GEOSCIENCE RENNES

Analyse des seuils de transport de fond dans l'Amazone

Rapport de stage de première année de master H3

ying hao LI

14/06/2010

Encadrant : Alain CRAVE

Ce rapport de stage présente une étude sur les seuils de transport de fond dans les rivières amazoniennes. Différents comportements de fond mobile ont été constatés sur les différents endroits le long de l'Amazone, à l'égard de la vitesse de seuil de l'eau pour l'appariation du fond mobile et son importance dans le bilan sédimentaire des rivières. Cela relève une disparité de granulométrie de sédiments au fond des cours d'eau. Les données sont prises dans la base de donné de l'observatoire Hybam Cinq stations sont étudiées : Atalaya, Borja, San Regis, Jenaro Herrera et Tamshiyacu.

Sommaire

I. Objet du stage 1

II. Présentation de l'ORE HYBAM 3

III. Acquisition et analyse de données 4

1. Acquisition de données 4

2. Analyse de données 5

a) Analyse de données de la dynamique de l'eau avec HydroMESAD 5

b) Analyse de données de jaugeage et de débit avec Hydraccess 10

IV. Résultats et discussions 10

1. Conditions de mise en mouvement 10

2. Importance du mouvement de fond 13

V. Annexe – Présentation de l'organisme d'accueil 17

1. Le CNRS 17

2. Géosciences-Rennes 17

VI. Remerciement 18

VII. Bibliographie 18

I. Objet du stage

Le transport total de sédiments dans une rivière[1] est constitué de deux grandes parties : le transport en suspension et le transport de fond par charriage [Molnar et al., 2006]. Par conséquent, le débit total du transport de sédiments dans l'eau peut être exprimé par la relation , où et représentent

[1] Dans ce rapport, au lieu de distinguer un « fleuve » d'une « rivière » qui risque de générer la complexité sans présenter beaucoup d'intérêt pour le sujet étudié, le terme « rivière » sera employé au sens large pour exprimer « un cours d'eau ».

respectivement la quantité de matières en suspension (MES) et celle du fond. Ce dernier peut représenter, dû à sa concentration souvent forte, un poids particulièrement important dans le bilan sédimentaire de la rivière [Molnar et al., 2006]. Pour un modèle simple du profil de vitesse et de concentration des matières transportées, dans le cas où le sédiment de fond représente 1% de profondeur totale de l'eau avec 20% de concentration volumique, l'erreur dans le calcul des matières transportées pour un profil vertical d'eau peut atteindre 30%. Malgré son importance, le transport de fond mobile est souvent difficile à déterminer, faute de moyen de mesure approprié à l'heure actuelle. D'où la difficulté de quantifier le transport total sédimentaire pour une rivière. C'est pourquoi les études sur le transport de fond sont aujourd'hui d'un grand intérêt, même si certains d'entre elles n'apportent pas suffisamment d'information très précise sur les caractéristiques du transport de fond: la géométrie (l'épaisseur), la vitesse de déplacement, la concentration et les conditions de seuil de mise en mouvement (contrainte de cisaillement, débit ou vitesse du courant d'eau, etc.). Parmi ces études, celle sur les seuils de transport présente elle-même un aspect fondamental.

L'objet de ce stage s'agit d'une étude sur les débits (ou les vitesses) de seuil du transport de fond dans des rivières du bassin amazonien, en vue d'accéder aux informations sur les conditions hydrologiques d'apparition de fond mobile dans ces rivières. Une connaissance sur ses conditions permettrait d'avoir une estimation sur les composantes des sédiments à propos de leur granulométrie. Les données disponibles ont été prises sur plusieurs stations de mesure de l'ORE Hybam (cf. Partie 2, présentation du l'observatoire) dans l'Amazone et ses affluents.

Parmi de nombreuses études menées sur l'initiation du mouvement de fond dans des cours d'eau à l'échelle du globe, celle de Shields reste toujours une référence [Shields, 1936]. Il a été le premier qui proposait un graphique où les conditions favorables ou non aux mouvements des grains de sédiment sont séparées les une avec les autres par une seule courbe (Figure 1). Cette courbe a été construite à partir d'expériences en laboratoire.

L'objectif du stage ne s'agit pourtant pas de vérifier la validation de ce diagramme en le faisant correspondre aux données expérimentales à notre disposition. Les données ne sont pas suffisantes pour calculer et en l'absence de la granulométrie. Toutefois, nous pourrons réaliser, de manière empirique, une analyse de donnée sur les vitesses et les débits de seuil pour la mise en mouvement des particules. Ces analyses nous conduiront ensuite à connaître les moments d'apparition du transport de fond en fonction du débit d'eau dans les rivières. Ces résultats seront utiles pour évaluer les flux de solides de fond et mieux calculer le bilan sédimentaire en tenant compte l'importance du fond mobile à différents endroits du basin amazonien.

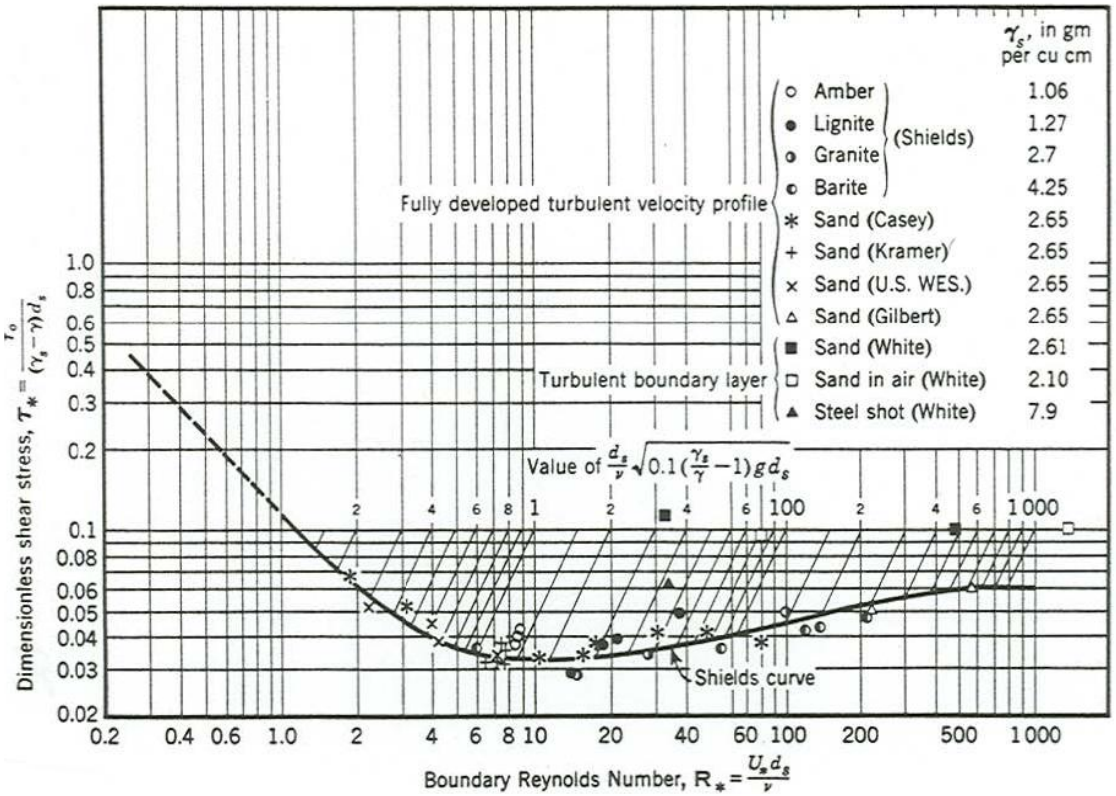

Figure 1 Diagramme de Shields. En x, le nombre de Reynolds , adimensionnelle, dépend d'une part, les caractéristiques du fluide tel que la densité, la vitesse d'écoulement et la viscosité dynamique, d'autre part, de la granulométrie des particules. En y, , dite « Paramètre de Shields », adimensionnelle aussi, est la division de la contrainte de cisaillement par le poids spécifique et la taille du grain. Source: Courtesy of American Society of Civil Engineers.

II. Présentation de l'ORE HYBAM

L'observatoire de recherche en environnement (ORE) HYBAM (Contrôles géodynamique, hydrologique et biogéochimique de l'érosion/altération et des transferts de matière dans le bassin de l'Amazone) a été mis en place en 2003 à l'initiative et avec l'appui financier du Ministère de la Recherche, de l'INSU et de l'IRD. L'objectif est de fournir aux chercheurs des données scientifiques de qualité, nécessaires pour comprendre et modéliser le fonctionnement des systèmes du bassin de l'Amazone et leur dynamique à long terme.

L'observatoire associe des unités de recherche et de service de l'IRD, ainsi que de nombreux partenaires des pays du Sud (Brésil, Bolivie, Chili, Pérou, Equateur, Colombie, Venezuela, et Congo). Il comprend à ce jour, entre outre, 16 stations dans le bassin amazonien (Figure 2). Un suivi hydrologique, sédimentaire et géodynamique, couplé à un échantillonnage régulier pour l'analyse géochimique, a été mis en place pour l'ensemble de ces stations en veillant bien à utiliser rigoureusement le même protocole de prélèvement, de filtration et de conditionnement des échantillons sur toutes les stations afin d'assurer au mieux l'homogénéité des données produites.

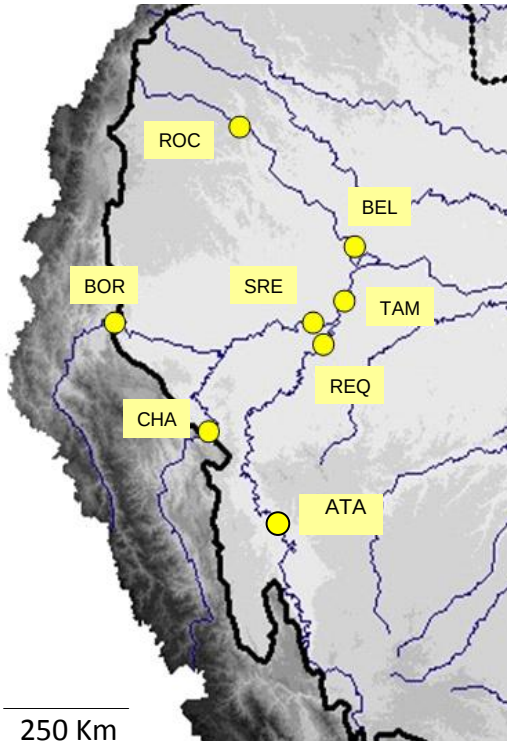

Figure 2 Partie du réseau des stations de l'ORE HYBAM. La ligne noire est l'iso-altitude du 4000 m. Les caractérisations des stations sont décrites dans Tableau 1. Source de la figure: Guyot et al. 2007.

Les données obtenues aux stations sont mises à disposition de la communauté scientifique sur un site web (www.ore-hybam.org).

Station	Code	Rivière	Latitude (°)	Longitude (°)	Aire drainée(Km²)	Débit moyen (m^3s^{-1})	Débit moyen de sédiments en suspension	
							10^6 t/an	t/an/km²
Borja	BOR	Maranon	-4,4704	-77,5482	114 280	4 977	121	1 069
Chazuta	CHA	Huallaga	-6,5704	-76,1193	68720	3 037	65	953
Atalaya	ATA	Ucayali	-10,6081	-73,8709	190 810	12 660	199	1 045
San Regis	SRE	Maranon	-4,5100	-73,9500	361 880	26 260	191	528
Requena	REQ	Ucayali	-4,9027	-73,6721	346 600	22 260	385	1 111
Bellavista	BEL	Napo	-3,4800	-73,0800	100 030	15 760	53	533
Tamshyacu	TAM	Amazonas	-4,0033	-73,1600	719 640	54 890	521	723

Tableau 1 Caractéristiques de certaines stations de l'ORE Hybam. Source des données: E. Arimijo, Rapport de stage2010, Maestria UNALM (LIMA, Pérou).

III. Acquisition et analyse de données

1. Acquisition de données

Du point de vue hydrologique, les deux paramètres mesurés aux stations de l'ORE Hybam sont le niveau d'eau et le débit. Les niveaux d'eau sont observés sur des

échelles limnimétriques ou des limnigraphes enregistreurs sur certaines stations, au pas de temps journalier. Ces niveaux peuvent correspondre à une seule lecture journalière ou à la moyenne de plusieurs lectures journalières.

Les débits moyens journaliers sont calculés à partir des niveaux d'eau mesurés en utilisant une courbe d'étalonnage. Cette courbe est construite à partir de jaugeages réguliers de débit, à différentes époques du cycle hydrologique.

Les jaugeages sont effectués avec des courantomètres à effet Doppler (ADCP). Cet équipement utilise la variation de fréquence entre le signal émis et le signal renvoyé par les particules en suspension dans l'eau pour calculer la vitesse du courant et sa direction. Le calcule est effectué automatiquement en temps réel par le logiciel WinRiver.

L'ADCP est installé dans une embarcation traditionnelle amazonienne (Figure 3). Durant une traversée de l'embarcation d'une berge à l'autre (Figure 4), WinRiver calcule la vitesse et le débit unitaire pour chaque cellule d'eau (Figure 5). Le débit de la section jaugée sera donné par la cumulée des débits unitaires. La taille de chaque cellule dépend de sa hauteur configurée, du nombre de pings par minutes programmé et de la vitesse de déplacement du bateau (qui définit la largeur des cellules). Lors de la mesure, la vitesse du bateau ne peut excéder 5 nœuds, soit environ 10 $km.h^{-1}$. Dans une section de 2 km de large, l'intervalle entre 2 pings est généralement de 1 à 3 secondes, ce qui génère à cette section de 600 à 1800 verticales. Enfin, chacune de ces verticales est découpée en cellules de 1 à 2 mètres de haut. Le positionnement de chaque verticale se fait par rapport à l'écho du fond qui est considéré comme stable. Un module de visualisation permet l'accompagnement en temps réel de l'opération de jaugeage par ADCP, avec la génération de graphiques comme le profil des vitesses dans la section jaugée (Figure 5). Le couplage en routine de ces ADCP avec une antenne GPS permet d'affiner la précision des résultats, notamment dans le cas fréquent de fond mobile lors des crues à certaines stations.

2. Analyse de données

a) Analyse de données de la dynamique de l'eau avec HydroMESAD

Les données des jaugeages sont stockées sous forme de WinRiver. Pendant ce stage, elles seront traitées par HydroMESAD (Vauchel, 2008). Celui-ci est un logiciel de traitement de données hydrologiques développé à la base du Microsoft Office Access. En prenant les fichiers WinRiver en entrée, HydroMESAD calcul, de façon automatique, les données suivantes et les stocker ensuite dans un fichier Excel:

- les longueurs et las profondeurs des sections de rivière jaugées (Figure 5)

Figure 3 ADCP et l'embarcation sur laquelle il est installé. Source image : E. Arimijo, Rapport stage2010, Maestria UNALM (LIMA, Pérou).

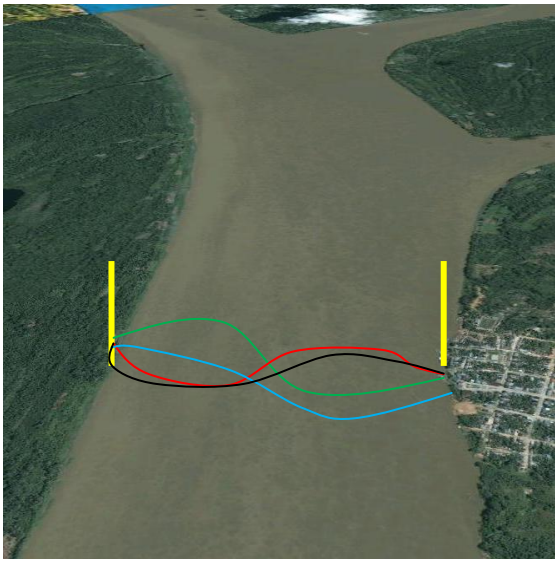

Figure 4 Schéma présentatif des traces du bateau deà la station de jaugeage à Tamshiyacu. Image Google Earth.

- les traces du bateau donc de l'ADCP durant un jaugeage (Figure 5)
- les vitesses du courant
- les concentrations de MES (Matières en suspension) lorsque des échantillons d'eau sont prélevés

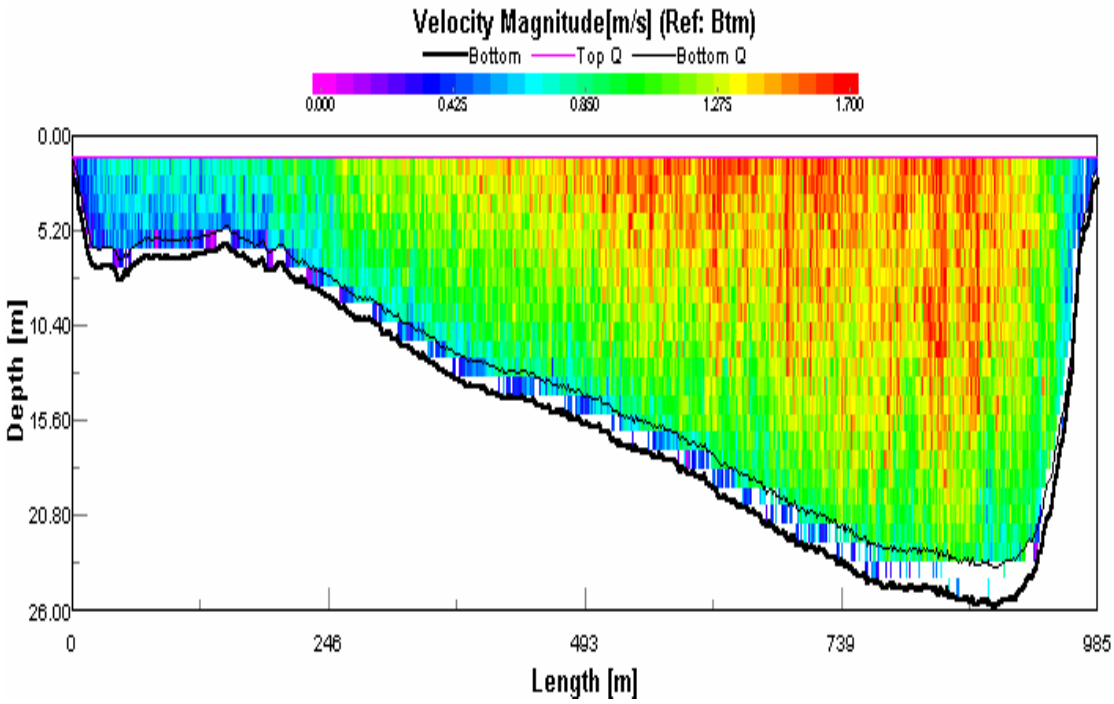

Figure 5 Jaugeage ADCP : profil de la section mesurée et distribution de vitesses. Le profil est composé de cellules pour lesquelles l'ADCP effectue les mesures. La ligne en gras en bas correspond au fond de la rivière, celle au-dessus correspond à la dernière couche de mesure de vitesses. L'espace entre les deux lignes est une zone « blanche » où les vitesses d'eau ne sont pas mesurées par l'ADCP (A voir aussi Figure 8).

Figure 6 est un exemple du profil de la section jaugée le 20 Février 2007 à la station de Tamshiyacu, donné par HydroMESAD. 3 allé-retours, i.e. 6 traverses ont été réalisés sur la section de 1 km de long environ. La profondeur maximum de la rivière est d'environ 30 m et se situe à 100 m d'une rive.

Figure 7 représente les trace du bateau durant ce jaugeage. L'écoulement de la rivière suit une direction nord-ouest. 2 allé-retours, i.e. 4 traverses ont été réalisées.

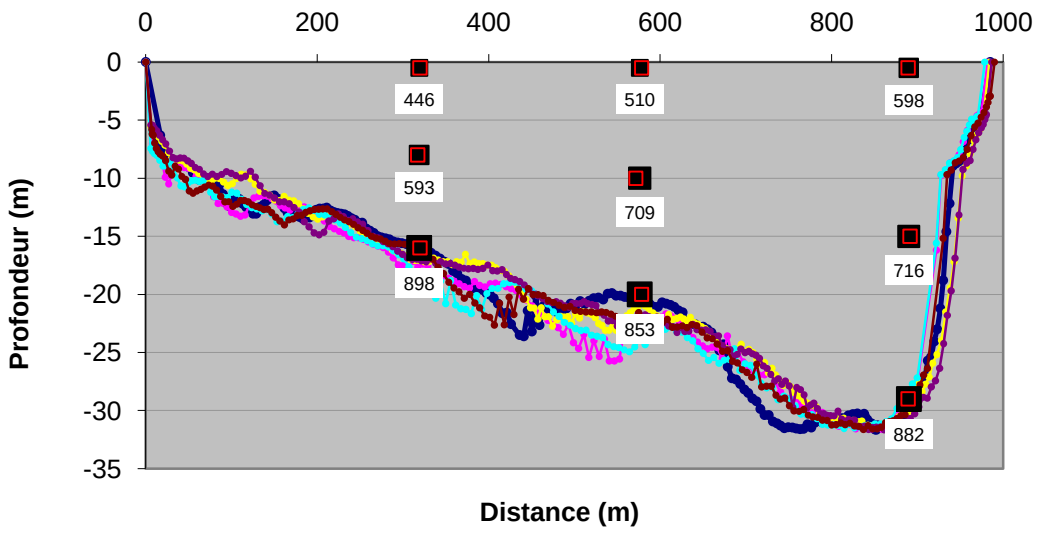

Figure 6 Profil de la section jaugée le 20/02/2007 à la station de Tamshiyacu. Chaque couleur correspond à un passage du bateau d'une rive à l'autre. Les carrés noires représentent les points où des échantillons d'eau sont prises. Les valeurs indiquées sont les concentrations des MES (mg/l). Les carrés positionnées sur le fond correspondent aux échantillons prises à 1m du fond.

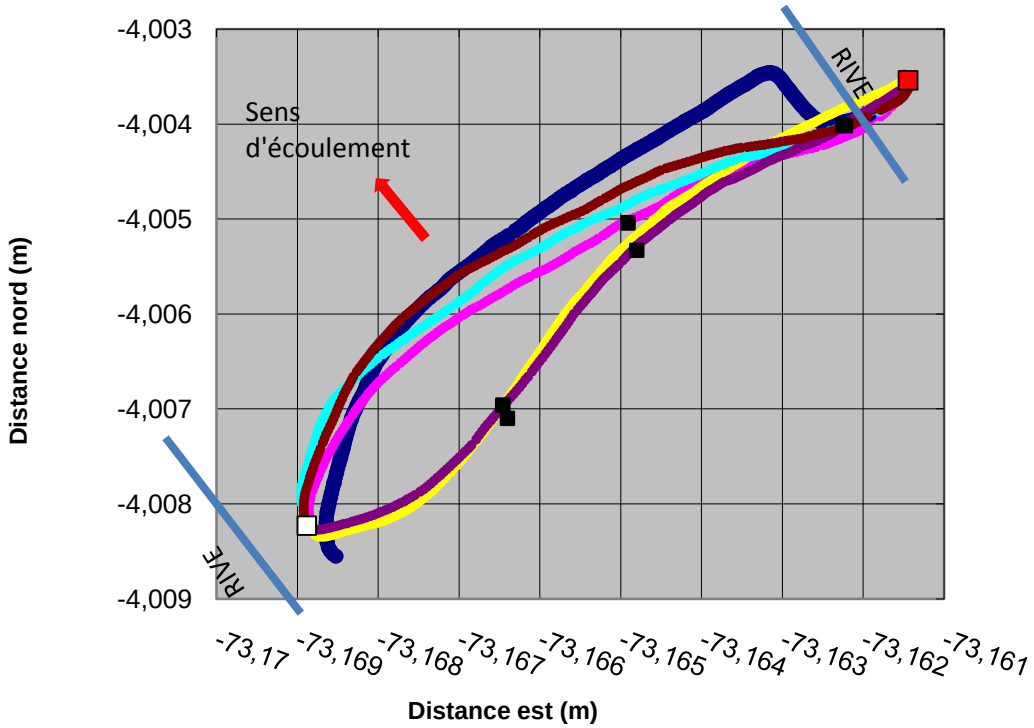

Figure 7 Traces du bateau à 20/02/2007 à Tamshiyacu. Chaque couleur représente à un passage du bateau d'une rive à l'autre. Le sens de courant est nord-ouest/sud-est.

Si le profil de la vitesse du transport de sédiments dans la rivière est supposé sous forme logarithmique (Figure 8), il contient deux zones dites « blanches » où les vitesses ne sont pas mesurées par l'ADCP : l'une est la zone de 1m d'épaisseur sous la surface; l'autre est la zone au-dessus du fond qui représente 6% de la profondeur totale de la rivière. Cette dernière est l'origine d'une difficulté majeure pour l'étude du transport de fond du fait que les vitesses du courant ici, et donc les contraintes appliquées sur les sédiments, ne sont pas connues. Ceci étant, sachant qu'une relation existe entre la vitesse d'eau de fond et la dernière vitesse mesurée ($V_{6\%}$), l'étude peut se positionner sur $V_{6\%}$.

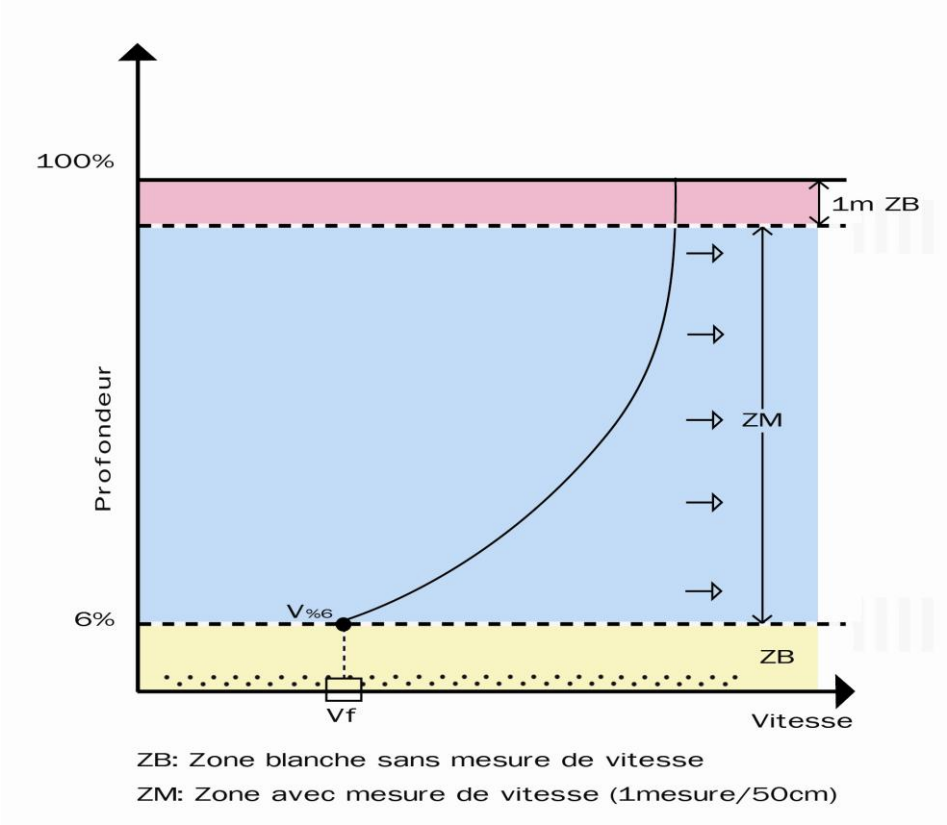

Figure 8 Profil de vitesse du transport de sédiment dans une rivière. $V_{6\%}$ est la dernière vitesse mesurée à 6% de profondeur du fond Vf est la vitesse du fond mobile.

Détermination du seuil de mouvement

HydroMESAD permet de tracer $V_{6\%}$ et Vf le long de la section de la rivière. Ainsi Le seuil de mise en mouvement des sédiments au fond peut être observé directement sur le graphique. Figure 9 est un exemple pour la campagne du 12 Février 2006. Une corrélation des vitesses du fond avec celles du courant est évidente dans ce cas.

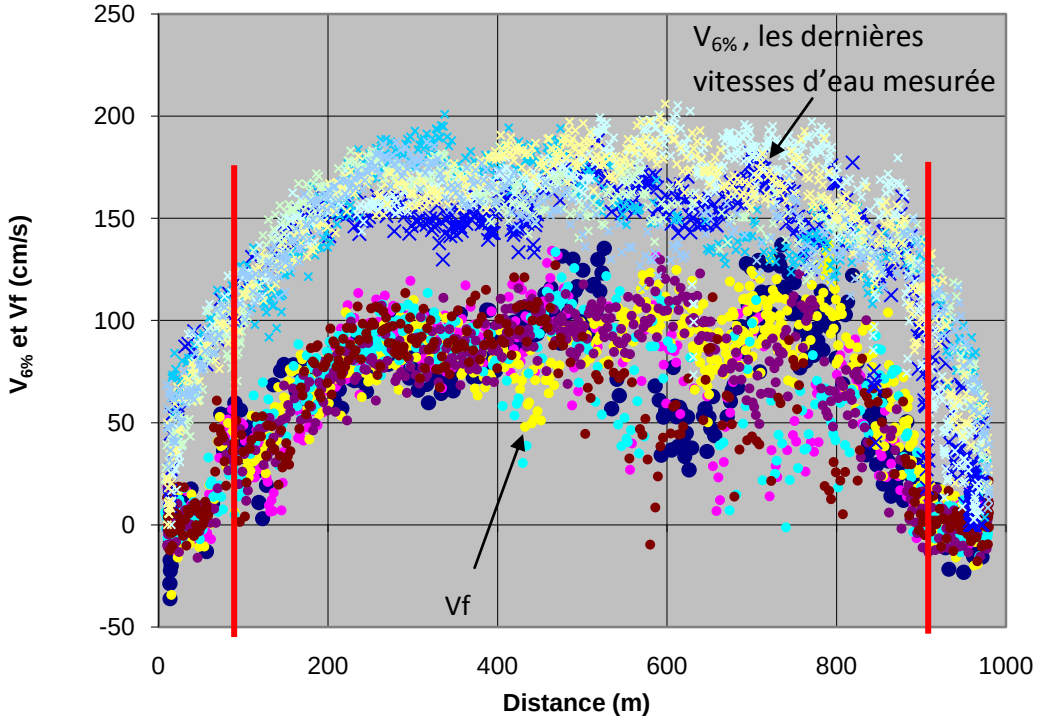

Figure 9 Vitesses du courant et du fond mobile le 12/02/2006 à Tamshiyacu. La valeur maximum de $V_{6\%}$ est autours de 170 cm/s et s'étend à 2/3 le long de la section. La zone entre les deux traits rouges contient les fonds mobiles. Les vitesses de ceux-ci sont autour de 100 cm/s.

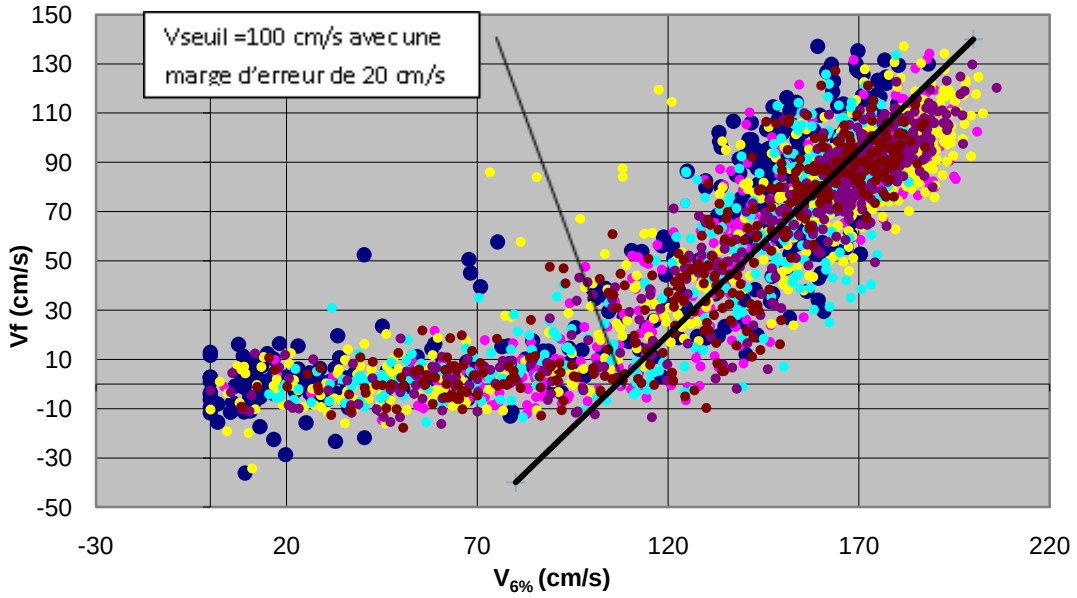

Figure 10 Montée en vitesse du fond mobile avec la vitesse du courant le 12/02/2006 à Tamshiyacu

Une autre approche est de mettre en comparaison $V_{6\%}$ et Vf, comme la montre Figure 10. L'intersection avec l'axe des abscisses de la droite de régression pour Vf indique la vitesse de seuil du fond mobile. Ici la droite coupe l'axe à environ 100 cm/s, ce qui est cohérent à la vitesse de seuil observé sur Figure 9.

b) Analyse de données de jaugeage et de débit avec Hydraccess

Hydraccess (Figure 11) est aussi un logiciel de traitement de données hydrologiques (Vauchel, 2005). Il permet d'importer et de stocker des données dans une base au format Microsoft Access 2000. Hydraccess fournit de nombreuses possibilités de visualiser les données, en graphes simples ou comparatifs, qui peuvent être déroulés librement sous Excel.

Les données que peut gérer Hydraccess sont :

- Séries chronologiques : cotes, débits, données de qualité des eaux, pluies, données météo.
- Jaugeages : débit en fonction des cotes, et MES sur une section en fonction de la MES superficielle.
- Étalonnages : débits en fonction des cotes, MES section en fonction des MES superficielle, débits solides et MES section en fonction des débits liquides.
- Dossiers d'historique de station.

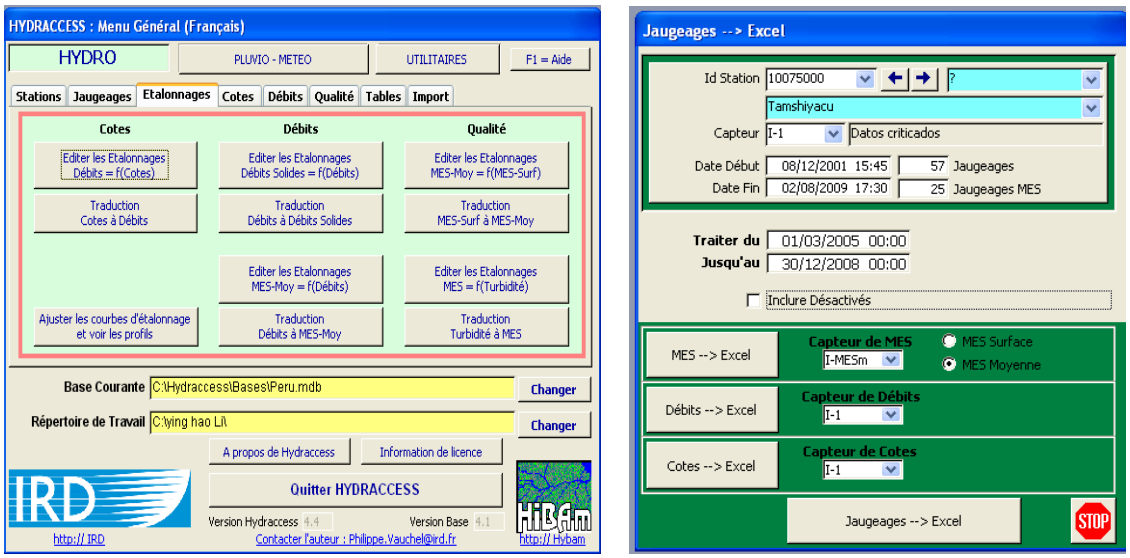

Figure 11 Interface de Hydraccess

Grâce à Hydraccess qui permet de visualiser chronologiquement les débits mesurés, les jaugeages pour lesquels il y a lieu du fond mobile ou non peuvent être positionnés sur la courbe de débit, en vue d'acquérir des informations sur leur corrélation (Figure 15).

IV. Résultats et discussions

1. Conditions de mise en mouvement

Les vitesses de seuil calculées pour tous les jaugeages sont rassemblées et positionnées en fonction des vitesses moyennes d'eau mesurée sur la section du

jaugeage, Vc. Cela est fait pour toutes les stations de manière à pouvoir les comparer (Figure 12). Vseuil a été calculé avec des incertitudes entre 10 et 30 cm/s. Il est important de rappeler que les Vseuil ici sont les vitesses d'eau mesurées à 6% de profondeur au-dessus du fond de la rivière ($V_{6\%}$). Elles ne sont pas les vitesses véritables aux voisinages des grains qui exercent la contrainte cisaillant.

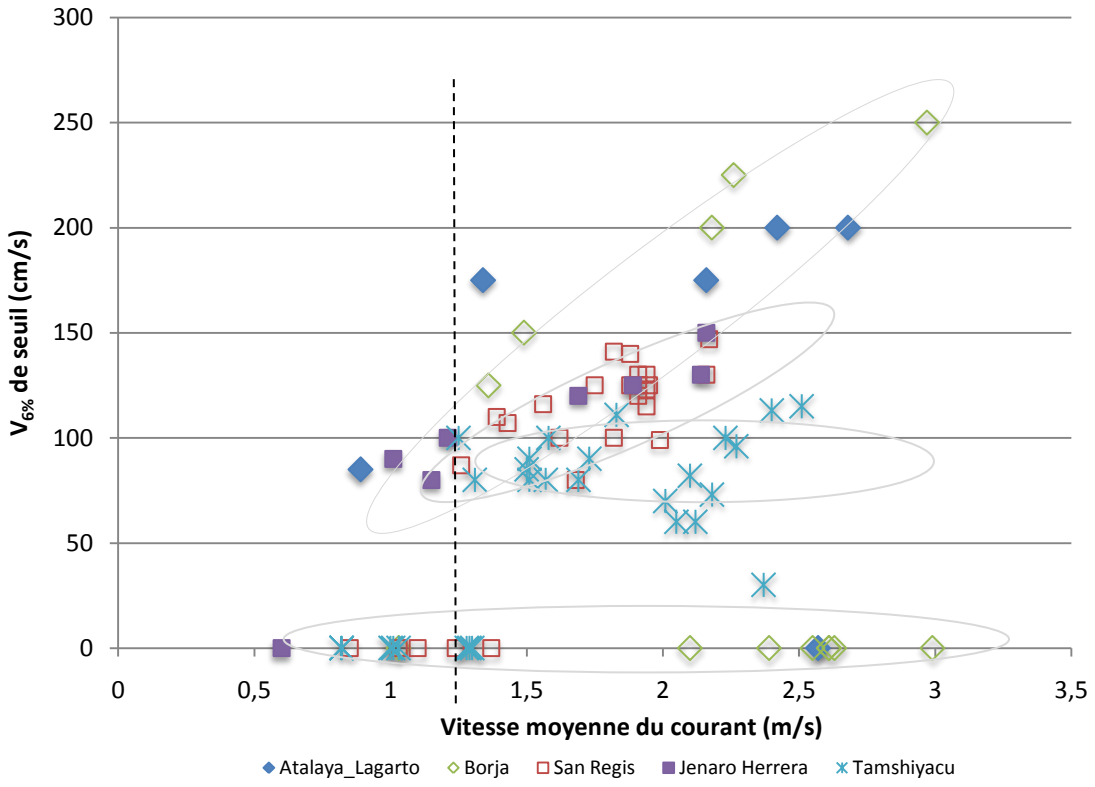

Figure 12 Vseuil en fonction de la vitesse moyenne du courant Vc pour les cinq stations : Atalaya_Lagarto, Borja, San Regis, Jenaro Herrera, Tamshiyacu

Sur Figure 12, l'ensemble des points peut se diviser en trois groupes. Le premier groupe contient les points en y = 0 correspondant aux cas où aucun mouvement de fond ne se produit. A l'exception de Borja, un seuil de 1,2 – 1,3 m/s (1m/s pour Jenaro Herrera) est constaté pour Vc pour la mise en place du fond mobile. Ce dernier ne peut avoir lieu que dans le cas où Vc dépasse le seuil. Le deuxième groupe correspond à des Vseuil qui augmentent linéairement avec Vc. Cela concerne la majorité des stations (quatre parmi les cinq à l'exception de Tamshiyacu). Pour Atalaya et Borja, les deux stations de piémont des Andes, Vseuil varient de 100 à 250 cm/s avec un taux de croissement relativement fort. Quant à San Regis et Jenaro Herrera, la variation de Vseuil est aussi linéaire avec Vc mais avec des taux moins forts qu'à Atalaya et Borja. En plus, les Vseuil sont compris entre 80 et 150 cm/s, une gamme beaucoup moins large que celle de Atalaya et Borja. Les points de San Regis sont plus dispersés que ceux de Jenaro Herrera. Le troisième groupe ne concerne que Tamshiyacu qui est plus en aval. En prenant en compte les

incertitudes, les Vseuil restent constante autours de 90 cm/s pour cette dernière station.

Sous l'hypothèse que la vitesse de seuil d'eau pour la mise en déplacement des particules soit contrôlée par la granulométrie de ceux-ci [Shields] et qu'une relation existe entre la vitesse d'eau au fond de la rivière et $V_{6\%}$, cette dernière aura une corrélation avec la granulométrie des particules. Autrement dit, plus la particule est grand, plus la contrainte nécessaire pour la déplacer est élevée, et donc plus la vitesse d'eau correspondante est importante. Ceci est probablement l'origine l'augmentation de Vseuil avec Vc observées sur les quatre stations en amont de l'Amazone.

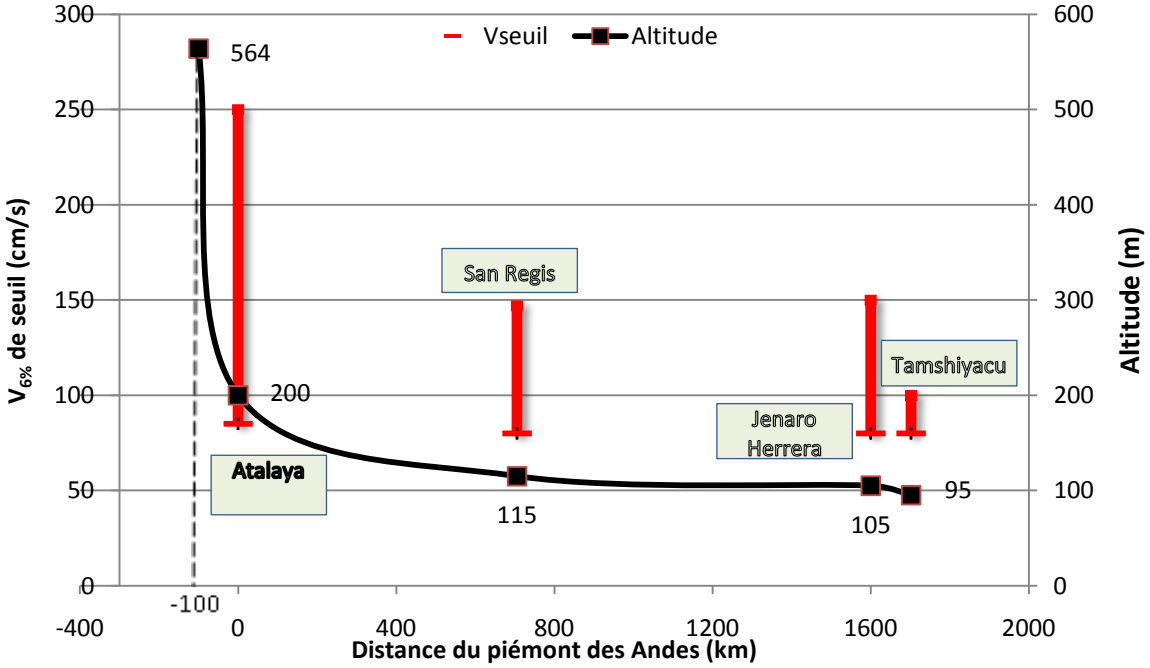

Figure 13 Plage de la variation de Vseuil à chaque station et profil topographique le long du cours d'eau. Les distances sont calculées avec GoogleEarth, en multipliant les distances linéaires par un facteur 2 pour prendre en compte les méandres.

Ainsi, la variation de Vseuil pour les différents endroits peut donner une estimation de la distribution de granulométrie des sédiments le long de l'Amazone. A Atalaya et Borja, les rivières sortent des Andes en portant de grande quantité de sédiments en raison de forte pente du profil de la rivière au sein des montagnes (Figure 13). Quand les rivières rentrent dans la plaine amazonienne, la variation topographique est quasiment nulle. De Atalaya à Jenaro Herrera, la rivière parcourt plus de 1600 km tant dis que l'élévation ne diminue que 130 m, ce qui donne une pente moyenne de 10^{-4}. Quant à l'autre affluent qui va de Borja à San Regis, la distance parcourue est plus de 700 km et la différence de l'élévation est de 170 m. Ces faibles pentes le long des cours d'eau appuient l'hypothèse pour laquelle de grande quantité de sédiments, surtout les particules de grandes tailles que l'eau n'est pas capable

transporter au loin, ont été déposés au cours du parcours d'eau, ce qui génère une réduction importante de la gamme de granulométrie des sédiments en aval. A la suite de cette réduction de granulométrie de sédiments, les vitesses de seuils connaissent elles aussi une réduction de gamme à San Regis et Jenaro Herrera (Figure 13) par rapport à Atalaya et Borja.

Une fois passés San Regis et Jenaro Herrera, les deux affluents se réunissent et passe par Tamshiyacu qui se situe à 100 km en aval. Un mélange de sédiments apportés par les deux affluents devrait conduire à une gamme de granulométrie de mélange. Contrairement à cette prédiction, une perte brute de Vseuil à Tamshiyacu est observée (Figure 13), ce qui reflète une perte de granulométrie de sédiments. Une hypothèse possible est que, malgré la distance courte (100 km) entre Jenaro Herrera (ou San Regis) et Tamshiyacu, les sédiments ont eu toujours de forts dépôts et ne laissent que des particules de petites tailles pour aller jusqu'à Tamshiyacu.

2. Importance du mouvement de fond

Etant donné la disparité de la vitesse de seuil d'apparition de fond mobile pour différents endroits, un calcul a été fait en multipliant l'extension du fond mobile sur la section par la vitesse moyenne du fond mobile V_{fm}, pour chaque station. Cela donne une estimation sur l'importance du flux du fond mobile si son épaisseur et la concentration volumique sont supposés constantes (Figure 14).

Une bonne relation linéaire existe pour Tamshiyacu entre l'importance du fond mobile et Vc. Au niveau de Tamshiyacu, ce sont les grains de la même granulométrie qui sont tapis sur le fond (cf. partie précédente). Par conséquent, une fois que la vitesse du courant dépasse Vseuil, la quantité de grains charriés et la vitesse à laquelle ils se déplacent vont dépendre linéairement de Vc. Cette dépendance linéaire est retrouvée à Jenaro Herrera. En revanche, l'importance du fond mobile est beaucoup moins forte qu'à Tamshiyacu. Le taux de croissement de cette importance avec Vc est aussi moins fort. En effet, la vitesse moyenne du fond mobile vaux 30-40 cm/s à Tamshiyacu comme à Jenaro Herrera, pourtant l'extension du fond mobile est beaucoup plus importante à Tamshiyacu qu'à Jenaro Herrera (60-90% à Tamshiyacu et 30-60% à Jenaro Herrera). L'origine de cette différence de l'extension reste à étudier.

Pour Atalaya et Borja, la relation de l'importance du fond mobile avec Vc paraît plus compliquée. A ces endroits, les particules de sédiments correspondent à une grande gamme de granulométrie. La vitesse de courant nécessaire pour déplacer les particules de différentes tailles sont différents. Des particules de grandes tailles qui ne sont pas en mouvement avec une faible vitesse d'eau sont susceptibles d'être déplacés au fur et à mesure lors de la montée en vitesse de l'eau. Par conséquent

l'importance du fond mobile, qui est le produit de la vitesse moyenne du fond mobile avec son extension, ne varie pas linéairement avec la vitesse de l'eau. Il est possible que pour chaque gamme de particule, la variation de l'importance du fond mobile soit toujours linéaire avec Vc, mais cela n'a pas été étudié pendant le stage à cause du manque de donnée.

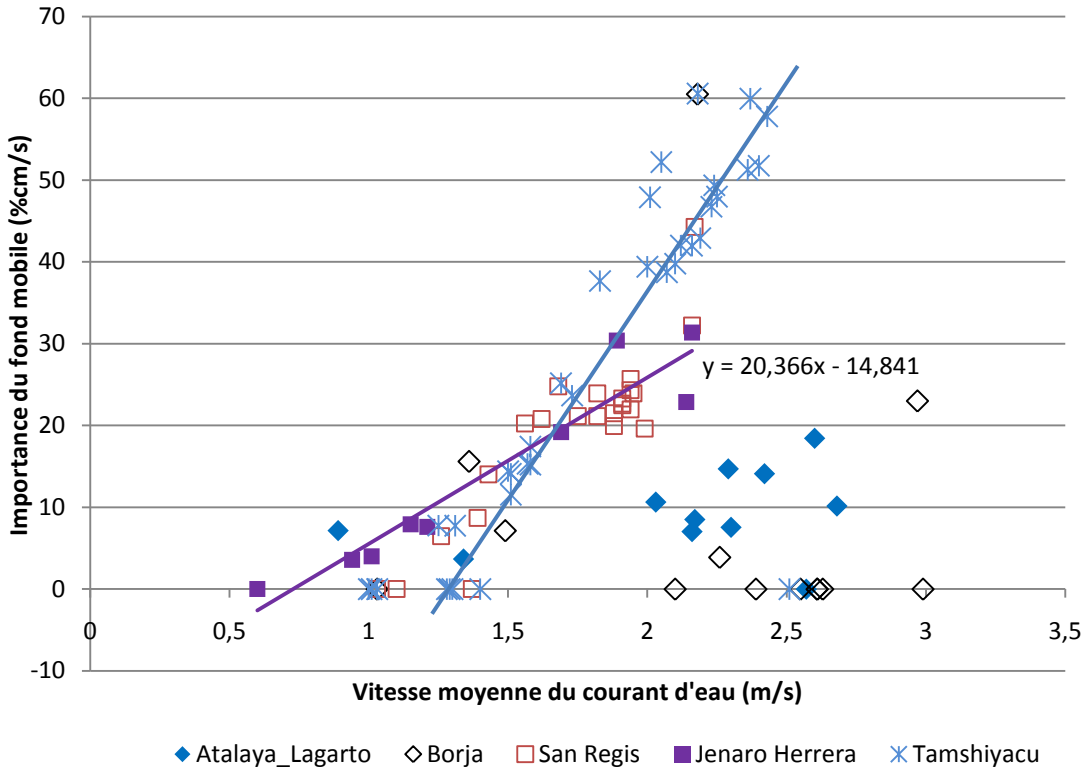

Figure 14 Importance du fond mobile en fonction de vitesse du courant d'eau pour les cinq stations. Les points en y=0 correspond aux cas où le fond mobile n'a pas lieu.

A San Regis, les points sont divisés en deux populations. Une suit quasiment la même allure linéaire que les données de Tamshiyacu, l'autre est concentrée entre 20 et 30 cm/s, pour Vc autour de 1,8 m/s. Une analyse plus précise a été faite sur Vseuil à San Regis pour trouver une explication de ce regroupement. Un écart de Vseuil a été effectivement constaté entre ces deux groupes : il est de 100-115 cm/s pour les points alignés et 120-140 pour le « nuage » de points.

Les dates des jaugeages solides sont positionnées sur les chroniques de débits (Figure 5). Pour toutes les stations, à l'exception de Borja, les moments où ont lieu des mouvements de fonds ont une bonne cohérence avec la variation des débits des rivières. Les fonds mobiles se produisent généralement pendant les périodes de crues. En période d'étiage, les sédiments de fond restent immobiles.

L'importance du fond mobile est aussi en accord avec le débit. Pour les grands débits, les fonds mobile sont plus importants que pour les faibles débits, soit en

prenant une extension plus grande de la section de rivière, soit en ayant une vitesse moyenne de déplacement plus élevée. A cause de l'absence de chronique de débit, cette comparaison n'a pas pu être faite pour Atalaya.

L'importance du fond mobile à des stations étant connues, il est possible d'estimer l'importance du transport de fond dans le bilan sédimentaire en entier, en supposant que l'épaisseur du fond et sa concentration soient constantes. Les résultats sont regroupés dans Tableau 2 pour les stations de Tamshiyacu, Jenaro Herrera et San Regis.

Station	**Concentration de sédiment (%)**	**Qsf (tonne/a)**	**Qss (tonne/a)**	**% du Qsf**
Tamshiyacu	10	27521	$2,8.10^5$	9%
	20	55043,45		16,5%
	30	165130,35		37,1%
Jenaro Herrera	10	$2,1.10^8$	$2,3.10^9$	8,6%
	20	$4,2.10^8$		15,8%
	30	$6,4.10^8$		21,9%
San Regis	10	$2,6.10^9$	$5,5.10^9$	31,9%
	20	$5,2.10^9$		48,3%
	30	$7,8.10^9$		58,4%

Tableau 2 Pourcentage de quantité de sédiments du fond. Les calculs sont faits pour une épaisseur de 10 cm pour les sédiments. Les données de Qss correspondent à E. Arimijo, Rapport de stage2010, Maestria UNALM (LIMA, Pérou).

Pour Tamshiyacu, l'importance du fond mobile dans le bian sédimentaire total atteint 15% pour une épaisseur de 10 cm avec 10% de concentration volumique. Elle passe à 37% quand le sédiment a une concentration de 30%. Pour San Regis, la quantité de sédiment du fond atteint déjà à 30% pour une épaisseur de 10 cm. Quand cette dernière passe à 20 cm, le sédiment du fond pèse quasiment la moitié de sédiments total dans la rivière. A Jenaro Herrera, l'importance du fond mobile est plus faible, mais avec un pourcentage toujours assez important. Ainsi l'importance du fond mobile dans le bilan total sédimentaire d'une rivière a pu être estimée pour les affluents de l'Amazone au Pérou.

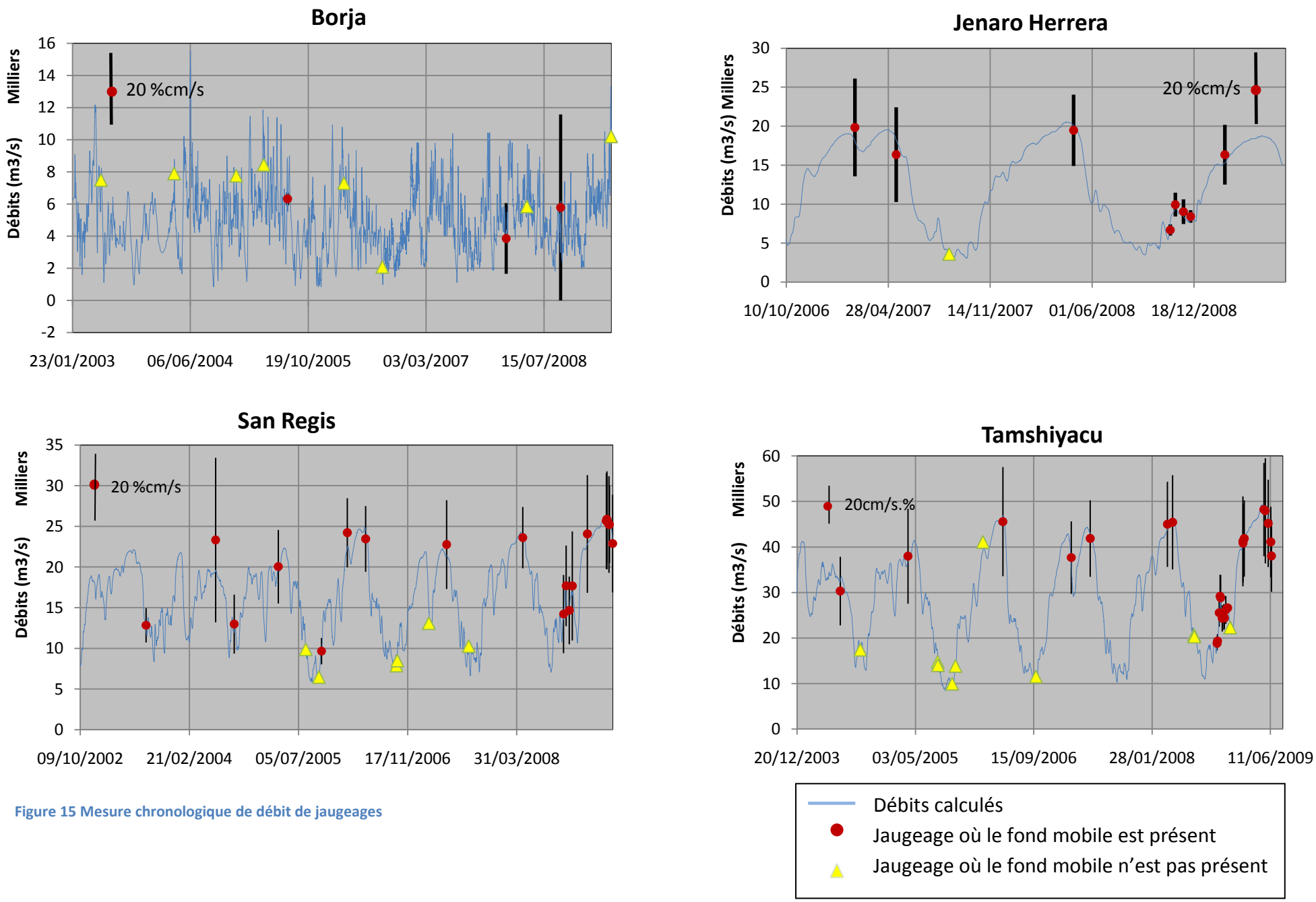

Figure 15 Mesure chronologique de débit de jaugeages

V. Annexe – Présentation de l'organisme d'accueil

1. Le CNRS

Le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) est un organisme public de recherche (Etablissement public à caractère scientifique et technologique, placé sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche). Créé le 19 octobre 1939 par un décret du président de la République Albert Lebrun, le CNRS compte aujourd'hui plus de 32000 personnes (dont 26 000 statutaires - 11 600 chercheurs et 14 400 ingénieurs, techniciens et administratifs), avec une implantation sur l'ensemble du territoire national français.

Principal organisme de recherche à caractère pluridisciplinaire en France, le CNRS mène des recherches dans l'ensemble des domaines scientifiques, technologiques et sociétaux. Il couvre la totalité de la palette des disciplines scientifiques qui sont regroupées au sein de dix instituts dont deux sont nationaux[2]. 19 délégations en région assurent une gestion directe et locale des laboratoires et entretiennent les liens avec les partenaires locaux et les collectivités territoriales.

Avec ses plus de 1200 unités de recherche et de service, 503 entreprises, 5000 chercheurs accueilles annuellement et des représentations à l'étranger, le CNRS développe les collaborations avec ses partenariats nationaux et internationaux.

2. Géosciences-Rennes

Géosciences-Rennes est unité mixte de recherche (UMR 6118 - CNRS & Université de Rennes 1) et un des six membres UMR de l'IFR/FR CAREN (centre armoricain de recherches en environnement)[3]. Ce dernier est laboratoire de recherche du CNRS attaché à l'Institut d'écologie et environnement.

Les activités de Géosciences-Rennes sont axées sur l'étude des processus géologiques continentaux à diverses échelles de temps et d'espace. Les six thèmes de recherche sont : Transferts de fluides dans les milieux hétérogènes ; Réactivité des éléments et cycle de

[2] Institut de Chimie, Institut écologie et environnement, Institut de physique, Institut national de physique nucléaire et physique des particules, Institut des sciences biologiques, Institut des sciences humaines et sociales, Institut des sciences informatiques et de leurs interactions, Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes, Institut des sciences mathématiques et de leurs interactions, Institut national des sciences de l'univers.

[3] Les cinq autres UMR sont : Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire ; ECOBIO ; Equipe COSTEL ; Ecologie et santé des écosystèmes ; Sol, Agro et hydrosystèmes, Spatialisation ; SAD Paysage.

l'eau ; Géomagnétisme et développement de méthodes d'imagerie en géophysique ; Erosion continentale ; Paléoenvironnements ; Marges continentales et bassins sédimentaires ; Dynamique des zones de convergence ; Lithosphères chaudes ; Mécanismes de déformation. Cette activité de recherche s'appuie sur d'importants moyens en modélisation expérimentale et sur un service d'observation et de bases de données, monté depuis quatre ans.

Géosciences-Rennes comporte une équipe de direction, un directeur (D. Gapis) et un directeur adjoint (J. Braun), s'appuyant sur un secrétariat général. L'équipe de direction s'appuie sur les conseils de centre et les assemblées générales. Un certain nombre de taches est délégué à des collègues chercheurs/enseignants-chercheurs, la gestion du personnel étant confié au directeur-adjoint. Une attention toute particulière a été portée à l'aspect communication/WEB.

Le potentiel humain de Géosciences-Rennes est d'environ 115 personnes (non compris les chercheurs / enseignants-chercheurs invités et les DEA / Master 2), dont 52 chercheurs / enseignants-chercheurs (30 ES, 21 CNRS, 1 CNAP) et 29 personnels administratifs et techniques (17 ITA, 10 ITRF, 2 ASU) et 25 doctorants.

VI. Remerciement

Je tiens à remercier Alain Crave qui m'a accueilli et m'a guidée de façon très éducatif pendant toute la durée du stage.

Je remercie aussi à Stéphane Bonnet qui m'a aidé à trouver ce stage en recommandant mon candidature à Alain Crave.

VII. Bibliographie

Armijo E., Cuantification de flujos sedimentarios de la s cuencas amazonicas de Peru, Universidad Naciional Agraria la Molina, rapport de Master, Février 2010, pp 69.

Callede, Jacques. et al., Discharge determination by Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP): a moving bottom error correction method and its application on the River Amazon at Óbidos, *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques,* 45(6) December 2000

Guyot, J.L. (2007), *HYBAM Rapport Synthèse 2003 – 2007*

Guyot J.L., Bazan H., Fraizy P., Ordonez J., Armijo E., Laraque A. Suspended sediment yields in the Amazon basin of Peru : a first estimation, *Proceedings of Symposium HS2005 at IUGG2007, Peruglia 2007, IAHS Publi. 314, 2007*

Guyot JL, Jouanneau JM., Wasson GB., Characterisation of river bed and suspended sediments in the Rio Madeira drainage basin (Bolivian Amazonia), *Journal of South American Earth Sciences 12 (1999) 401±410*

Molnar, P. Anderson R., Kier G., Rose J., Relationships among probability distributions of stream discharges in floods, climate, bed load transport, and river incision, *JGR*, VOL. 111, F02001, doi:10.1029/2005JF000310, 2006

Sondag F., Guyot,J.L. et Cochoneau,G. (2009), *Observatoire de Recherche en Environnement HYBAM, rapport d'avancement 2009.*

Vauchel P., Hydraccess v2.1.4 : logiciel de gestion et traitement de données hydrométéorologiques. *Institut de recherche pour le développement (IRD), Paris, 2005*

Vauchel P., Jaugages au Pérou et en Bolivie, *Cinquième réunion technique de l'Observatoire de recherche en Environnement (ORE) HYBAM sur les fleuves amazoniens , Lima 10-11 Novembre 2008* .