les données nécessaires à l'expression du paramètre comportent : l'âge de chaque tranche centimétrique de la carotte sédimentaire et la masse sèche de sédiment correspondante, ainsi que la section du « carottier » (matériel de prélèvement).
Nature des résultats	Le calcul du taux d'accumulation consiste à effectuer le rapport entre quantité de sédiment déposée, la surface de dépôt (correspond à la section du carottier) et la durée d'accumulation (différence d'âge entre l'horizon supérieur et inférieur considérés). Le taux d'accumulation peut ensuite être exprimé en $g/cm^2/an$.
Echelle spatiale et temporelle	Cette méthodologie peut être mise en place dans les réceptacles de sédiments en milieu aquatique. L'échelle spatiale considérée correspond à celles des phénomènes d'érosion contribuant à l'apport en sédiment dans les zones de sédimentation : sous bassin versant, bassin versant et ensemble de bassins versants. L'échelle temporelle est nécessairement annuelle ou pluriannuelle en raison des processus de dépôt qui sont généralement assez lents.

Application

Avantages	Cette méthode fournit des indications sur l'évolution de la dynamique des dépôts sédimentaires dans le temps. Les techniques de datation permettent de dater les sédiments sur plusieurs dizaines d'années et ainsi de connaître les dynamiques antérieures de sédimentation.
Limites	La méthode ne permet pas d'obtenir des résultats pour des pas de temps courts, se sont donc uniquement les évolutions annuelles ou pluriannuelles qui peuvent être suivies.

<p>Limites</p>	<p>La méthode de datation seule ne permet pas de connaître directement l'origine des sédiments dont l'origine peut être l'érosion des versants comme l'érosion interne des cours d'eau. Pour cela des analyses géochimiques supplémentaires doivent être réalisées sur les sédiments prélevés.</p>
<p>Références bibliographiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Beliaeff B, Bouvet G, Fernandez JM, David C, Laugier T, 2011 - Guide pour le suivi du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169 p. • Valette-Silver NJ, 1993 - The use of sediment cores to reconstruct historical trends in contamination of estuarine and coastal sediments. Dans Estuaries. Vol 16 (3B). pp. 577-588. • Ypsilantis WG, 2011 - Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview. Technical Note 438. Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, CO. 35 p.

FICHE 11: Piège à particules en zone de dépôt



Présentation

Définitions	Les particules correspondent à la matière se détachant lors des processus d'érosion. Le piège à particules en zone de dépôt est un réceptacle qui va capturer les particules qui se déposent.
Phénomène évalué	L'étude des flux de particules va donner des indications sur la dynamique des mécanismes sédimentaires. C'est donc la pression « apports en sédiments » associée à l'érosion qui est suivie.
Paramètre suivi	Le paramètre suivi est une densité de flux verticaux sur la zone d'étude. Il correspond à la quantité de particules qui se déposent pour une surface et une durée de temps données.

Méthodologie

Principe	Le piège est implanté dans une zone de faible hydrodynamisme permettant le dépôt des particules. Le dispositif est laissé en place pendant une durée donnée puis la quantité de particules (volume ou masse) piégée est mesurée. Ces données permettent le calcul d'un flux vertical. Pour la mesure de faibles quantités de particules piégées c'est la masse sèche qui est déterminée en laboratoire. L'utilisation de pièges à particules séquentiels permet d'obtenir plus de détails dans l'analyse des flux verticaux. Ce système est intéressant notamment pour étudier l'effet de la pluviométrie ou des marées en milieu estuarien.
Technicité et équipement	La mise en œuvre de cette méthode nécessite une excellente connaissance de la zone d'étude et des processus hydro-sédimentaires en place.

Technicité et équipement	Une fois l'emplacement déterminé, l'installation et l'emploi du piège est relativement simple. La phase de laboratoire pour la pesée des particules ne fait pas appel à une grande technicité mais nécessite l'emploi d'équipement spécialisé (étuve et balance).
Données nécessaires	Les données nécessaires sont les quantités de particules (masses ou volumes), la section du piège doit être connue. Les données relatives aux marées à la pluviométrie et éventuellement au vent peuvent être employées pour étudier la relation entre les densités de flux verticaux et ces phénomènes.
Nature des résultats	Les données issues de l'exploitation du piège permettent de calculer une estimation de la densité de flux verticaux qui s'exprime selon une masse (ou volume) de particules par unité de surface (relatif à la section du piège) et de temps (relatif à la durée d'échantillonnage); Ex : $g/m^2/j$. Ce paramètre peut être mis en relation avec les données relatives aux forçages hydrodynamiques (marées, vent) et à la pluviométrie.
Echelle spatiale et temporelle	Le suivi du paramètre va donner une indication sur la pression « apports en sédiments » et indirectement sur la dynamique des phénomènes d'érosion qui contribuent à produire les sédiments et particules. L'échelle spatiale correspond à celle des phénomènes d'érosion : sous bassin versant, bassin versant et ensemble de bassins versants. L'étude des flux sédimentaires correspond généralement à une saison définie selon sa pluviométrie (ex : saison sèche et saison humide, en Nouvelle-Calédonie).

Application

Avantages	Simple à mettre en œuvre, l'emploi des pièges à sédiment permet d'appréhender la pression sédimentaire sur les milieux aquatiques.
Limites	Le paramètre ne permet pas uniquement de suivre la pression liée à l'érosion terrestre puisque l'érosion « interne » des cours d'eau (berges, lits de la rivière...etc.) va aussi contribuer à l'apport en sédiment et particules. L'étude physico-chimique des sédiments capturés peut être complémentaire et informer notamment sur l'origine des particules. Des biais dans les résultats peuvent être obtenus lorsque les pièges ne capturent pas la totalité des particules (sous-estimation) ou lorsqu'une remise en suspension de sédiments du fond vient « contaminer » le piège.

**Références
bibliographiques**

- Beliaeff B, Bouvet G, Fernandez JM, David C, Laugier T, 2011 - Guide pour le suivi du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169 p.
- Malavoi JR, Garnier CC, Landon N, Recking A, Baran P, 2011 - Éléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière. Rapport Onema. Collection « comprendre pour agir ». 216 p.

FICHE 12: Étude de la topographie des dépôts sédimentaires

En Bref...

<p>Compétence </p> <p>Équipement </p>	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	
	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input checked="" type="checkbox"/>	 <input checked="" type="checkbox"/>	

Présentation

Définition(s)	La topographie est la représentation tridimensionnelle d'un objet/d'une surface dans l'espace, ce qui signifie que la position de l'objet/la surface est déterminée (ou estimée) en tous points. L'étude de la topographie des dépôts sédimentaires consiste à suivre l'évolution de leur morphologie tridimensionnelle.
Phénomène évalué	L'étude de la topographie des dépôts sédimentaires permet d'estimer l'évolution des volumes en sédiment. Cette méthode permet donc de suivre la pression « apports en sédiments » associée à l'érosion.
Paramètre suivi	Le paramètre suivi est le taux de sédimentation dans la zone d'étude considérée. Ce paramètre correspond donc à une quantité de sédiment déposée pour une durée donnée.

Méthodologie

Principe	L'acquisition de données topographiques peut faire appel à de nombreuses techniques : GPS différentiel, système radar, altimètre, etc. (cf. V.1.2 Acquisition de données <i>ex situ</i>). Indépendamment de la technique d'acquisition des données, le principe pour l'étude des dépôts sédimentaires reste semblable. Dans un périmètre spatial bien défini (ex : section d'un cours, delta estuarien), la topographie est régulièrement observée. La comparaison des données topographiques permet de détecter les évolutions. Une augmentation de l'altitude d'une zone va donc correspondre à un dépôt sédimentaire.
-----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Principe	L'emploi de logiciels informatiques permet le calcul des différences d'altitude de chaque point de la zone d'étude, entre deux campagnes d'acquisition des données. Lorsque la différence d'altitude entre t0 et t1 est négative (t0 – t1), cela signifie qu'il y a eu dépôt de matière puisque l'altitude du point a augmentée. Ce calcul appliqué à l'ensemble de la zone d'étude permet d'estimer les volumes de matière qui se déposent au cours du temps. Cette méthodologie permet donc de suivre le taux de sédimentation dans la zone d'étude considérée.
Technicité et équipement	La mise en oeuvre de cette méthode fait appel à un niveau de compétence relativement élevé, tant pour l'acquisition des données que pour leur traitement. L'équipement nécessaire à la phase d'acquisition des données dépend de la technique employée. L'investissement nécessaire n'est pas systématiquement important. La phase de traitement fait généralement appel à l'emploi d'un ordinateur et de logiciels adaptés (logiciels de traitement de modèles numériques de terrain).
Données nécessaires	Les données topographiques relatives à la zone d'étude sont nécessaires ainsi que la surface de la zone d'étude.
Nature des résultats	Le traitement des données est réalisé par un logiciel adapté. Les résultats obtenus sont des volumes de matière déposés. Il est possible à partir de ces résultats de calculer un taux de sédimentation qui est exprimé en quantité de matière sédimentée par unité de temps ; Ex : m ³ /km ² /an.
Echelle spatiale et temporelle	Dans les cours d'eau et estuaires, les dépôts sédimentaires sont en grandes parties issus des phénomènes d'érosion qui se trouvent sur les versants. Les échelles spatiales à prendre en considération sont donc celles du bassin versant et du sous bassin versant. Les échelles temporelles vont dépendre des objectifs du suivi et de la cinétique des phénomènes observés. La diversité des techniques d'acquisition rend cette méthodologie adaptable à l'ensemble des échelles temporelles définies.

Application

Avantages	<p>Cette méthodologie peut permettre de surveiller de grandes zones d'étude difficilement accessibles.</p> <p>L'emploi de logiciels spécialisés rend le traitement des données automatisable ce qui représente un gain de temps.</p>
------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Limites</p>	<p>L'acquisition des données peut être très onéreuse et leur traitement complexe compte tenu de la richesse des informations.</p> <p>Cette méthodologie ne permet l'étude que d'une fraction des apports sédimentaires la fraction en suspension n'étant pas ici mesurée.</p>
<p>Références bibliographiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bassoullet P, Verney R, Kervella Y, Kervella S, Jestin H, Voineson G, 2010 - Utilisation d'un altimètre (ALTUS) destiné à la quantification des dépôt/érosion en domaine littoral pour l'étude des corrélations avec les caractéristiques de vagues et les interfaces de dépôt. Dans La houille blanche, (5) - Sédiments dans les estuaires. pp. 81-86. • Malavoi JR, Garnier CC, Landon N, Recking A, Baran P, 2011 - Éléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière. Rapport Onema. Collection « comprendre pour agir ». 216 p. • Ypsilantis WG, 2011 - Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview. Technical Note 438. Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, CO. 35 p.

IV.4. Caractéristiques des méthodologies *in situ* et *ex situ*

Parmi les méthodologies disponibles, deux types peuvent être distinguées, celles nécessitant une acquisition de données directement sur la zone d'étude (*in situ*) et celles dont l'acquisition des données ne nécessitent pas de contact direct avec le terrain (*ex situ*). Des caractéristiques spécifiques peuvent être associées à ces modes d'acquisition dans le cadre du suivi des pressions associées à l'érosion.

IV.4.1. Acquisition de données *in situ*

→ Quelques généralités

La collecte de données sur le terrain nécessite d'accéder aux stations de mesures. Cette notion d'accessibilité est un critère important, notamment lorsque la zone d'étude est très accidentée et c'est généralement le cas sur les versants des reliefs, zones de départ de matière, où les phénomènes d'érosion sont très actifs. La réalisation d'aménagements pour accéder à la zone d'intérêt ne doit pas être à l'origine du déclenchement de nouveaux phénomènes d'érosion. La problématique de l'accessibilité va également se poser lorsque les mesures doivent être réalisées durant des événements pluvieux qui rendent les opérations de terrain difficiles et posent des problèmes de sécurité.

En termes d'échelle spatiale, il est difficile d'opérer un suivi sur une grande densité de stations et sur une zone d'étude étendue. Ces acquisitions sont donc généralement réalisées pour un nombre de stations limité.

→ Installation de dispositifs *in situ*

L'acquisition des données *in situ* peut faire appel à des dispositifs installés sur la zone d'étude (ex : chaîne d'érosion, piège à particules). Ces méthodologies, qui peuvent être qualifiées d'intrusives, impliquent la prise en considération des points suivants :

- Les dispositifs exposés aux aléas météorologiques sur le terrain peuvent être endommagés ou emportés, notamment durant des événements pluvieux exceptionnels.
- La durée de vie des équipements est généralement limitée dans le temps dû à l'altération des matériaux.
- Les résultats peuvent être biaisés par une mauvaise mise en place des dispositifs.
- L'installation d'équipement n'est pas toujours aisée en raison de la praticabilité parfois réduite des terrains (pente, couvert végétal).
- La mise en place des dispositifs ne doit pas être à l'origine d'une dégradation des sols.

→ **Nature des données**

Les données obtenues *in situ*, obtenues par prélèvement ou mesure, peuvent être de natures variées :

- données physicochimiques du sédiment et de l'eau
- données spatiales (position géographique)
- données morphologiques (profil de terrain)

Les données *in situ* collectées vont fournir une quantification directe des pressions liées à l'érosion dans les milieux naturels.

IV.4.2. Acquisition de données ex situ

→ **Quelques généralités**

L'action d'obtenir des données sans être en contact avec l'objet des mesures est appelée « télédétection ». Plus précisément la télédétection est : « *la science et l'art d'obtenir des informations utiles sur un objet, une surface ou un phénomène à travers l'analyse de données acquises par un dispositif qui n'est pas en contact avec l'objet, la surface ou le phénomène étudié* » (Lillesand & Kiefer, 2000).

Contrairement aux acquisitions *in situ*, les acquisitions *ex situ* s'affranchissent du problème de l'accessibilité directe à la zone d'étude. Cependant, des interventions sur le terrain sont nécessaires pour valider les résultats.

Les échelles spatiales considérées pour la réalisation de suivi peuvent être plus étendues qu'avec des acquisitions de données *in situ*.

Les moyens d'acquisition de la donnée font généralement appel à l'emploi de capteurs embarqués sur un drone, un avion ou un satellite, cependant l'acquisition de données *ex situ* peut être basée à terre. Par exemple pour les techniques qui font appel à la photographie, comme la photogrammétrie, la collecte de données peut être réalisée par un opérateur sur le terrain sans qu'il entre en contact avec la surface étudiée. L'acquisition des données satellitaires ou aériennes sont généralement coûteuses.

Le traitement des données est généralement lourd et complexe en raison de la richesse des informations collectées. L'emploi d'un matériel informatique performant et des compétences spécifiques sont nécessaires. L'automatisation ou semi-automatisation du traitement des résultats sont possibles dans certains cas.

➔ Nature des données

Les données issues de la télédétection peuvent être différenciées en fonction du type de capteurs permettant leur acquisition. Ainsi, Alspaugh (2004) distingue les capteurs passifs des capteurs actifs.

Les capteurs passifs vont enregistrer l'énergie électromagnétique (EEM) émise ou réfléchi par une surface. Ce type de capteurs est donc dépendant d'une source de lumière extérieure (ex : soleil) pour être en mesure de détecter une EEM réfléchi (Matthews, 2006). L'œil humain est dans la même configuration de fonctionnement que ces capteurs passifs. Cependant les capteurs développés permettent de détecter des gammes d'ondes bien plus étendues et au-delà du visible. L'imagerie, employée dans de nombreux domaines impliquant une gestion spatiale, s'appuie sur des capteurs passifs.

Les capteurs actifs émettent une EEM et enregistrent le signal réfléchi, sur la surface ou l'objet, sous formes d'ondes ou d'une donnée ponctuelle. Sont distingués : les capteurs RADAR (Radio Detection And Ranging), SAR (Synthetic Aperture Radar), IfSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), LIDAR (Light Detection And Ranging), SONAR (Sound Navigation And Ranging); (Wang & Dahmann, 2002; Matthews, 2006). En mesurant la durée écoulée pour la réflexion du signal émit, ces capteurs permettent d'obtenir une élévation pour chaque point traité. Ce type de données va donc permettre d'établir la topographie d'une zone.

Remarque : Des données topographiques peuvent également être obtenues grâce à l'exploitation d'images issues de capteurs passifs (principe de la photogrammétrie).

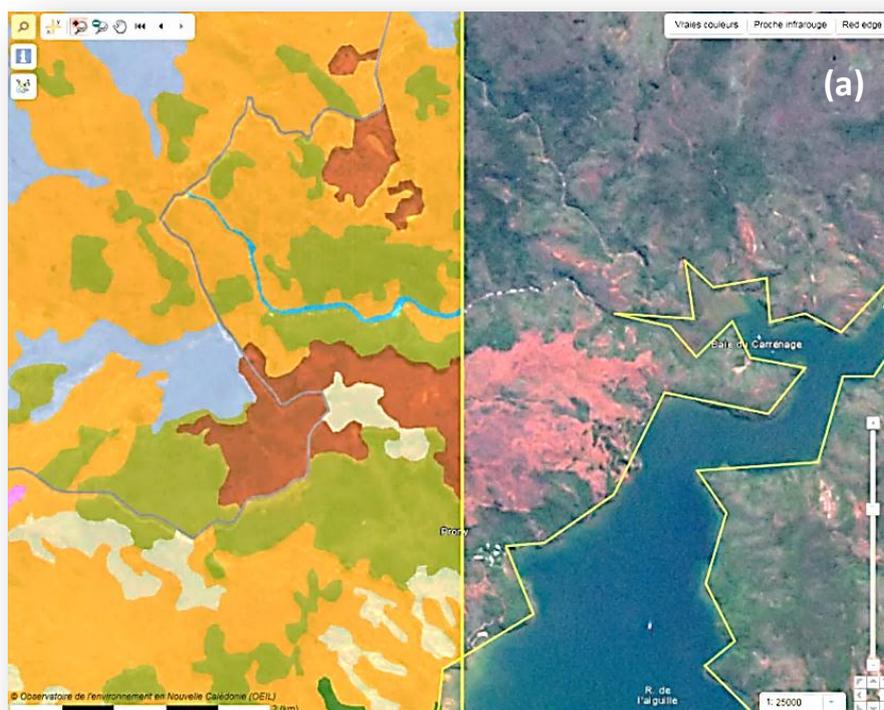




Figure 10 : (a) : A partir d'une image satellite (Geoeye 2010) les modes d'occupations des sols ont été digitalisés. L'outil de balayage des couches sur le portail géographique de l'Observatoire (OEIL) permet de comparer la digitalisation des sols nus sensibles à l'érosion et l'image satellite. Source : geoportail.oeil.nc\cartoexpert, OEIL **(b)** : Exemple de carte topographique pouvant être obtenue à partir de l'exploitation de capteurs actifs. Source : www.georep.nc, Gouvernement Nouvelle-Calédonie.

*Les conditions météorologiques peuvent altérer la qualité des données obtenues par télédétection;
Exemple : présence de nuages. C'est plus particulièrement le cas avec des capteurs passifs.*

Chapitre V - DISCUSSION

Bien que les principes de mise en œuvre de certaines méthodologies puissent être simples, il est indispensable que les stratégies de suivis soient adaptées aux objectifs de surveillance. La détermination d'une stratégie de suivi adaptée fait appel à une bonne connaissance des phénomènes et milieux considérés dans la zone d'étude. Ainsi, lorsque le paramètre et sa méthodologie ont été sélectionnés, le nombre de stations de mesures, leur positionnement, la fréquence d'échantillonnage, la qualité et la rigueur de la collecte des données vont être déterminant dans la pertinence des résultats, leur interprétation et l'analyse qui en découlent.

Sur le plan spatial, le suivi des pressions causées par l'érosion à l'échelle du bassin versant est particulièrement adapté car le bassin versant est une unité fonctionnelle sur le plan hydrologique et sédimentaire. Le suivi à cette échelle permet donc d'intégrer les caractères stables (ex : sensibilité des sols à l'érosion) et variables à court et moyen terme (ex : précipitations) (Mabit *et al.*, 2002).

La dynamique des phénomènes d'érosion hydrique étant corrélée à l'occurrence et à l'intensité des précipitations, au sein d'un bassin versant, les pressions associées sont donc soumises à des variations annuelles (saisons) et pluriannuelles (ex : phénomènes climatiques globaux : el niño / la niña). Le suivi des pressions doit donc généralement être réalisé durant plusieurs années afin d'être en mesure de discerner les variations naturelles des perturbations. Pour une bonne interprétation des résultats, un recul suffisant dans les séries temporelles est particulièrement important lorsque le bassin versant considéré comporte des cours d'eau intermittents ce qui vient complexifier son fonctionnement.

Au même titre que l'érosion, le réchauffement climatique est un phénomène dont la dynamique naturelle peut être influencée par les activités anthropiques (Nordell *et al.*, 2003). Les méthodologies qui font appel à la datation grâce aux éléments radioactifs représentent de véritables atouts pour pallier au manque de connaissances au long terme des variations naturelles pour de tels phénomènes. Ainsi, la datation de sédiments prélevés par carottage dans les conditions adéquates va permettre d'obtenir des indications sur les taux d'accumulation passés et les compositions physico-chimiques antérieures (*cf.* « Fiche 10 : Prélèvement de sédiment par carottage et datation »). Ces informations vont être représentatives des conditions naturelles relatives aux pressions « apport sédimentaire » associées à l'érosion uniquement si le bassin versant ou sous bassin versant considéré, n'était pas impacté dans le passé.

Comme pour tout suivi environnemental, l'établissement de « valeurs de référence » est important pour être en mesure de détecter des perturbations. Lorsqu'un suivi est initié sur une zone d'étude

déjà impactée, l'acquisition de valeurs de références peut se faire par l'étude d'une zone exempte de perturbations : un site référence.

La démarche de suivi des pressions associées à l'érosion hydrique dans l'ensemble des milieux d'un bassin versant devra prendre en considération le domaine de représentativité et la complémentarité des méthodologies employées pour le suivi des pressions.

L'utilisation de modèles par les scientifiques et gestionnaires intervient généralement lorsque la zone d'étude considérée est très étendue spatialement et que les effets des mesures de gestion peuvent être observés sur plusieurs dizaines d'années (Hong, 2008). Il existe divers modèles d'érosion qui permettent d'effectuer des prédictions sur l'évolution des phénomènes dans une zone considérée. Ces modèles nécessitent d'être alimentés par des données existantes. Ainsi en milieu tropical insulaire, les données relatives :

- au climat,
- à la pédologie des sols ou à l'érodabilité des sols,
- à la topographie,
- et au mode d'occupations du sol,

sont les facteurs principaux généralement pris en considération (Batti & Depaetere, 2007). Ces facteurs sont généralement pondérés différemment en fonction des modèles considérés.

Deux principaux types de résultats sont produits par les modèles : résultats qualitatifs et quantitatifs. Les résultats qualitatifs vont par exemple permettre de spatialiser la sensibilité des sols à l'érosion alors que les modèles quantitatifs peuvent permettre de cartographier le taux d'érosion des sols.

Ces outils restent des outils prédictifs permettant aux gestionnaires d'orienter leur politique de gestion et aux scientifiques de comprendre le fonctionnement des phénomènes érosifs. La modélisation ne peut remplacer en rien le suivi environnemental qui reste indispensable à la détection de perturbations des milieux.

Chapitre VI - ANNEXE

	Niveau de compétence	Niveau d'équipement	Echelle spatiale			Echelle temporelle			Milieu naturel		
			Sous bassin versant	Bassin versant	Ensemble de bassins versant	Précipitations	Annuelle	Pluriannuelle	Terrestre	Dulçaquicole	Marin
											
FICHE 1 Barrière à sédiment	Faible	Faible	✓	-	-	✓	✓	-	✓	-	-
FICHE 2 Parcelle d'érosion	Faible	Fort	✓	-	-	✓	✓	-	✓	-	-
FICHE 3 Règle topographique	Moyen	Faible	✓	-	-	✓	✓	-	✓	-	-
FICHE 4 Etude diachronique d'images des figures d'érosion	Fort	Faible	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-
FICHE 5 Etude de la topographie des figures d'érosion	Fort	Moyen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-
FICHE 6 Chaîne d'érosion	Fort	Moyen	✓	✓	-	✓	✓	-	-	✓	-
FICHE 7 Suivi de la concentration en matière en suspension	Faible	Fort	✓	✓	-	✓	-	-	-	✓	✓
FICHE 8 Piège à sédiment de charge de fond	Moyen	Fort	✓	✓	-	✓	✓	-	-	✓	-
FICHE 9 Suivi de la concentration en métaux dissous	Fort	Fort	✓	✓	-	✓	✓	-	-	✓	✓
FICHE 10 Prélèvement de sédiment par carottage et datation	Fort	Fort	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
FICHE 11 Piège à particules en zone de dépôt	Moyen	Moyen	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓	✓
FICHE 12 Etude de la topographie des dépôts sédimentaires	Fort	Moyen	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	✓

Tableau 3 : tableau récapitulatif des critères pour chaque méthode présentée.

Chapitre VII - BIBLIOGRAPHIE

Alspaugh D, 2004 - A brief history of photogrammetry. Dans *Manual of Photogrammetry*: Bethesda, MD, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. pp. 1-14.

Banton O, Bangoy LM, 1997 – Dans *Hydrogéologie, Multiscience environnementale des eaux souterraines*. Presses de l'Université du Québec, Québec, Canada. 460 p.

Bassoullet P, Verney R, Kervella Y, Kervella S, Jestin H, Voineson G, 2010 - Utilisation d'un altimètre (ALTUS) destiné à la quantification des dépôt/érosion en domaine littoral pour l'étude des corrélations avec les caractéristiques de vagues et les interfaces de dépôt. Dans *La houille blanche*, (5) - Sédiments dans les estuaires. pp. 81-86.

Batti A, Depraetere C, 2007 – *Panorama des méthodes d'analyse de l'érosion dans un contexte insulaire*. Coral Reef Initiatives for the Pacific (CRISP). 25 p.

Beliaeff B, Bouvet G, Fernandez JM, David C, Laugier T, 2011 - *Guide pour le suivi du milieu marin en Nouvelle-Calédonie*. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169 p.

Blaney DG, Warrington GE, 1983 - *Estimating soil erosion using an erosion bridge*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Watershed Development Group, Fort Collins. 55 p.

Boix-Fayos C, Martinez-Mena M, Arnau-Rosalén E, Calvo-Cases A, Castillo V, Albaladejo J, 2006 - *Measuring soil erosion by field plots : Understanding the sources of variation*. Dans *Earth-Science Reviews*. Vol 78. pp. 267-285.

Chevillotte V, Douillet P, Cabioch G, Lafoy Y, Lagabrielle Y, Maurizot P, 2005 – *Évolution géomorphologique de l'avant-pays du Sud-Ouest de la Nouvelle-Calédonie durant les derniers cycles glaciaires*. Dans *Comptes Rendus Geoscience*. 337 p. pp. 695-701.

Cluzel D, Aitchison JC, Picard C, 2001 - *Tectonic accretion and underplating of mafic terranes in the Late Eocene intraoceanic forearc of New Caledonia (Southwest Pacific): geodynamic implications*. Dans *Tectonophysics*. 340 p. pp. 23-59.

Foucault A & Raoult J, 2005 - *Dictionnaire de géologie*. 6e édition, Dunod (Ed.), 382 p.

Gangbazo G, 2004 – *Gestion intégrée de l'eau par bassin versant : concepts et application*. Rapport de la Direction des politiques de l'eau Bureau de la gestion par bassin versant – Ministère de l'environnement, Québec, Canada. 46 p.

Gault N, Sandre C, Poncy JL, Moulin C, Lafaix JL, Bresson C, 2010 – *Cobalt toxicity: Chemical and radiological combined effects on HaCaT keratinocyte cell line*. Dans *Toxicology in Vitro*. Vol 24. pp. 92-98.

Hicks DM, 1994 – Land-use effects on magnitude-frequency characteristics of storm sediment yields : some New Zealand examples. Dans *Variability in Stream Erosion and Sediment Transport. Proceedings of Canberra Symposium December 1994*. IAHS - International Association of Hydrological Sciences: Wallingford. pp. 395-402.

Hong SH, 2008 – Forest landscape models: Definitions, characterization, and classification. Dans *Forest Ecology and Management*. Vol 254. pp. 484-498.

Jaffré T, 2003 - Conservation programmes in New Caledonia, Western Pacific: in place for the dry forest, but urgently needed for the ultramafic vegetation. Dans *BG Journal: Journal of the Botanic Gardens Conservation International* 2. 13 p.

Jean-Luc L, 1986 - Dissolved and suspended matter transported by the Girou River (France) : mechanical and chemical erosion rates in a calcareous molasse basin / Transports en suspension et en solution par le Girou (France) : taux d'érosion mécanique et chimique sur un bassin molassique calcaire. Dans *Hydrological Sciences Journal*. Vol 31 (1). pp. 61-79.

Lafoy Y, Maurizot P, Genna A, 2003 - Nickel mining in New Caledonia and environmental concerns. Dans *Preservation and ecological restoration in tropical mining environment, Nouméa, IRD*. pp. 156-157.

Le Bissonais Y, Thorette J, Bardet C, Daroussin J, 2002 - L'érosion hydrique des sols en France. Rapport INRA & IFEN. 105 p.

Le Goff F, Bonnomet V, 2004 - Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM. Rapport technique, INERIS. 85 p.

Léone F, 1996 - Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain. Rapport de thèse. Université Joseph Fourier, Grenoble, France. pp. 294.

Lewis J, 1996 - Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation. Dans *Water resources research*. Vol 32 (7). pp. 2299-2310.

Lillesand TM, Kiefer RW, 2000 - Remote Sensing and Image Interpretation, 4th ed. Editions Wiley & Sons.

Mabit L, Laverdière MR, Bernard C, 2002 - Water erosion: methods and case studies in Northern France. *Cahiers Agricultures*. Vol 11 (3). pp. 195-206.

Malavoi JR, Garnier CC, Landon N, Recking A, Baran P, 2011 - Éléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière. Rapport Onema. Collection « comprendre pour agir ». 216 p.

Malavoi JR, 2003 - Compte rendu du suivi de chaînes d'érosion sur le site d'Ingrandes. Rapport d'étude, programme de suivi des impacts des seuils du Fresne-sur-Loire, Ingrandes. 15 p.

Marques MJ, Bienes R, Perez-Rodriguez R, Jimenez L, 2008 - Soil degradation in Central Spain due to sheet water erosion by low-intensity rainfall events. Dans *Earth Surface Processes and Landform*. Vol 33. pp. 414-423.

Martinat A, 2009 - Mise en place d'une méthode de suivi d'érosion au Val des dents bouches (Massif du Sancy). Rapport de stage Master 2, Université Blaise Pascal, département de géographie. 38 p.

Matthews NA, Noble TA, Breithaupt B, 2006 - The application of photogrammetry, remote sensing and geographic information systems (GIS) to fossil resource management. Dans *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*. Vol 34. pp. 119 - 131.

Maurizot P, & Lafoy Y., 2003 – L'aléa naturel mouvement de terrain en Nouvelle-Calédonie. Synthèse des connaissances. BRGM/RP-52213-FR.

Murienne J, Grandcolas P, Dolors Piulachs M, Bellés X, D'Haese C, Legendre F, Pellens R, Guilbert E, 2005 - Evolution on a shaky piece of Gondwana: is local endemism recent in New Caledonia? Dans *Cladistics*. Vol 21. pp. 2-7.

Nordell B, 2003 – Thermal pollution causes global warming. Dans *Global and Planetary Change*. Vol 38. pp. 305-312.

Ollesch G, Vacca A, 2002 - Influence of time on measurement results of erosion plot studies. Dans *Soil and Tillage Research*. Vol 67. pp. 23-39.

Pelletier B, 2001 - Les minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie. Minerais saprolitiques ou "garnieritiques" et minerais latéritiques. 10 p.

Pelletier B, 2007 - Geology of the New Caledonia region and its implications for the study of the New Caledonian biodiversity. Dans Payri C & Richer de Forges B (ed), *Compendium of marine species from New Caledonia, Nouméa, IRD. Documents scientifiques et techniques II7, vol. spécial (2^e éd.)*. pp. 19-32.

Petit Larousse 2009, 2009 - Éditions Larousse. 1812 p.

Pimentel D, Kounang N, 1998 - Ecology of soil erosion in ecosystems. Dans *Ecosystems* 1. pp. 416-426.

Robichaud PR, Brown RE, 2002 - Silt fences: an economical technique for measuring hillslope soil erosion. General Technical Report (RMRS-GTR-94). United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 24 p.

Rollet AJ, 2007 - Étude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée d'Ain. Rapport de thèse. Université de Jean Moulin, Lyon 3. 305 p.

Rouet I, 2009 – Caractérisation et éléments de quantification d'aléas naturels liés à l'évolution des versants dans les massifs ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie. Rapport de thèse. École doctorale du Pacifique ED469. 218 p.

Richer de Forges B, Pascal M, 2008 - La Nouvelle-Calédonie, un « point chaud » de la biodiversité mondiale gravement menacé par l'exploitation minière. Dans *Le Journal de la Société des Océanistes*. pp. 95-112.

Richer De Forges B, 1991 - Les fonds meubles des lagons de Nouvelle-Calédonie : généralités et échantillonnages par dragages. Dans B. Richer de Forges (ed), *Le benthos des fonds meubles des lagons de Nouvelle-Calédonie*, Paris, ORSTOM. Études et thèses 1. pp. 7-148.

Simberloff D, 1988 - Introduced insects: a biogeographic and systematic perspective. Dans *Ecology of biological invasions of North America and Hawaiï*. Vol 58. pp. 3-26.

Smith SA, Sadlier RA, Bauer AM, Austin CC, Jackman T, 2007 - Molecular phylogeny of the scincid lizards of New Caledonia and adjacent areas: Evidence for a single origin of the endemic skinks of tasmantis. Dans *Molecular Phylogenetics and Evolution*. Vol 43. pp. 1151-1166.

Soicher AJ, Perterson FL, 1987 - Terrestrial nutrient and sediment fluxes to the coastal waters of West Maui, Hawaiï. Dans *Pacific Science*. Vol 51. pp. 221–232.

Valette-Silver NJ, 1993 - The use of sediment cores to reconstruct historical trends in contamination of estuarine and coastal sediments. Dans *Estuaries*. Val 16 (3B). pp. 577-588.

Wang Y, Dahman NA, 2002 - Active sensors and modern photogrammetry. *Geospatial Solutions*. www.geospatial-online.com. 4 p.

Whiting SN, Reeves RD, Richards D, Johnson M, Cooke JA, Malaisse F, Paton A, Smith JAC, Angle JS, Chaney RL, Ginocchio R, Jaffré T, Johns R, McIntyre T, Purvis WO, Salt DE, Schat H, Zhao FJ, Baker AJM, 2004 - Research priorities for conservation of Metallophyte biodiversity and their potential for restoration and site remediation. Dans *Restoration Ecology*. Vol 12 (1). pp. 106-116.

Wotling G, Bouvier C, 2002 - Impact of urbanization on suspended sediment and organic matter fluxes from small catchments in Tahiti. Dans *Hydrological processes*. Vol 16. pp. 1745-1756.

Ypsilantis WG, 2011 - Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview. Technical Note 438. Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, CO. 35 p.

Zhou Y, 2009 - Évaluation de la biodisponibilité des métaux dans les sédiments. Rapport d'étude. Agence de l'Eau Artois-Picardie et Université des Sciences et Technologies de Lille I, UMR Géosystèmes. 33 p.

Résumé

L'érosion est un phénomène naturel qui lorsqu'il est perturbé peut engendrer des pressions sur l'ensemble des milieux naturels situés dans un même bassin versant.

L'OEIL, observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie, dont le cœur de la mission est la surveillance de l'état de santé de l'environnement, accorde une attention toute particulière à l'érosion.

En effet, le contexte géologique, climatique et les activités anthropiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie rendent les milieux particulièrement assujettis aux pressions associées à l'érosion.

En premier lieu, ce document rapporte les grands principes concernant l'érosion et les pressions environnementales associées, plus particulièrement dans le contexte qui intéresse l'OEIL : cas de l'érosion hydrique en milieu ultrabasique dans le Sud de la Nouvelle-Calédonie, avant de présenter les principales méthodes de suivi des pressions associées à l'érosion au travers de 12 fiches descriptives.