

Hydrométrie

INAT, 03/03/2015



Roger Calvez
Hydrologue IRD



L'équation du bilan hydrique est :

$$P + S = R + E + (S + \Delta S).$$

P : précipitations (liquide et solide) [mm]

S : ressources disponible à la fin de la période précédente (eaux souterraines, humidité du sol, neige, glace) [mm]

R : ruissellement de surface et écoulements souterrains [mm]

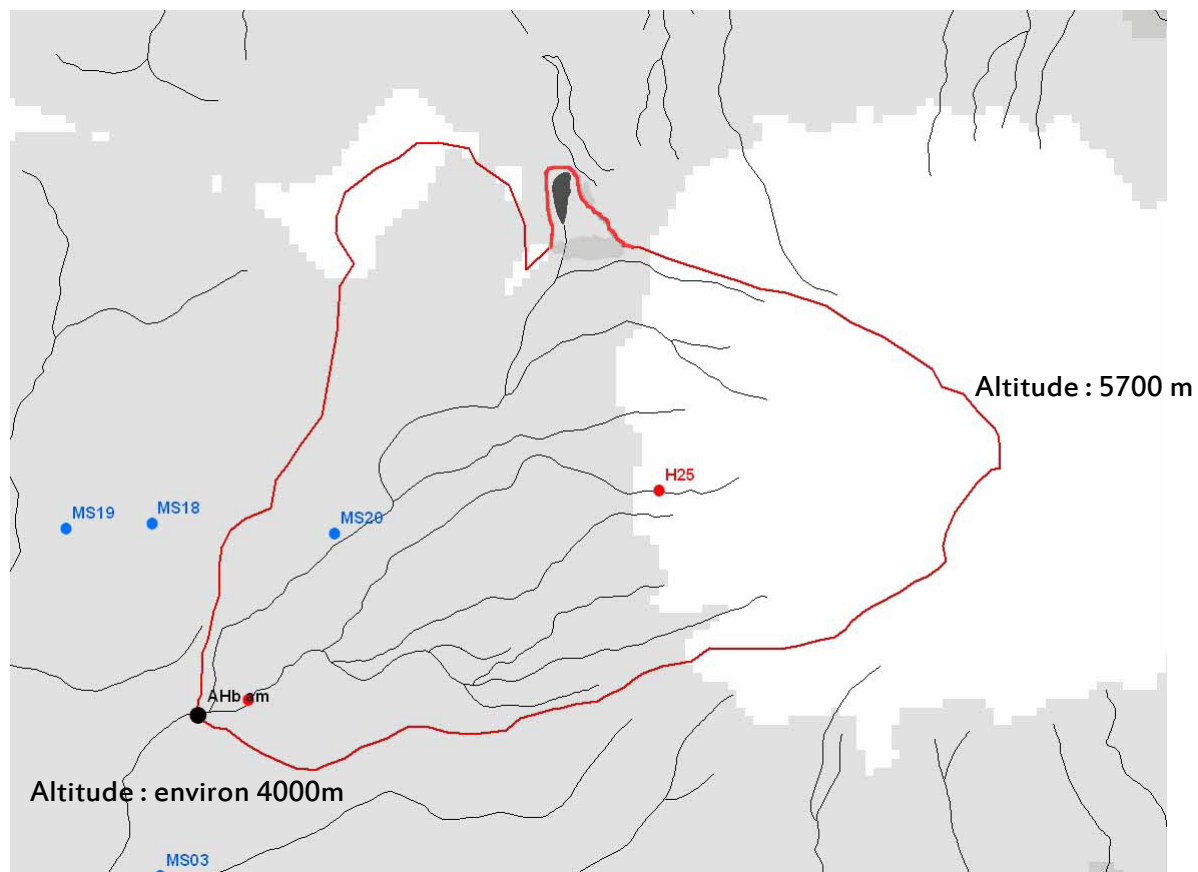
E : évaporation (y compris évapotranspiration) [mm]

S + ΔS : ressources accumulés à la fin de la période étudiée [mm]

C'est le débit Q en m³/s

C'est le volume d'eau qui s'écoule dans un temps T en un point donné

Nous dirons que ce point peut définir une station hydrologique.



Station de contrôle d'un versant du glacier Antizana dans les Andes de l'Equateur

Qu'est ce qu'une Station Hydrologique ?

Plusieurs définitions

Hydrologie Générale Prof. André Musy

ROCHE : **hy** hydrologie

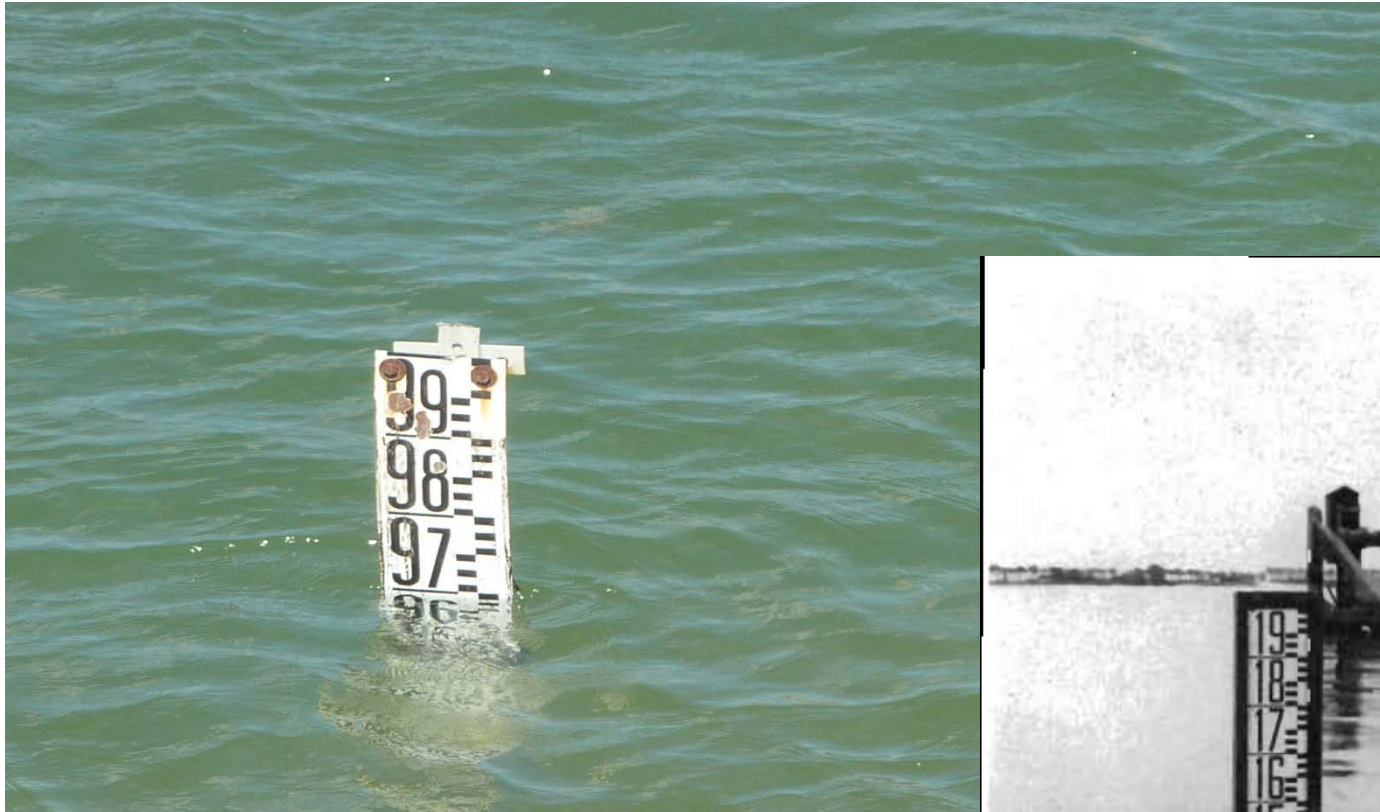
Le débit d'u 1) Science qui traite des eaux que l'on trouve à la surface de la Terre, débit à cha ainsi qu'au-dessus et au-dessous, de leur formation, de leur circulation de débit pa et de leur distribution dans le temps et dans l'espace, cote de 1 'e de leurs propriétés biologiques, physiques et chimiques ble dans le tem et de leur interaction avec leur environnement, y compris avec les êtres vivants. provisoirem 2) Science qui étudie les processus qui régissent les fluctuations ène à des obser des ressources en eau des terres émergées et traite des différentes hauteurs. phases du cycle hydrologique.

Ces d enregis principales.

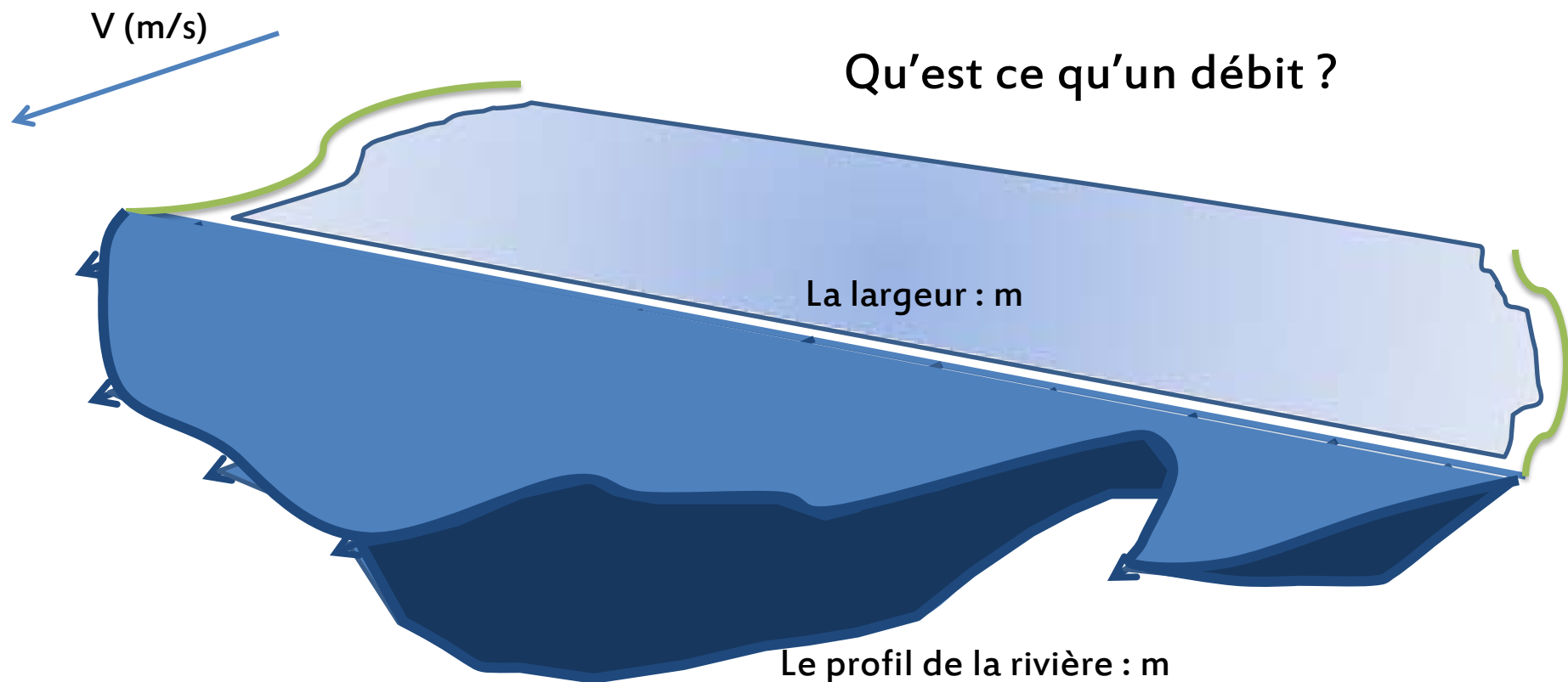
la limnimétrie : qui est l'observation dans le temps de la variation du plan d'eau

Le débit : qui est le volume en un temps T

La limnimétrie ?



C'est l'étude des variations périodiques de la hauteur du niveau de l'eau des lacs , des rivières, et des plans d'eau en général



La largeur (m) * Le profil (m) = La section (m²)

La section (m²) * vitesse (m/s) = Le débit en m³/s

Un Volume dans un Temps déterminé

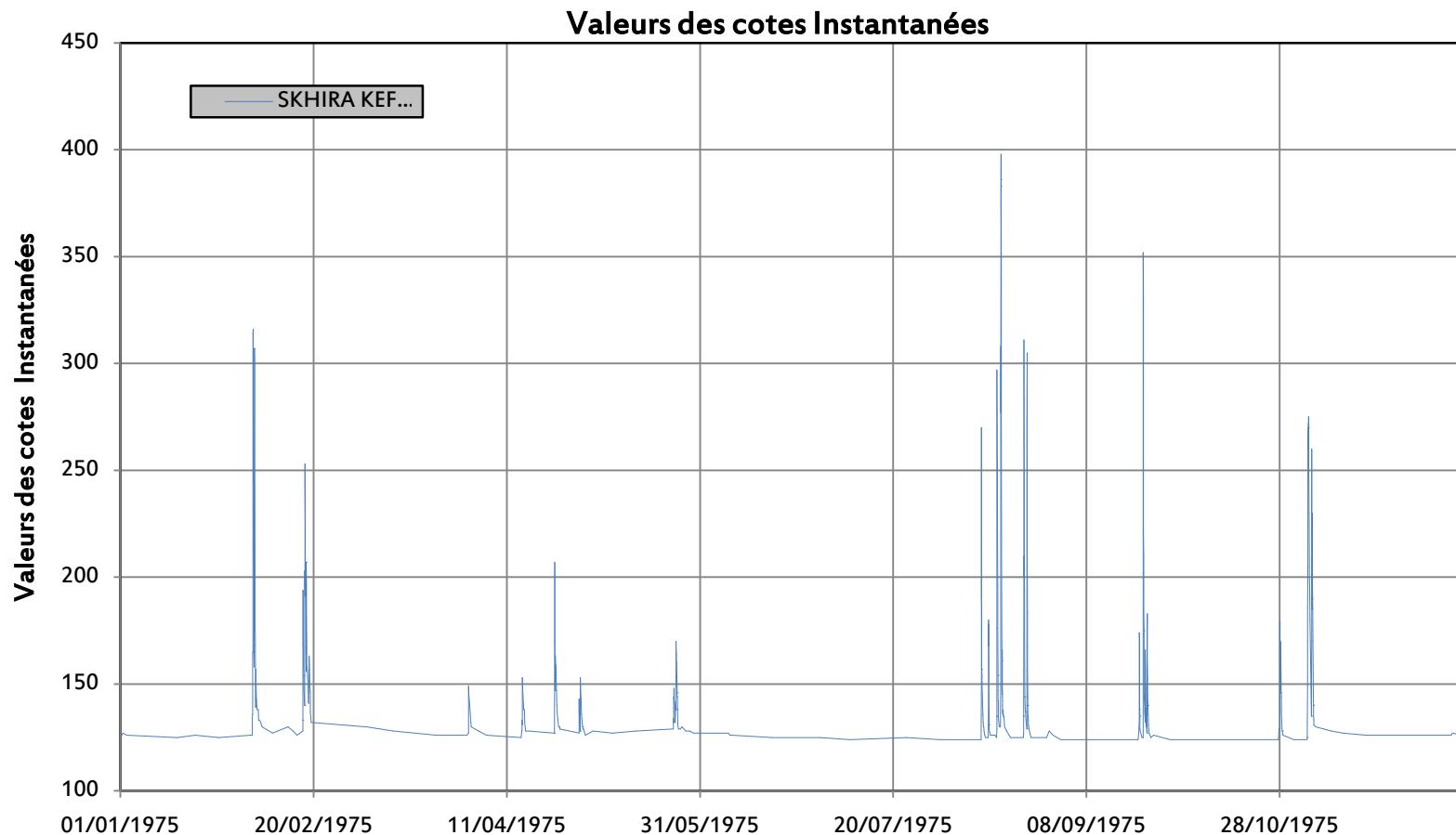
que nous associons à la valeur limnimétrique de l'instant de la mesure



**Les deux variables, limnimétrie et débit,
font référence à la hauteur d'eau .**

**Le travail de l'hydrologue est d'associer ces deux types d'observation et de mesure
pour créer une chronique de débit.**

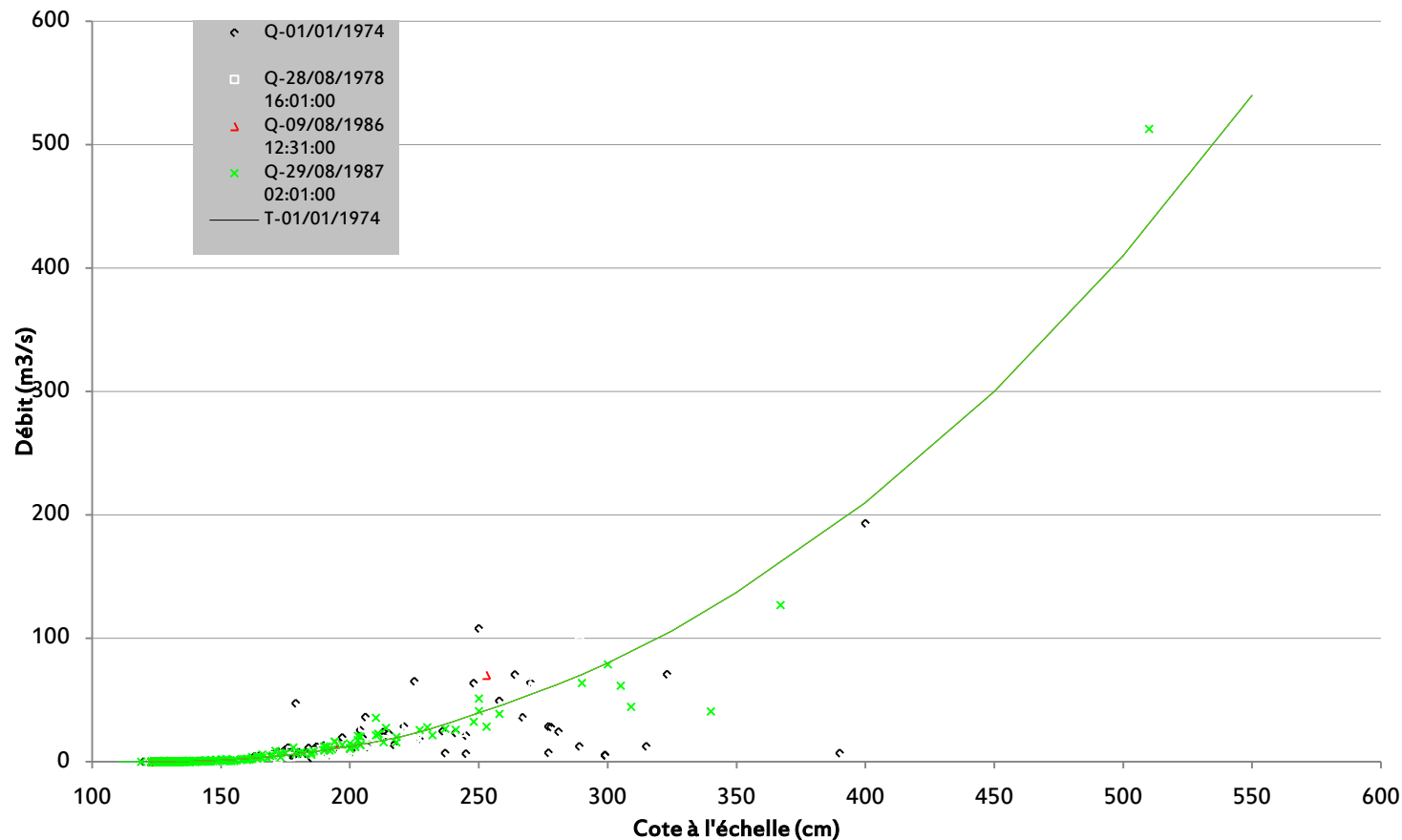
Les deux variables, limnimétrie et débit, font référence à la hauteur d'eau .



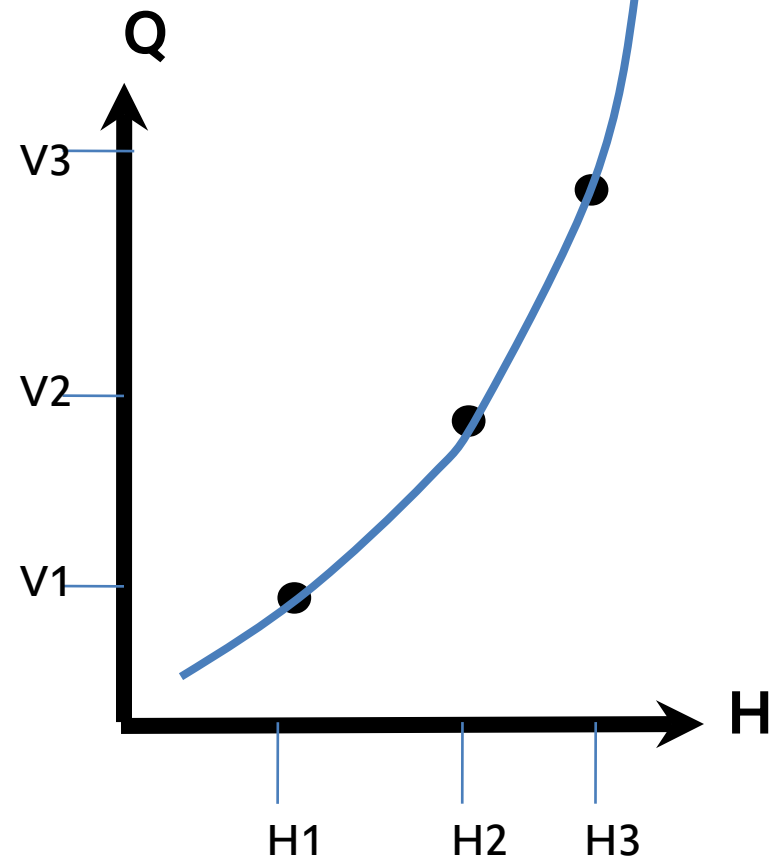
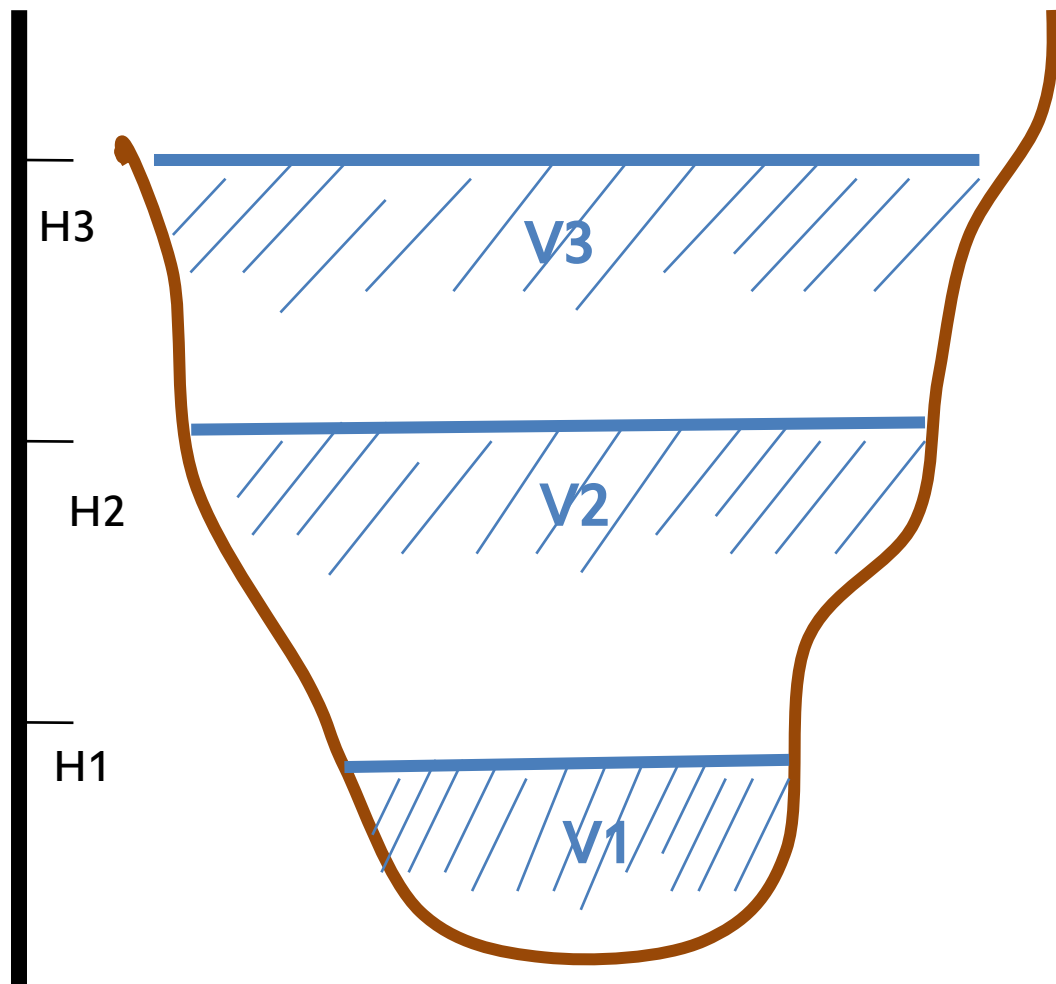
A partir d'observations ponctuelles ou en continue,
nous créons une chronique de hauteur d'eau

Les deux variables, limnimétrie et débit, font référence à la hauteur d'eau .

Station : 1486100340 = SKHIRA KEF LABIED (B 16)
(Kairouannais)



A partir de plusieurs mesures de débit nous établissons une courbe de tarage





**Les deux variables, limnimétrie et débit,
font référence à la hauteur d'eau .**

qui nous permettra d'établir :

Les débits horaires

Les débits journaliers

Les débits mensuels

Les modules annuels



Résumons les étapes de la démarche complexe de l'hydrologie opérationnelle :

- Le choix d'un site pour créer une station hydrologique
- L'appareillage du site pour lire ou enregistrer les niveaux d'eau
- Des mesures de volume
- Création de courbes de tarage à partir des mesures de volume
- Traduction des niveaux d'eau à l'aide de ces courbes

Nous allons disséquer chaque étape pour en identifier les points critiques



- Le choix d'un site pour créer une station hydrologique

Plusieurs contraintes peuvent être prise en compte selon le but de l'étude

une étude de débits écologiques

qui caractérise des éléments vivants en fonction d'un volume
nécessite seulement des prélèvements à des saisons différentes

une étude d'impact pour l'agriculture

des informations sur les minima en fonction des calendriers culturaux

une station de réseau pour le suivi de la ressource

un site pérenne pour des chroniques de très longues durées

il y a aussi des études pour l'énergie (la houille blanche), pour des ouvrages routiers, pour la protection contre les risques naturels, ou simplement pour les loisirs

Ca peut être une contrainte très précise qui imposerait un site précis inadéquat

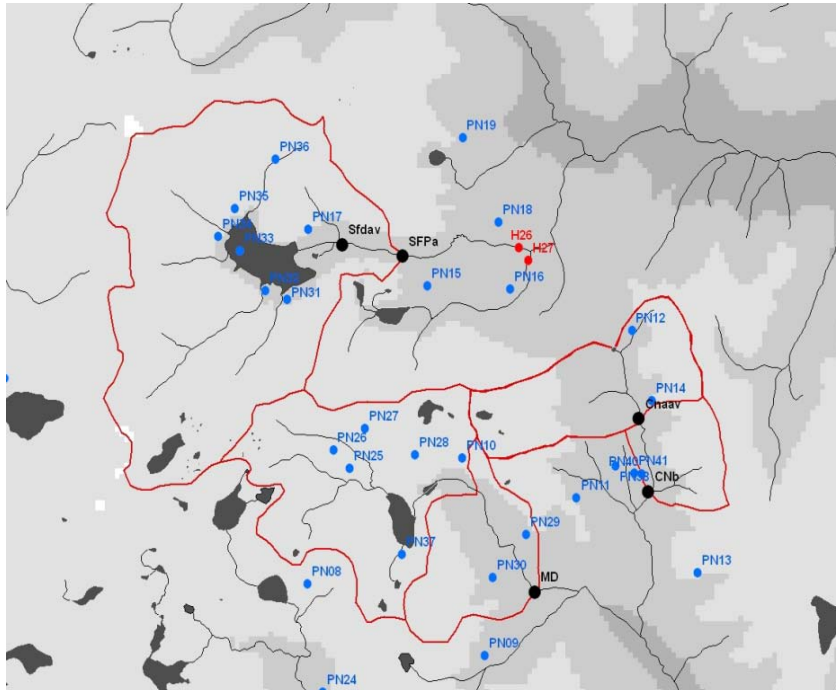
dans ce cas, selon le but de l'étude, il faudra privilégier

_ soit les variations de hauteur

_ soit les débits

Certains sites peuvent être pluri fonctions

A Papallacta dans les Andes de l'Equateur
une étude sur les débits écologiques avec 2 méthodologies distinctes étaient associés
à une étude de gestion et d'impact sur la ressource en eau



Une Zone de « paramo » de très haute altitude :



Si les contraintes ne sont pas trop fortes , les conditions principales idéales sont :

un accès facile et un lieu sécurisé

une portion rectiligne de cours d'eau avec une rugosité « normale »

un flux uniforme

un seuil de contrôle = un seuil naturel ou un ouvrage à l'aval
qui stabilisent le lit de la rivière

La sensibilité = forte variation de hauteur pour faible variation du débit
la facilité de mesurer les débits

Il est souvent difficile d'avoir une section de jaugeage
pour les hautes eaux et les basses eaux

Le primordial étant d'avoir des lectures de hauteur d'eau fiables
avec des mesures de débits de bonne qualité

Mais !... L'idéal existe-t-il ?



un flux uniforme

une portion rectiligne de cours d'eau avec une rugosité « normale »

un accès facile et un lieu sécurisé



Slouguia
Testour
Mejerda Tunisie



un seuil de contrôle

un seuil naturel ou un ouvrage à l'aval qui stabilisent le lit de la rivière





Un site très inadéquat



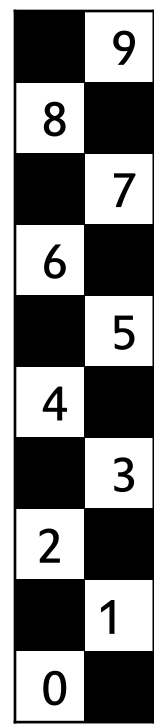


L'appareillage du site pour lire ou enregistrer les niveaux d'eau

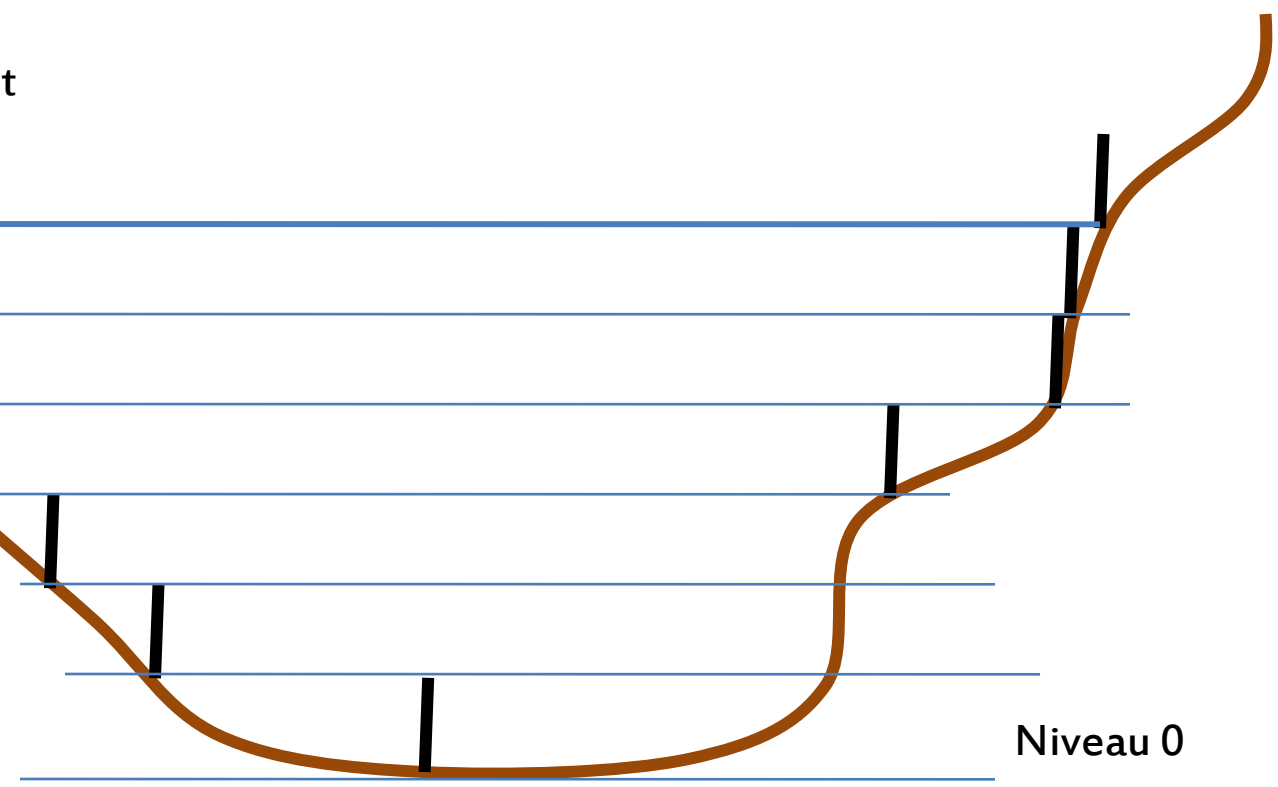
Le minimum indispensable



Borne de rattachement



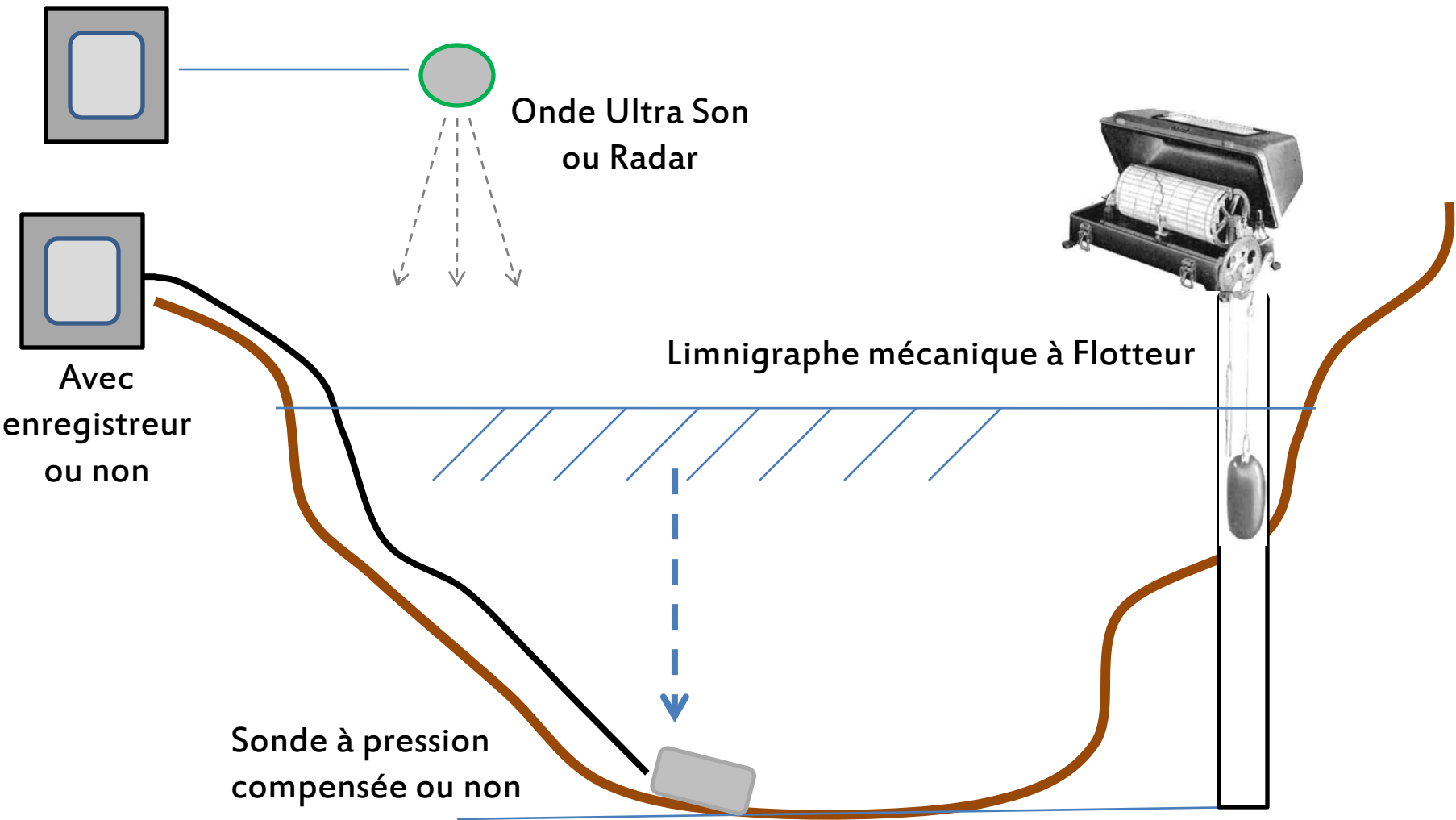
L'échelle limnimétrique



Niveau 0

L'appareillage du site pour lire ou enregistrer les niveaux d'eau

Les enregistreurs





Les erreurs courantes en limnimétrie

Erreurs humaines

Dans le cas d'un observateur :

- _ de lecture directe
- _ de transcription

Dans le cas d'un enregistreur à bande :

- _ d'écriture des dates et hauteur de départ ou de fin

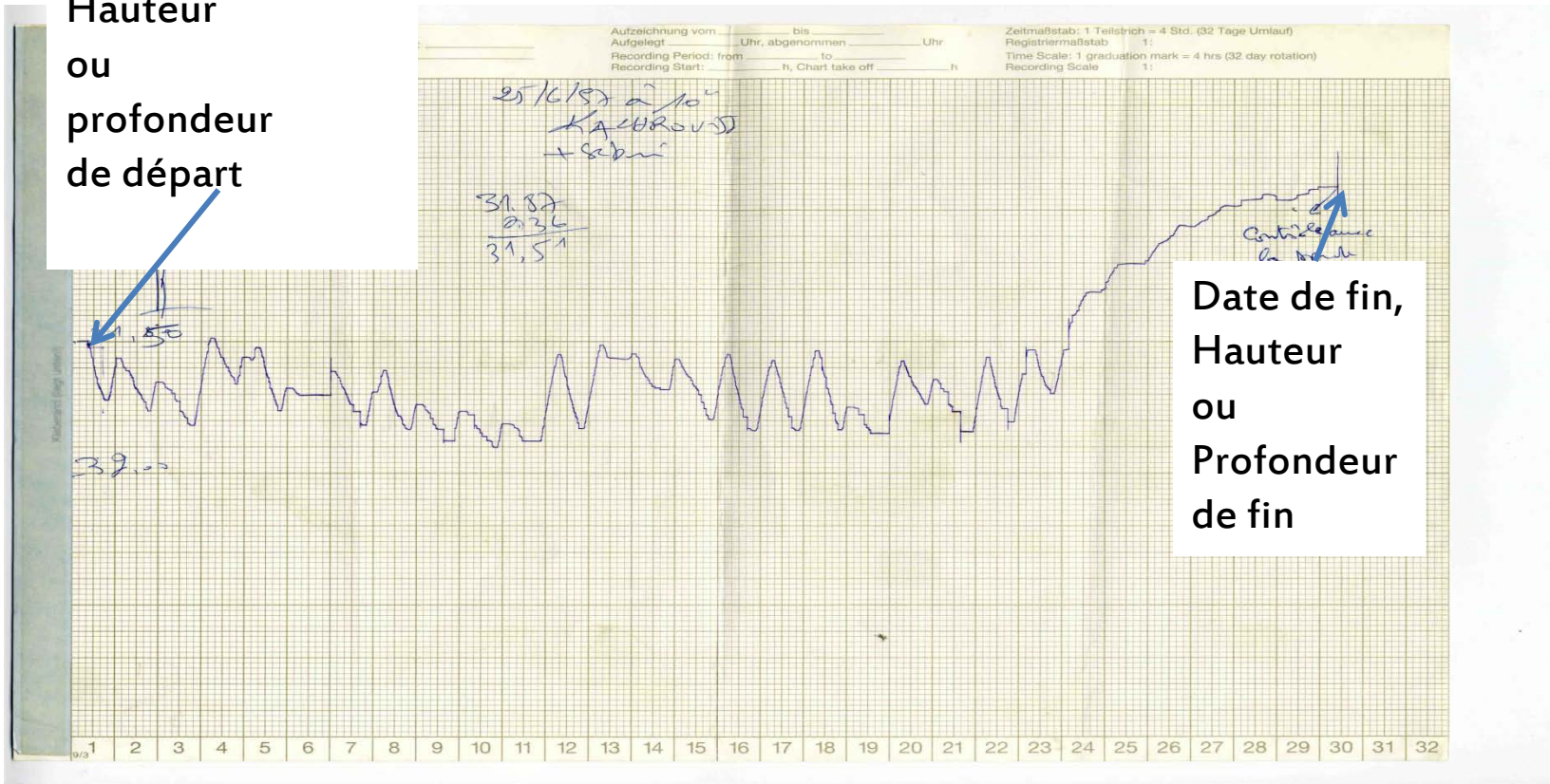
Erreurs matériels

Dans le cas d'un enregistreur à bande ou d'enregistreur automatique

- _ flotteur bloqué dans la boue (similaire à un pluviographe bouché)
- _ dérive de hauteur due à la sonde
- _ dérive de temps
- _ changement d'appareillage

Bande enregistrée de limnigraphe mécanique

Date de départ,
Hauteur
ou
profondeur
de départ



Date de fin,
Hauteur
ou
Profondeur
de fin

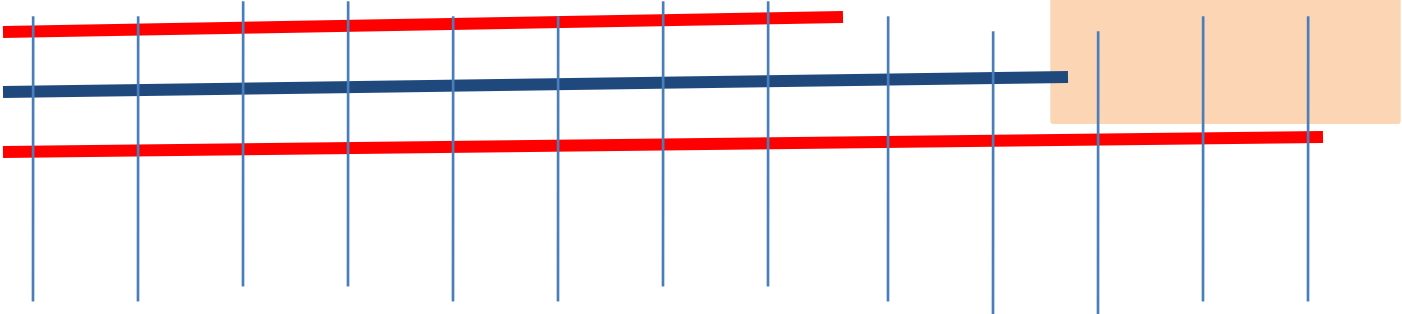


Cas du dépouillement manuel d'un limnigramme



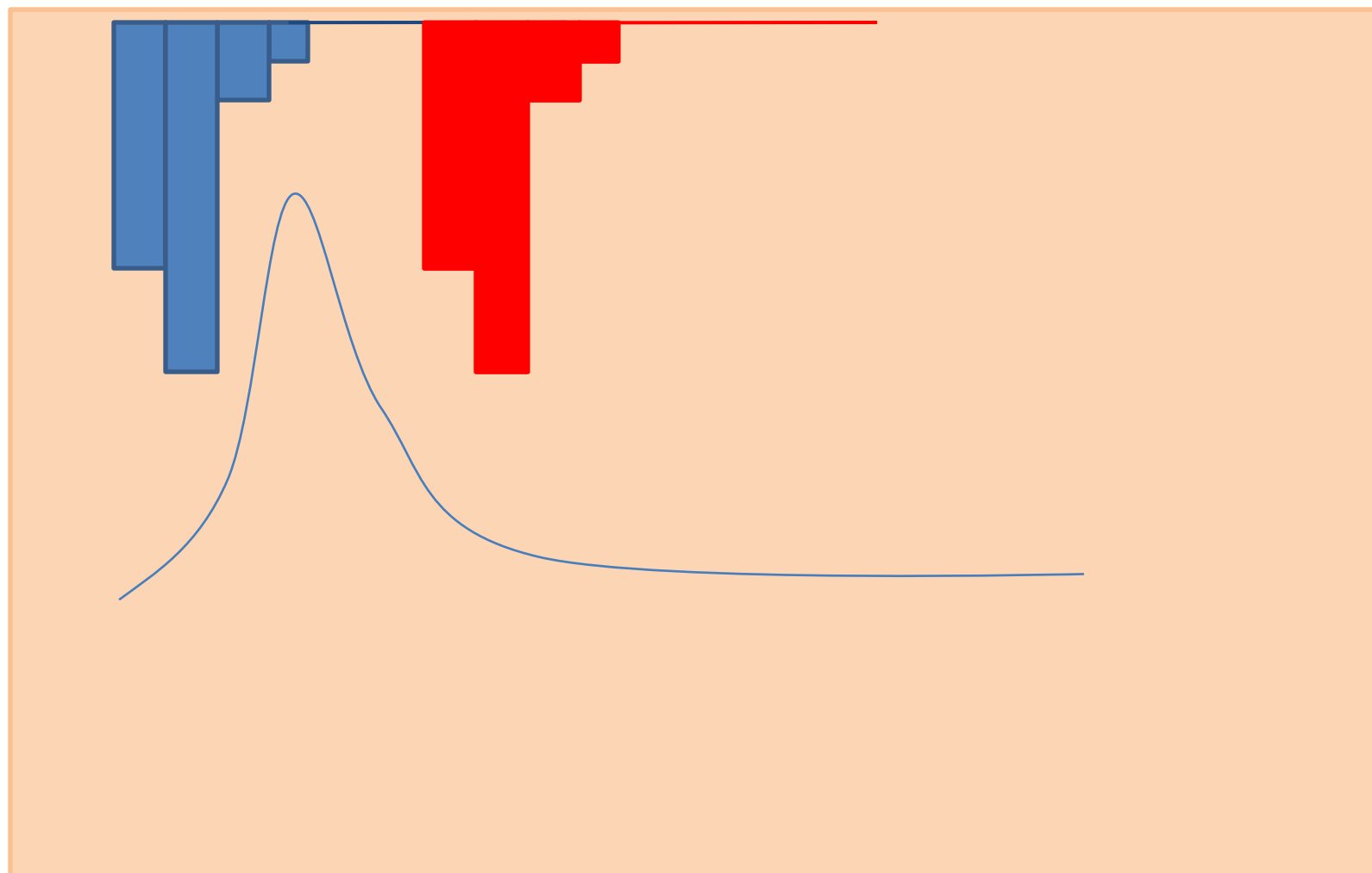
 T départ

 T fin



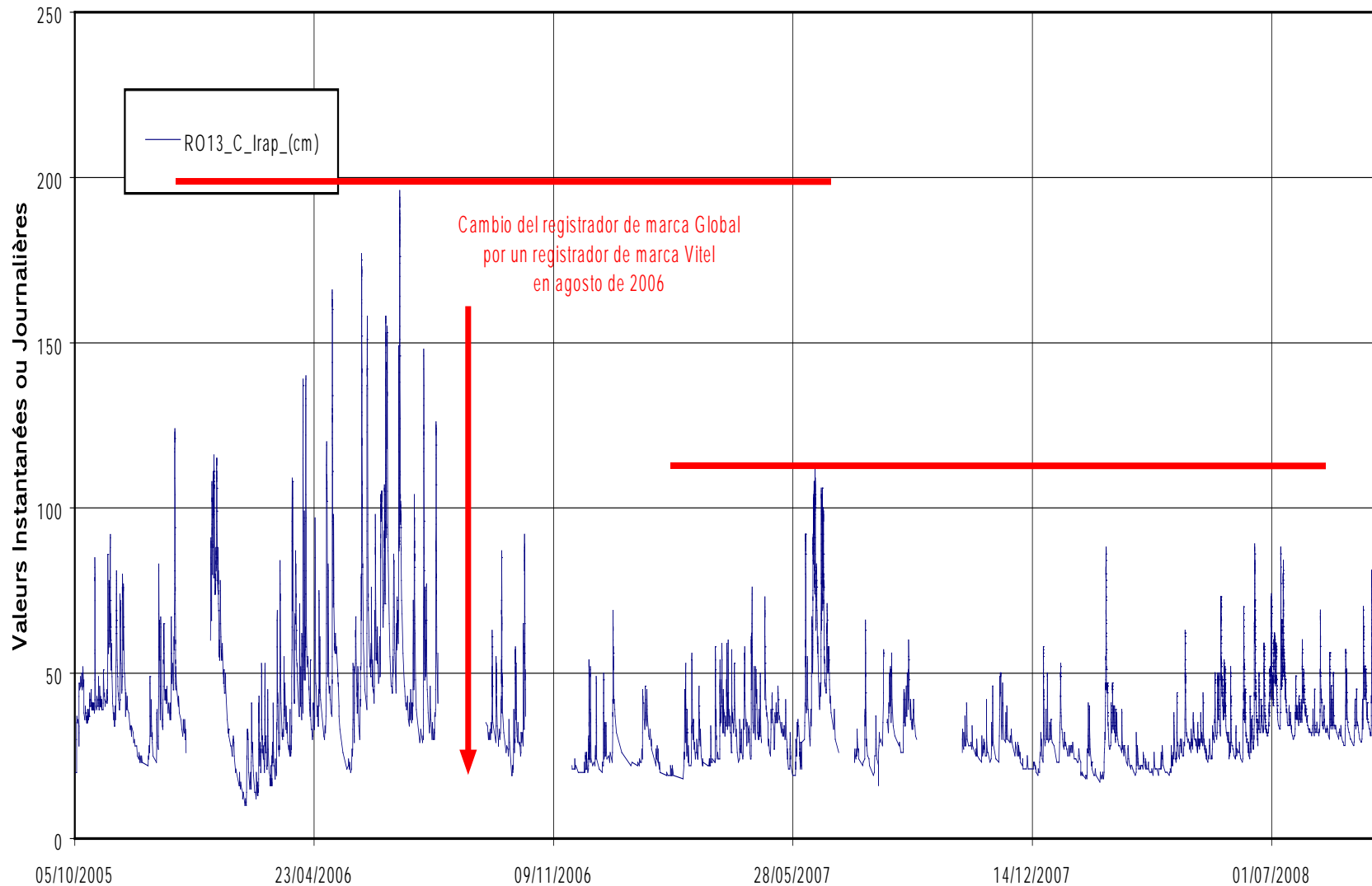


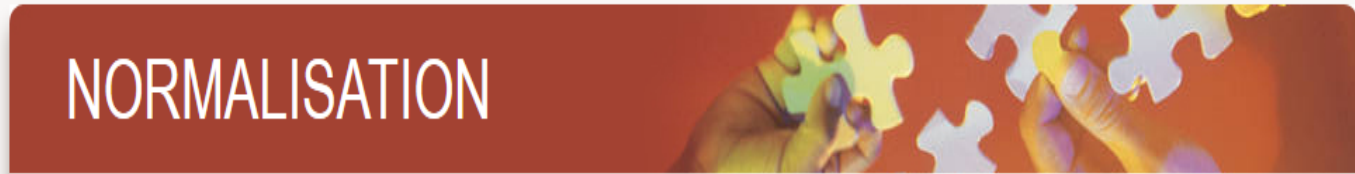
La pluie doit précéder la crue



La fiabilidad des appareils automatiques (sonde à pression)

Grafico de las cotas instantaneas en la estacion R013 de Chalpi Grande





► Panorama

CoS - Environnement et responsabilité sociale Toutes les commissions de normalisation et leur programme

Commissions (5)

VIBRATION ET ENVIRONNEMENT

- Filtrer par domaine
- ACOUSTIQUE
- AUTOMOBILE - MOTOCYCLE- VEHICUL. ELECT.
- BIOSURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT
- CAPTAGE TRANSPORT STOCKAGE GEOLOGIQUE CO2
- COORDINATION METHODES D'ANALYSE
- DECHETS
- ECLAIRAGISME
- ECO ENTREPRISE
- EVALUATION RISQUES CHIMIQUES COMPETENCES DES EVALU
- MANAGEMENT DE L'ENVIRONNEMENT
- MESURE DE LA RADIOACTIVITE DANS L'EAU
- PF AFFICHAGE ENVIRONNEMENTAL
- PRODUITS ET MATERIELS ANTI POLLUTION
- QUALITE DE L'AIR
- QUALITE DES SOLS
- RESPONSABILITE SOCIALE
- TRANSPARENCE DE L'AFFICHAGE SOCIAL
- VIBRATION ET ENVIRONNEMENT**

► ISO/TC 108/WG 024 Évaluation des conditions relatives aux systèmes structuraux à partir de mesurages de la réponse dynamique

Démarrer

Internet Explorer

Skype

OneDrive

Windows Defender

Word

11:17
jeudi
26/02/2015



Environmental Technology Verification : ISO/TC 207/SC 004/WG 005

Programme de normalisation : CoS Environnement et responsabilité sociétale

Domaine : MANAGEMENT DE L'ENVIRONNEMENT

Information

AFNOR assure le secrétariat du ISO/TC 207/SC 004/WG 005.

Cette responsabilité internationale assurée par AFNOR consiste à :

Organiser, piloter et animer les travaux de normalisation internationaux

Coordonner les relations avec les instances et les acteurs internationaux(fédérations professionnelles, institutions inter-gouvernementales, ...)

Coordonner les relations avec les instituts de normalisation des différents pays et le réseau mondial d'experts



Nous sommes l'ISO, l'Organisation internationale de normalisation.
Nous établissons et publions des Normes internationales.

Les normes les plus connues

[ISO 9000](#) **Management** de la qualité

[ISO 14000](#) **Management** environnemental

[ISO 3166](#) Codes des pays

[ISO 26000](#) Responsabilité sociétale

[ISO 50001](#) **Management** de l'énergie

[ISO 31000](#) **Management** du risque

[ISO 22000](#) **Management** de la sécurité des aliments

[ISO 27001](#) **Management** de la sécurité de l'information

[ISO 20121](#) L'événementiel pour un développement durable

Etalonnage de l'instrument



La barre de l'[alliage](#) de [platine-iridium](#) utilisée comme étalon du mètre de [1889](#) à [1960](#).

(wikipédia)

Temps

Distance

Poids et masse

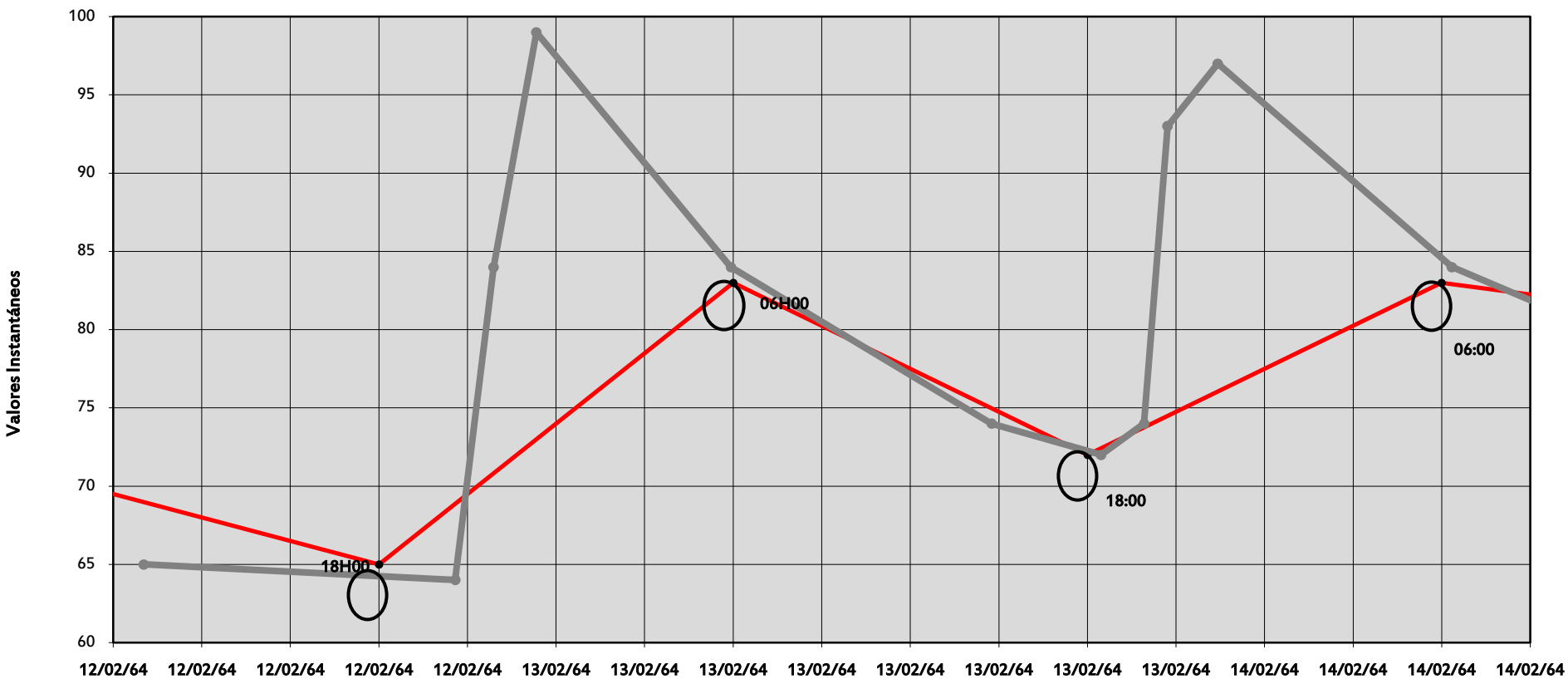
Le **Système international d'unités** (abrégé en **SI**), inspiré du **système métrique**¹, est le [système d'unités](#) le plus largement employé au monde. Il s'agit d'un [système décimal](#) (on passe d'une unité à ses multiples ou sous-multiples à l'aide de puissances de 10) sauf pour la mesure du temps. C'est la [Conférence générale des poids et mesures](#), rassemblant des délégués des États membres de la [Convention du Mètre](#), qui décide de son évolution, tous les quatre ans, à [Paris](#)². L'abréviation de « Système International » est **SI**, quelle que soit la langue utilisée³.



Choix du mode de relevé selon le type de régime du cour d'eau

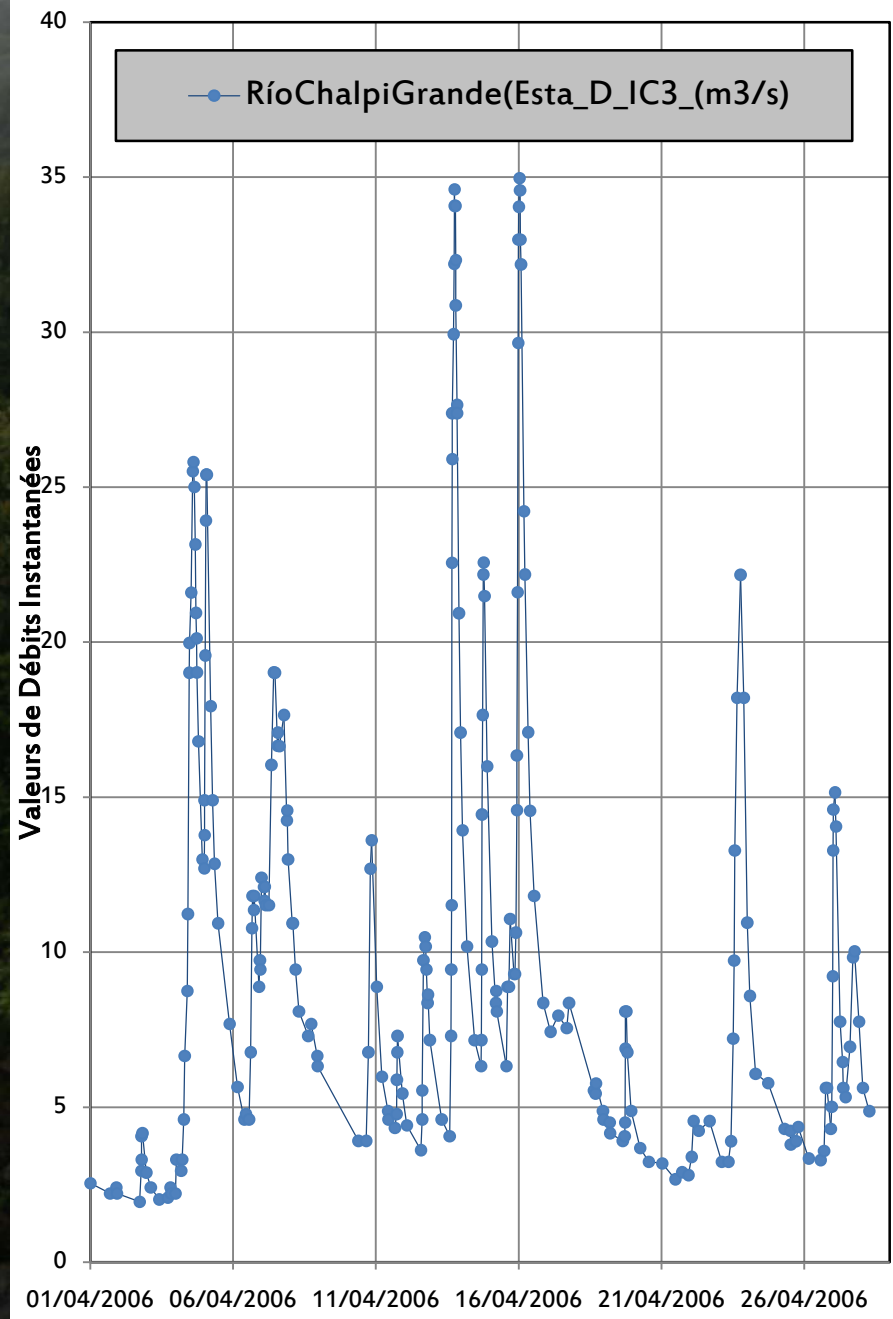
Le pas de temps

Diferencia de sensibilidad segun los modos de adquisición de datos
Valores Instantáneos de cotas: Estación H143, Granobles A. J. Guachala



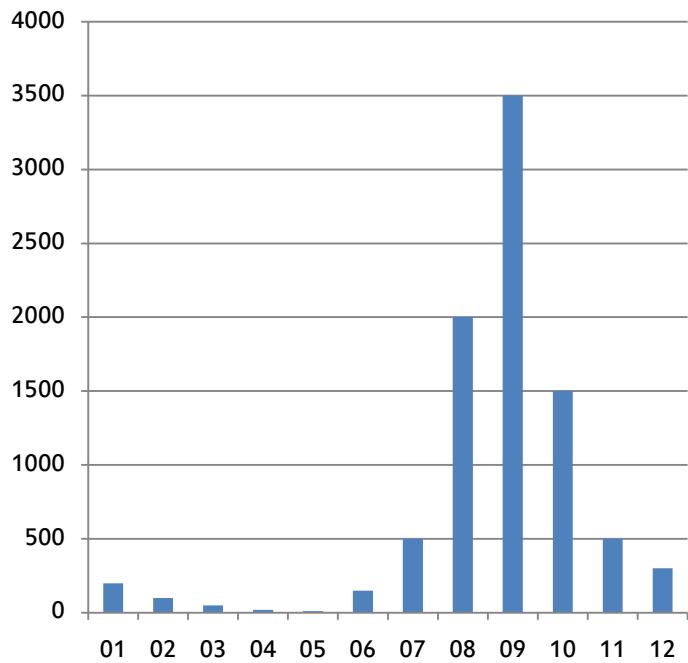


Valeurs de Débits Instantanées





Le fleuve Sénégal à Bakel
module interannuel



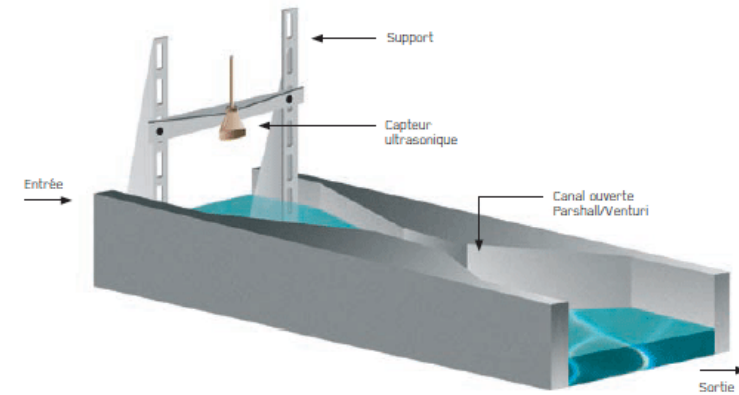


La mesure des débits

Le choix de la section avec un profil le plus stable possible



Station «canal émergence» à El Haouareb



Canal Venturi / Parshall

Ce style d'installation n'est pas possible partout



Le concept des radiers a ses limites

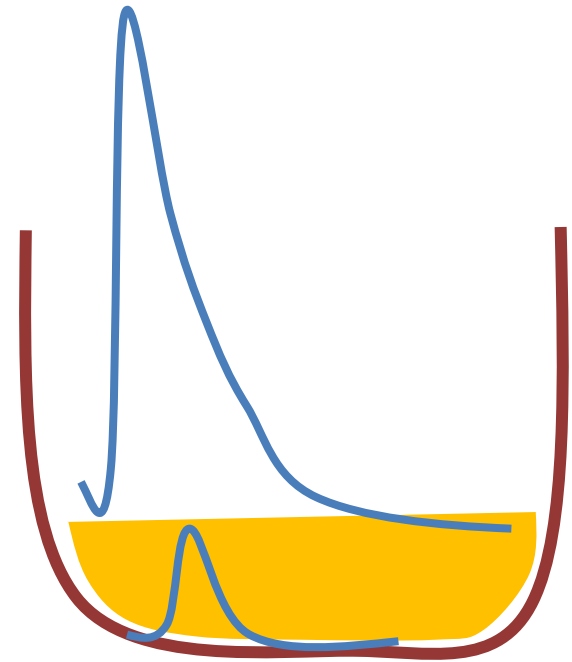


La station sur la rivière « Vieux Habitants » sur l'île de la Guadeloupe

Il vaut mieux privilégier un site stabilisé naturellement



Les contraintes imposent parfois des sites compliqués

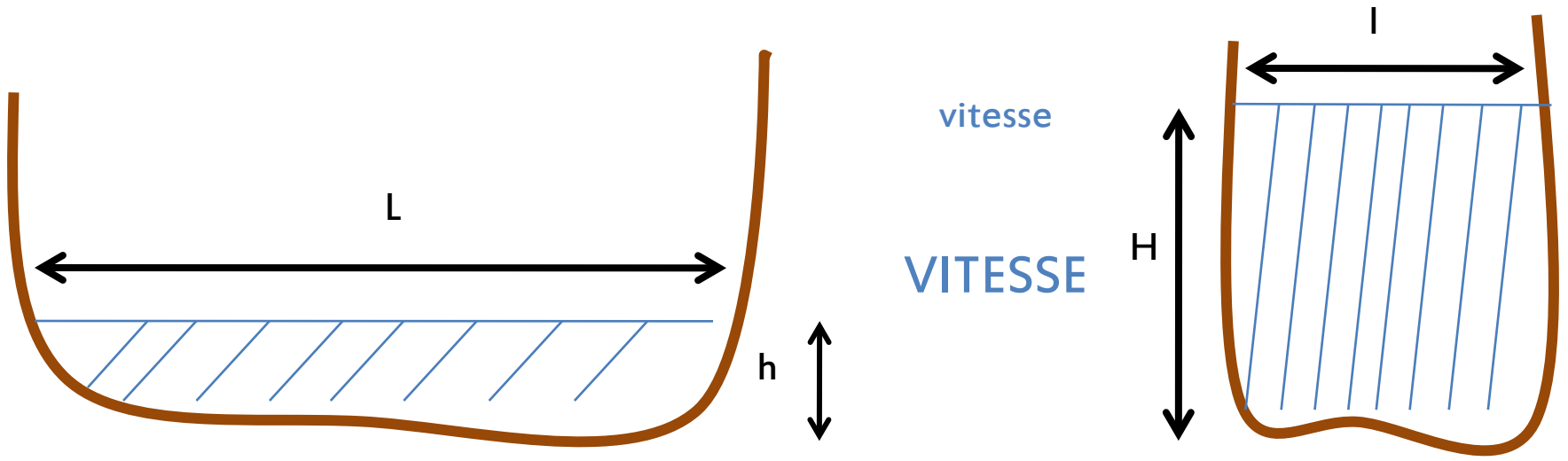


Les contraintes impliquent un travail de terrain et de traitement plus rigoureux





La sensibilité



Papallacta, Chalpi, Equateur



Cochabamba, Bolivie

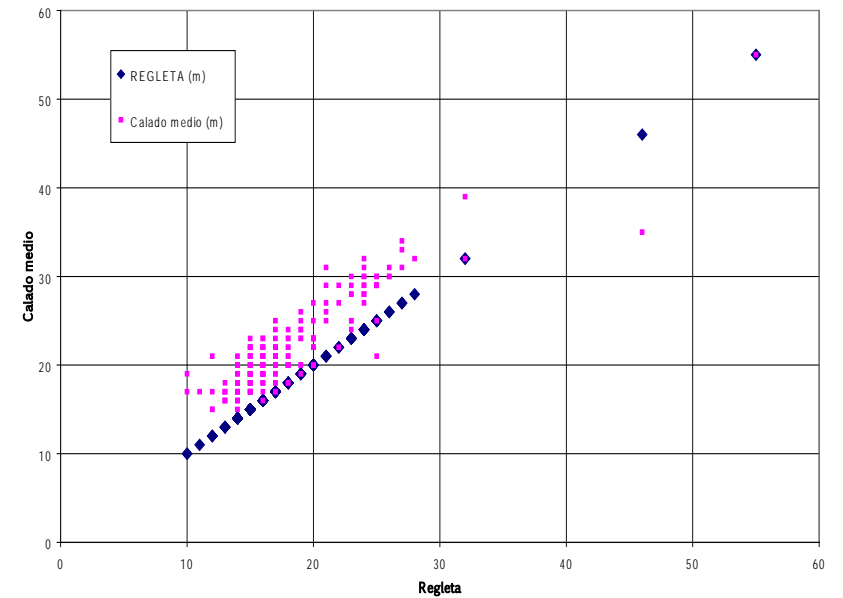
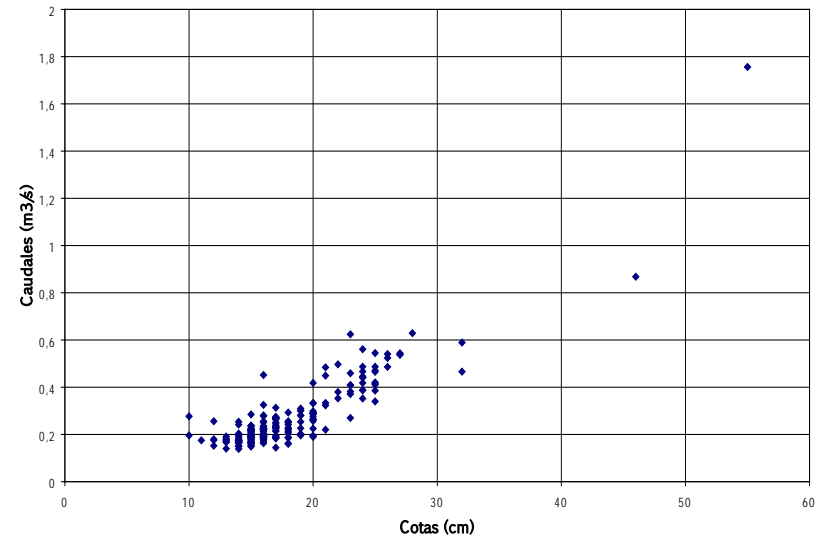


La sensibilidad



Station Humbolt, Glacier Antizana
Equateur

Aforos de la Estación: MS21 = Río Antisana Alto



Milieu vaut privilégié des sites naturels





La mesure de débit, le jaugeage

Un jaugeage s'effectue :

soit à pied

soit en bateau

soit par transporteur aérien

Selon le site il sera conditionné par

La profondeur

La largeur

La vitesse

Particulier :

soit aux flotteurs

soit par dilution ou chimique

La profondeur permettra ou non le jaugeage à pied

La largeur définira le mode de repérage sur la section

La vitesse permettra ou non le jaugeage a pied et/ou en bateau

Les fortes vitesses obligent le transporteur aérien

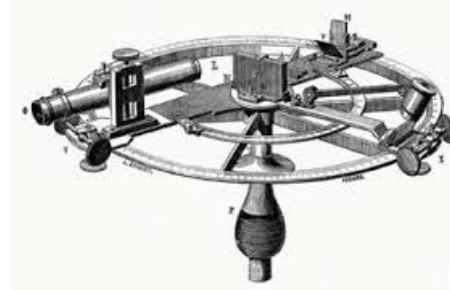


Le matériel de base

Se positionner sur la section



Un double décamètre



Un cercle ou sextant

? GPS ?

mesurer la vitesse





La mesure de la vitesse

Les instruments les plus pratiqués



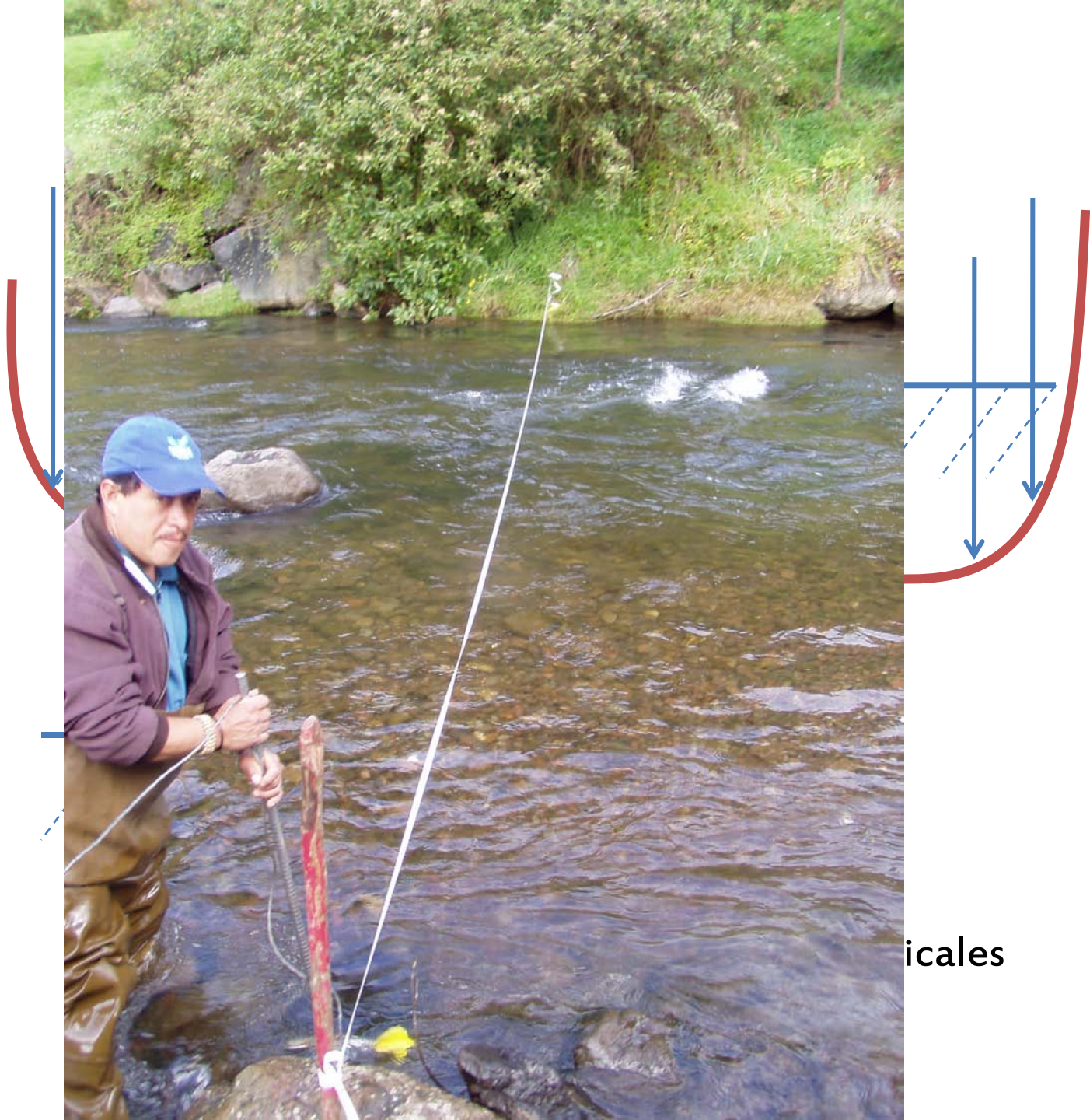
Le moulinet, monte sur perche
ou sur saumon



L' ADCP
Acoustic Doppler Current Profiler



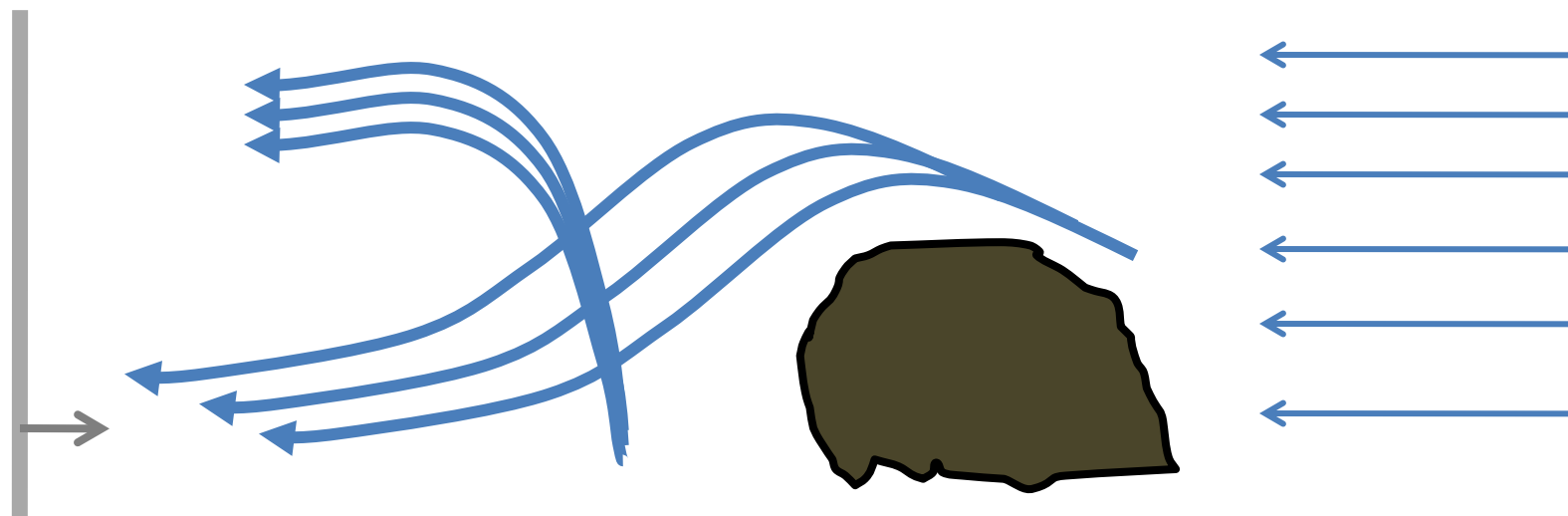
L' Appareil à induction magnétique



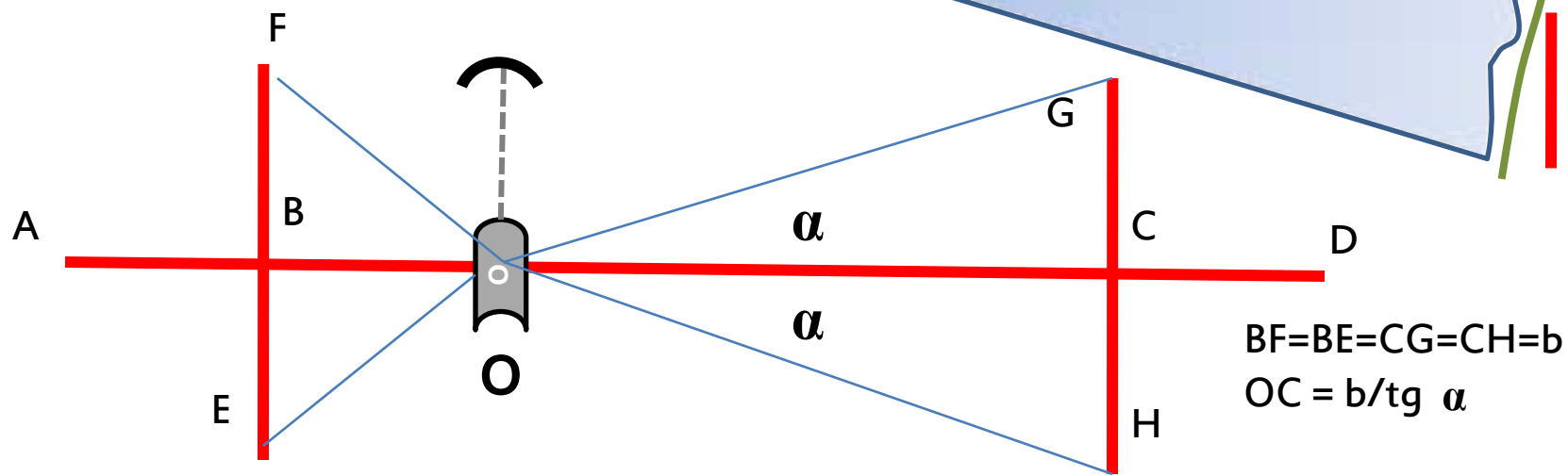
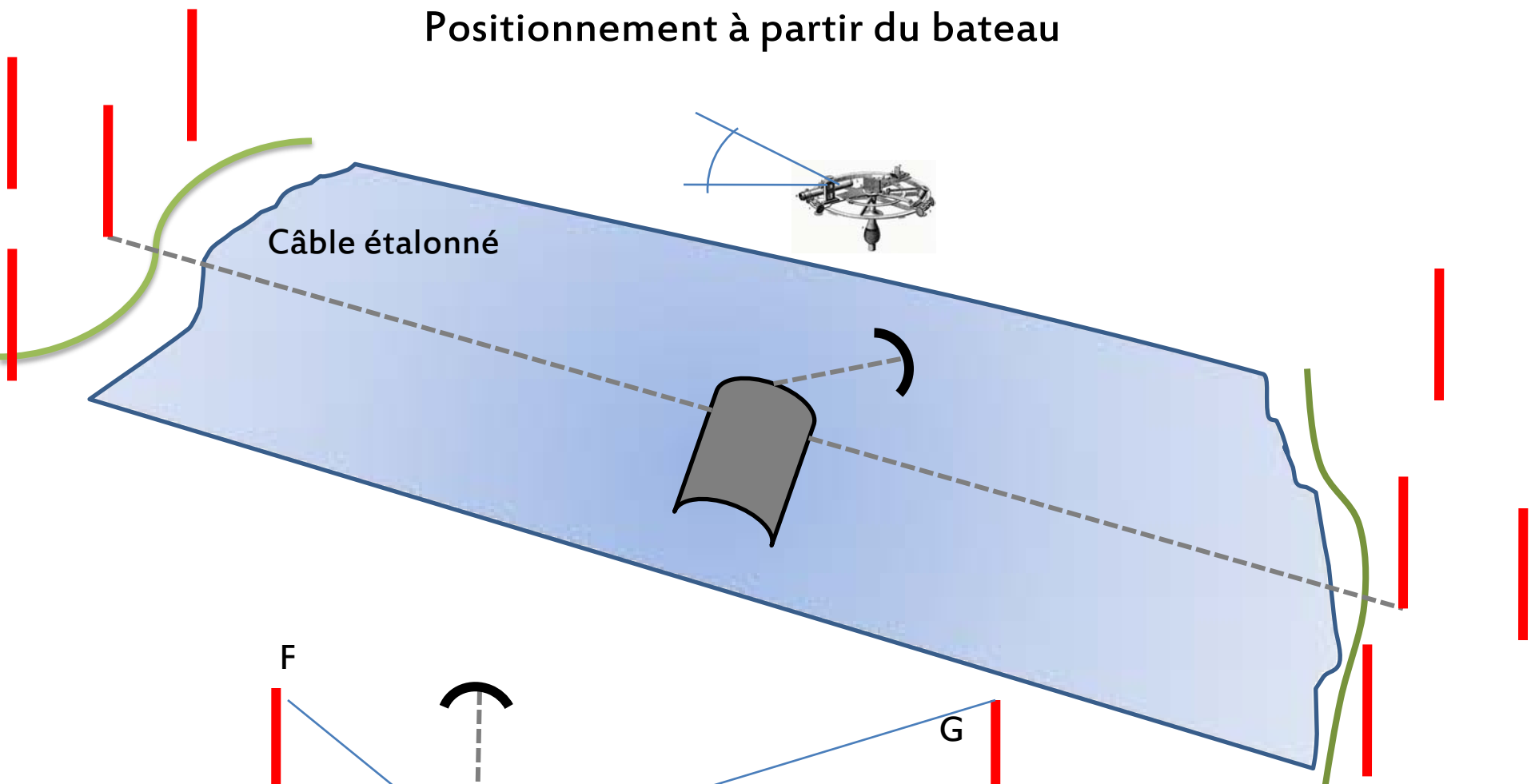
icales



Selon la configuration amont et aval de la rivière
les profils de vitesse peuvent varier



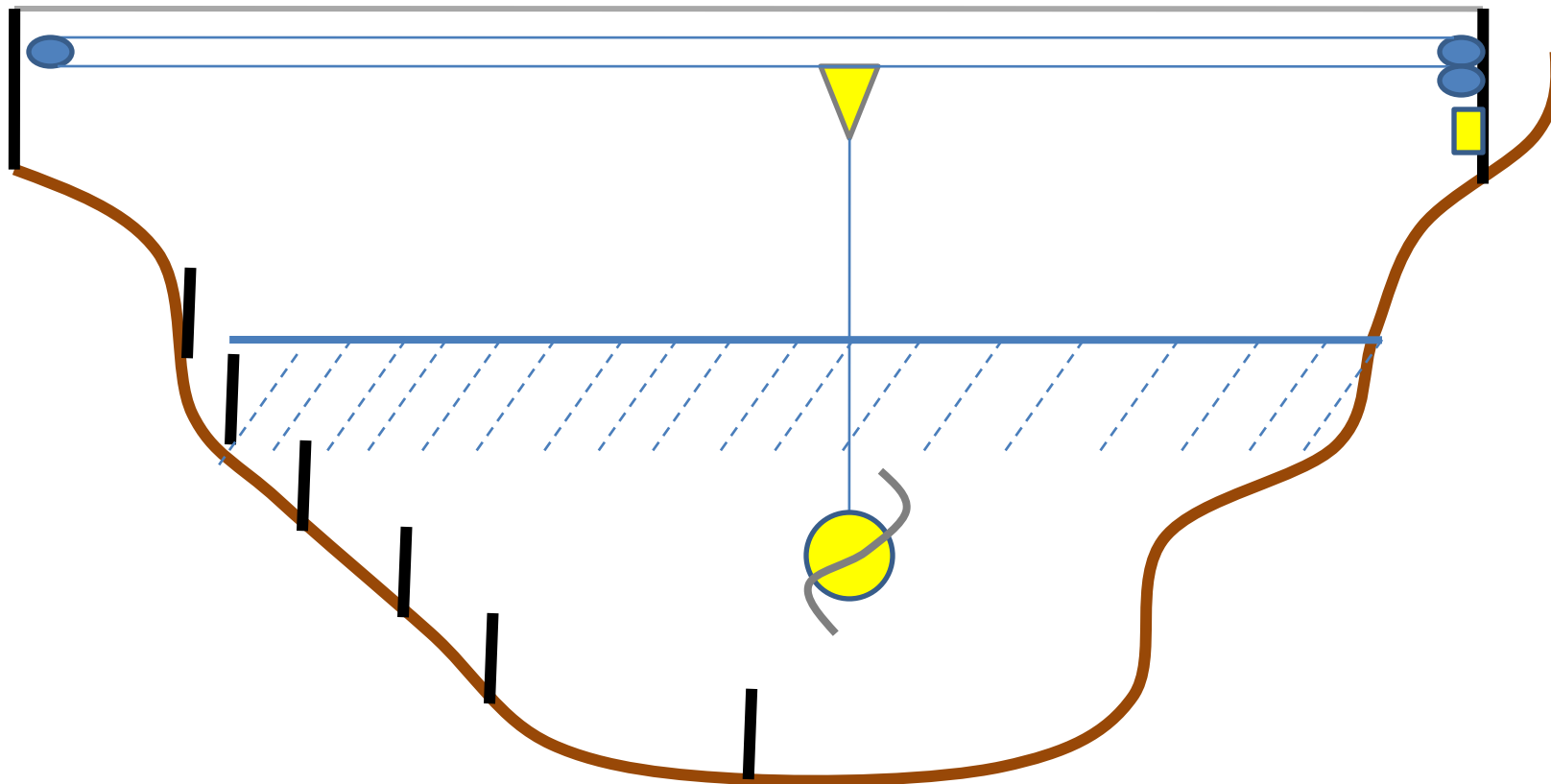
Positionnement à partir du bateau







Transporteur aérien



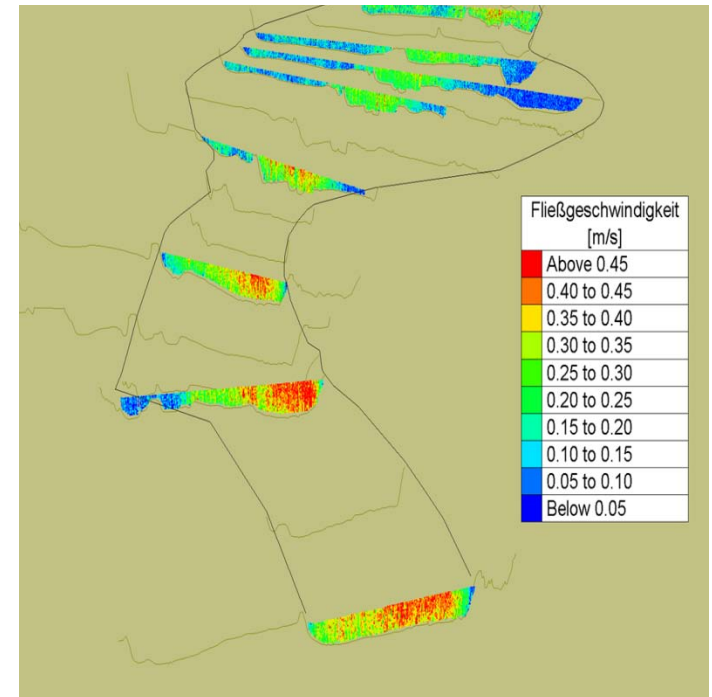
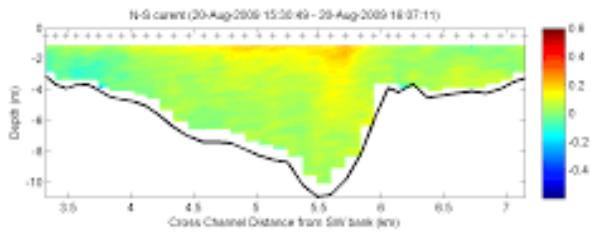
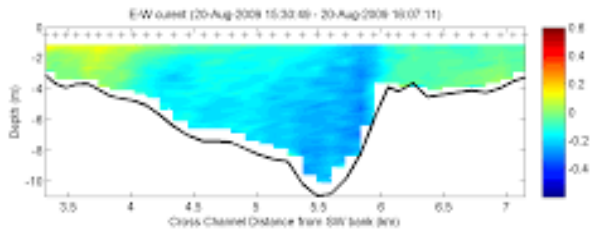
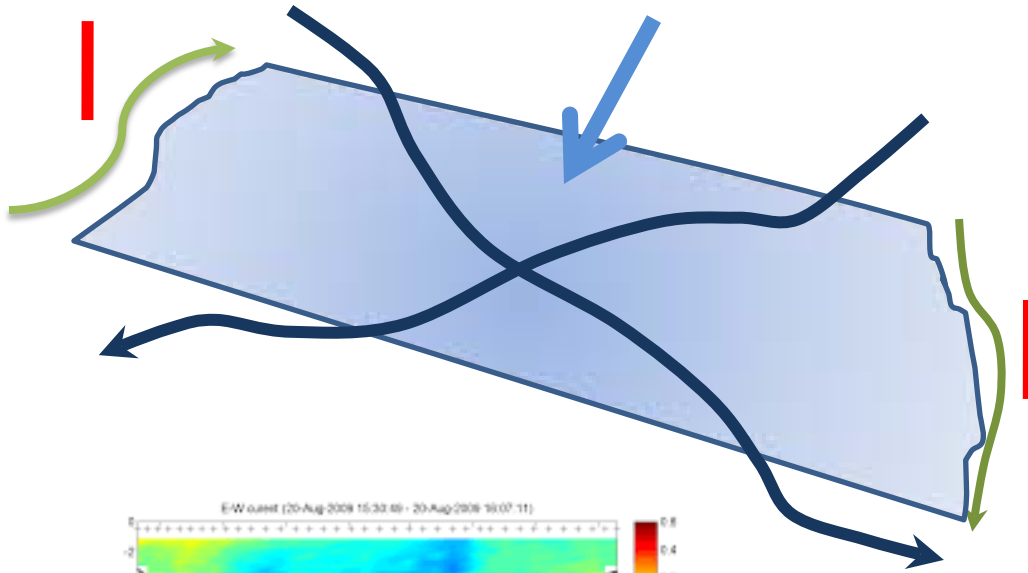


Station de Haffouz, Merguellil, Tunisie



Jaugeage à l'ADCP

Limites :
Vitesse : 2m/s
Turbulence
Fond





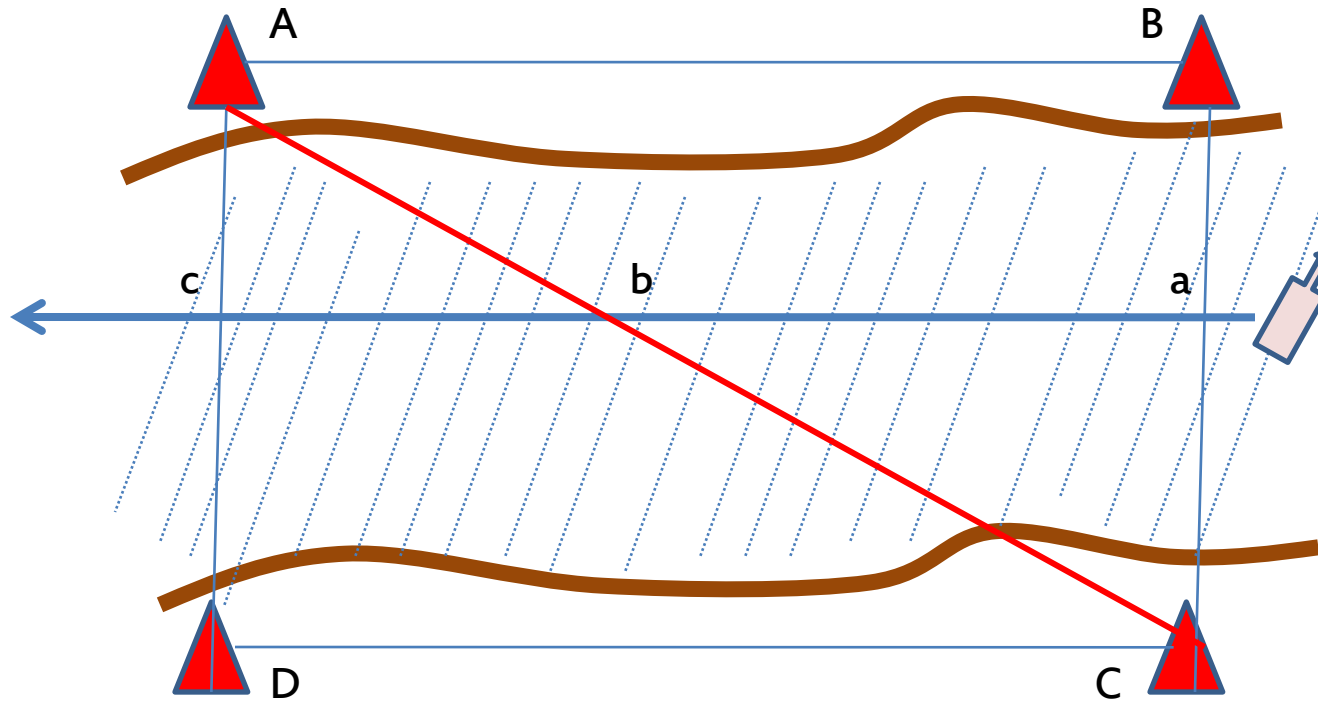
SoloStocks



Jaugeage aux flotteurs pour les mesures de vitesse de surface



Double Chronométrage : t de ab et T de ac



u = vitesse du flotteur ; T = temps pour parcourir ac ; t = temps pour parcourir ab

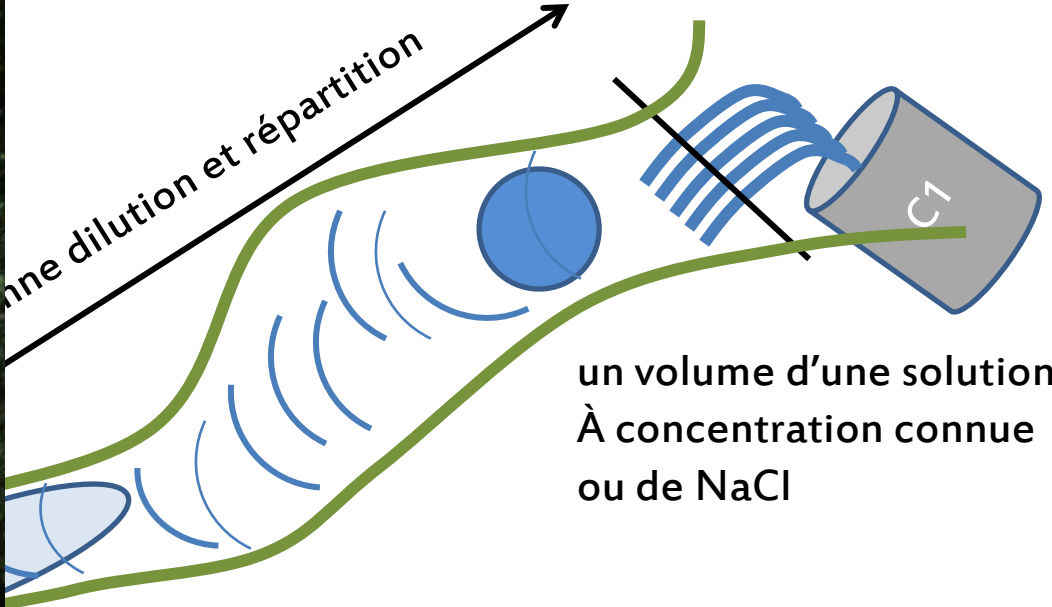
$$u = ac/T = AB/T$$

$$ab = AB \cdot (ac/BC) = ut$$

$$Ca = ut \cdot (BC/AB) = BC \cdot (T/t)$$



chimique ou par dilution



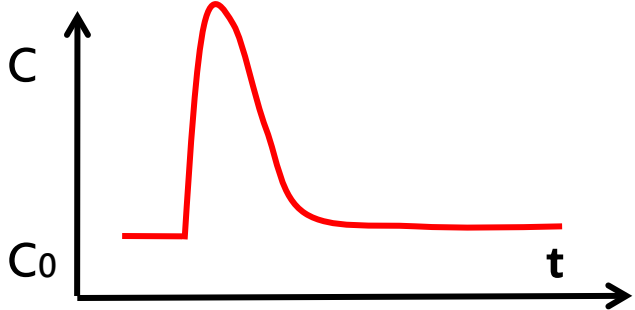
C_1, \dots, C_n



t_1, \dots, t_n

élevements

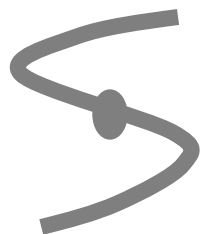
conductivimètre





Pour mesurer les vitesses

Pour toute la gamme de 0.05 à 10 m/s : les hélices



v

v

v

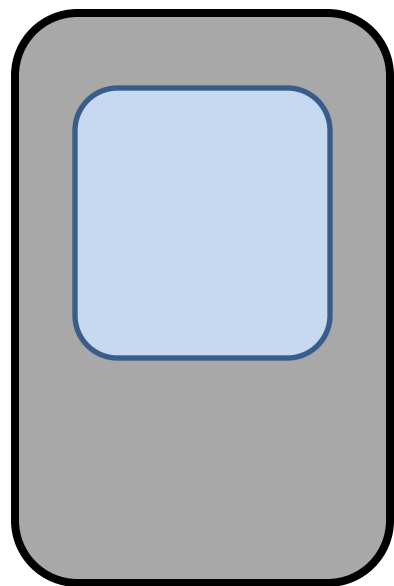
v

V



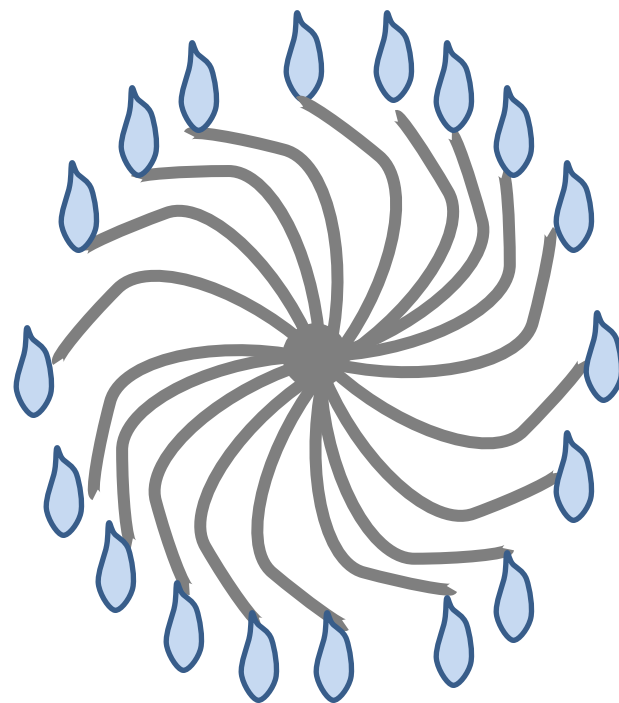
De, 0.05 m par tour d'hélice

A, 1 m par tour d'hélice



Compteur d'impulsions :

En général 10 impulsions seconde





Les formules d'hélice

$$V \text{ (m/s)} = an + b$$

V = vitesse

n = nombre de tour

a = le pas de l'hélice

b = vitesse de frottement en m/s

Pour $n < 30$, $V = 0.2473 n + 0.0075$

Pour $n > 30$, $V = 0.2506 n + 0.0050$

Pour une même hélice on peut avoir des formules différentes selon :

Qu'elle est montée sur perche

Qu'elle est montée sur saumon ou suspendue

Selon le nombre de tours : par exemple < 30 ou ≥ 30

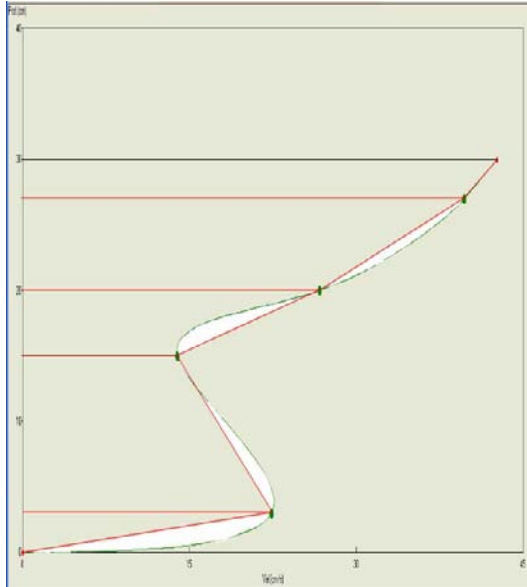
Le tarage d'une hélice coute environ 800€

Pour une mesure approximative

on peut n'utiliser que le pas

qu'on déduira de la forme de l'hélice

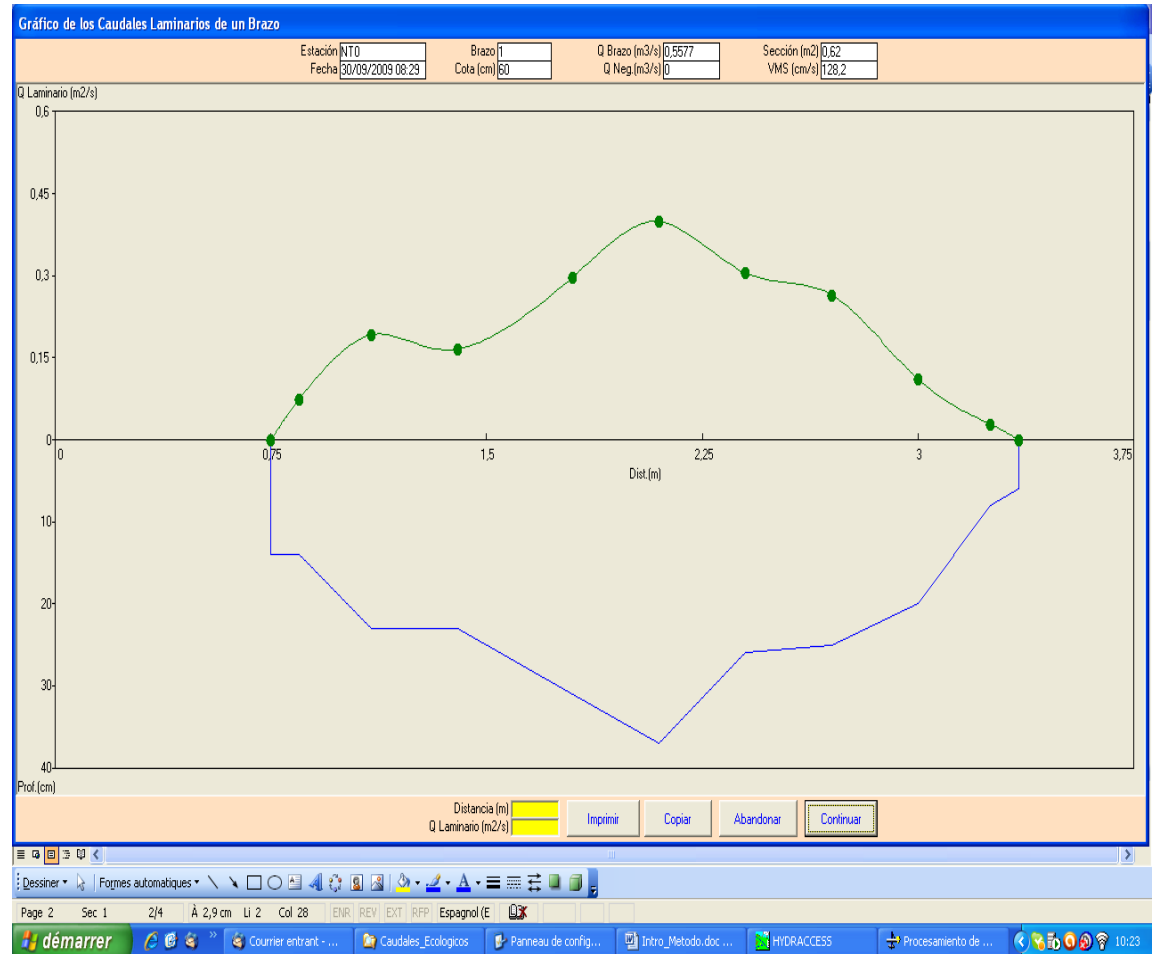
Le dépouillement du jaugeage



Profil de vitesse :

Trapèze
Ou
Spleen

Planimètre
ou
Automatique



L'intégration de l'ensemble des valeurs de terrain



Traitement des données hydrologiques

Terrain

Cotes

Jaugeages

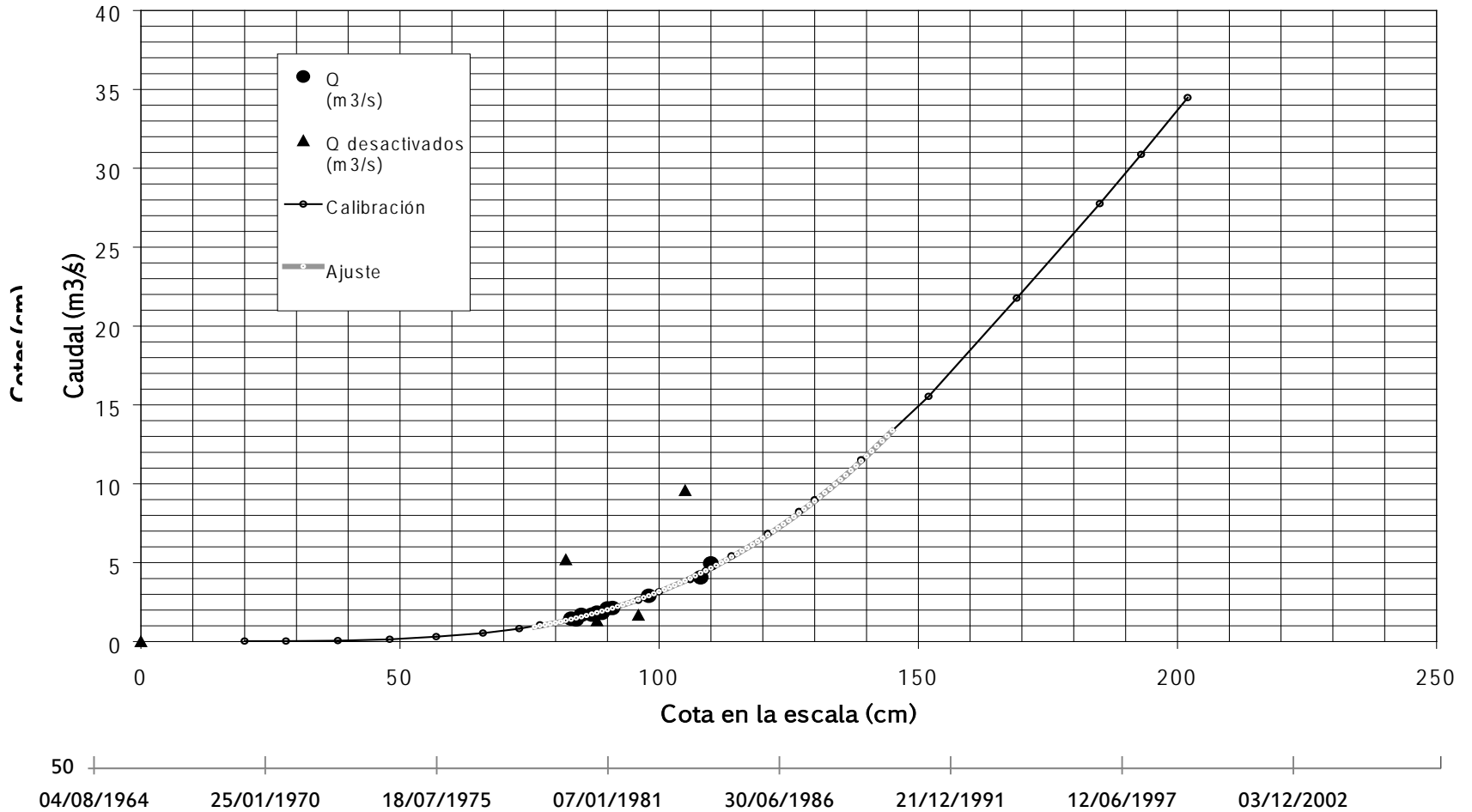
Laboratoire

Courbes de tarage

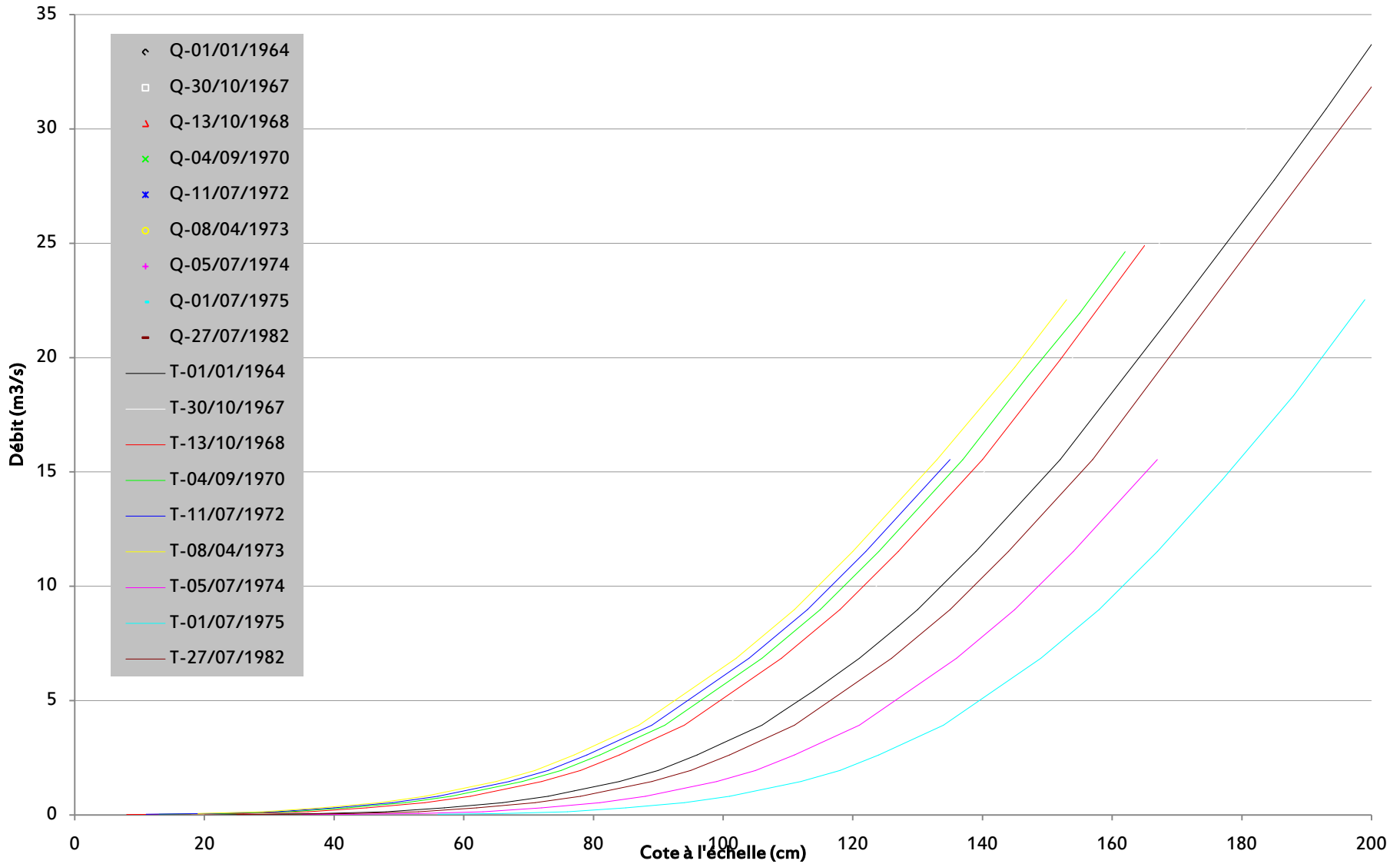
Traduction

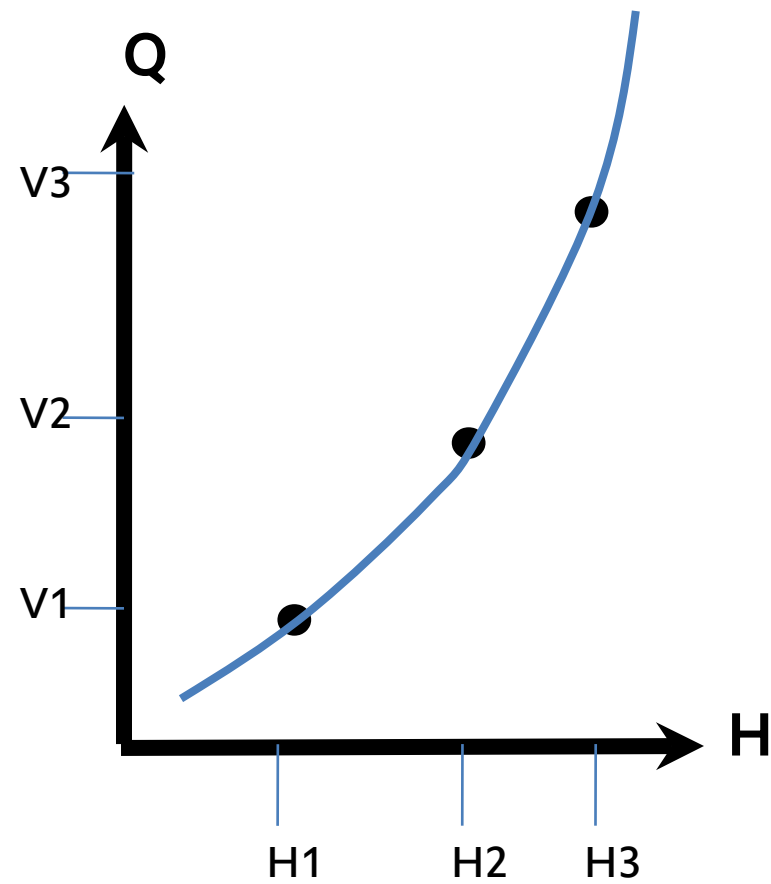
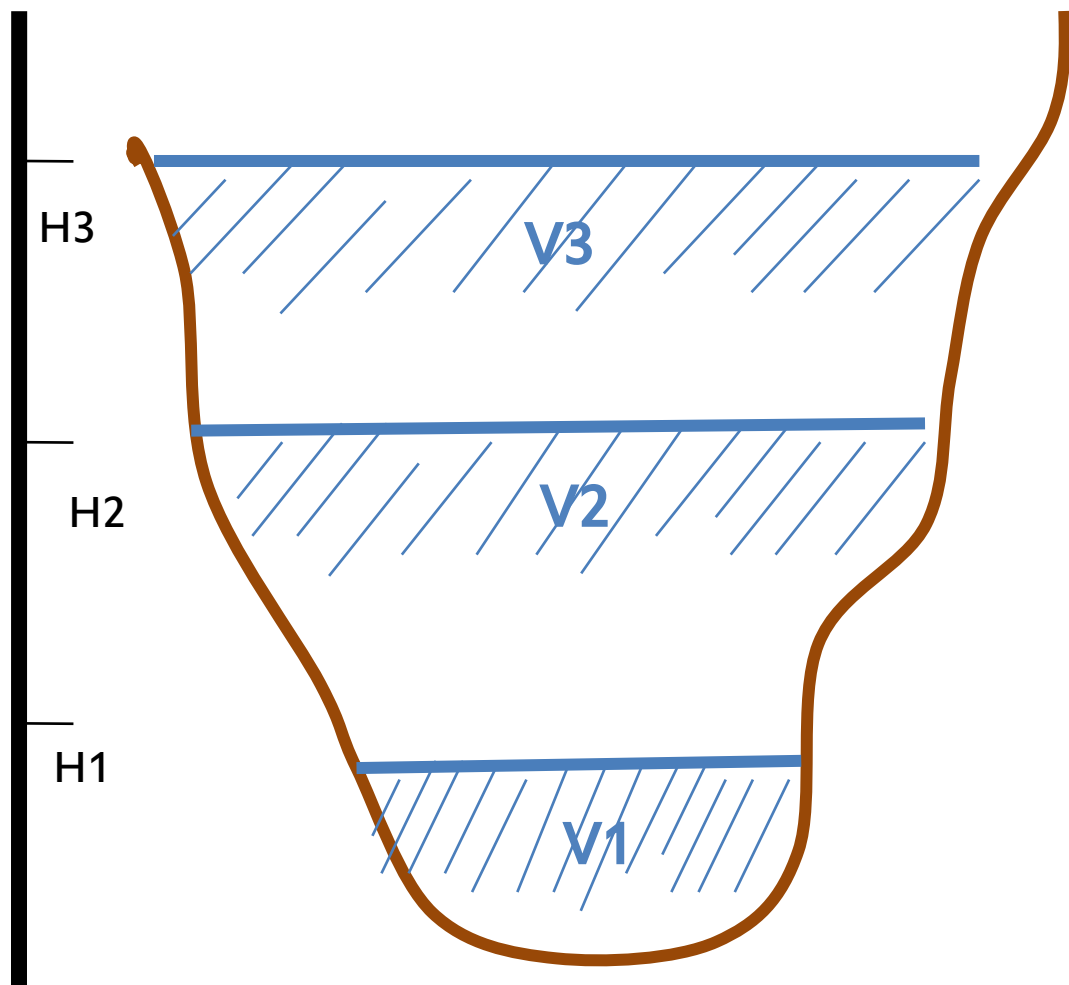
Station : H158 = PITA AJ SALTO (Hoya de Quito)
Capteur : I-1 = Cotas (lecturas) Fuente INAMHI
Pointage des Cotes Jaugées

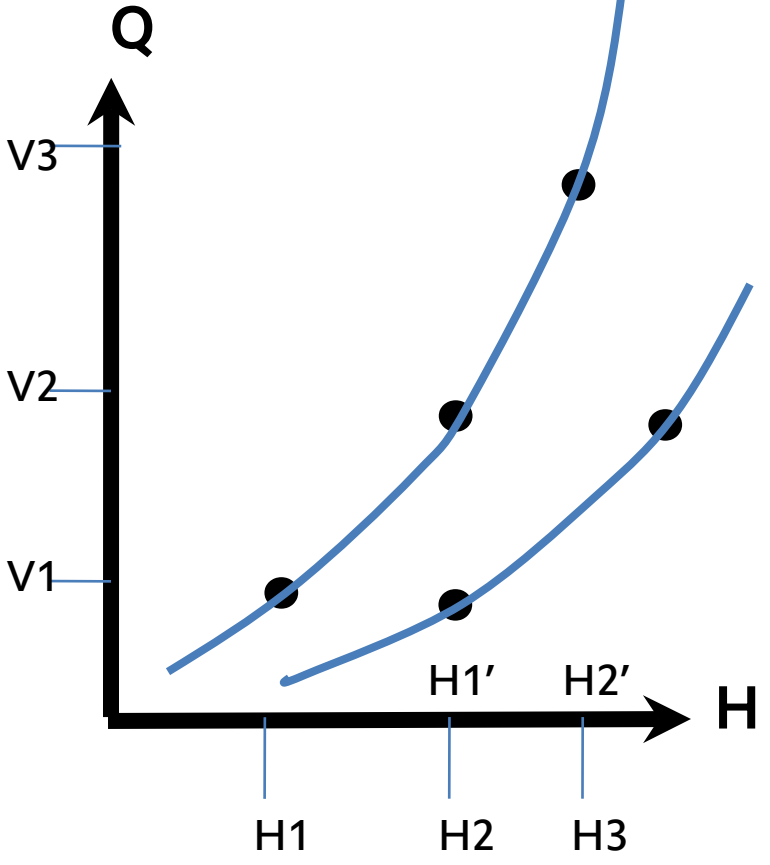
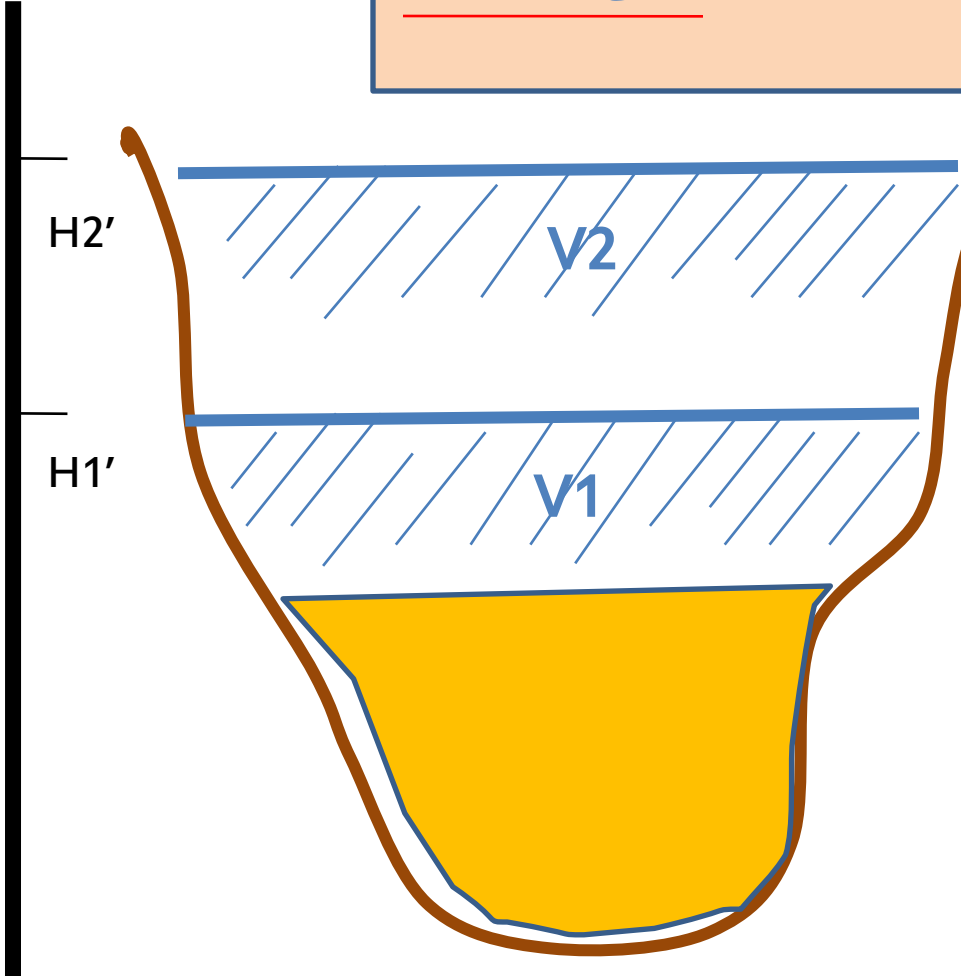
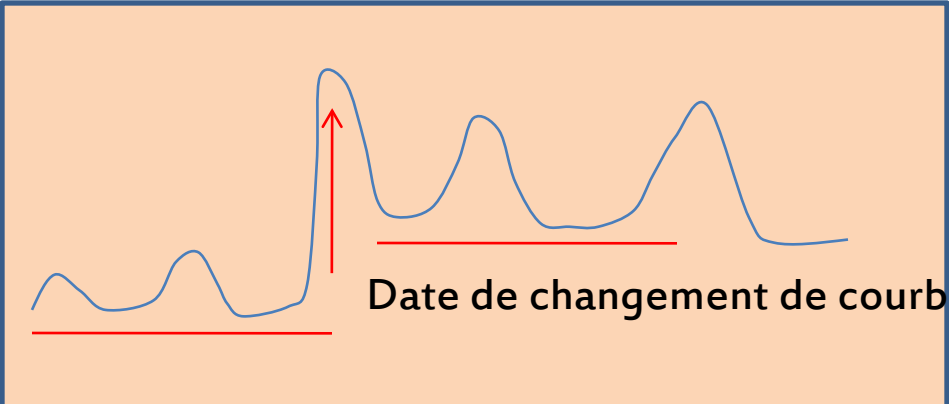
Estación: H158 = PITA AJ SALTO



Station : H158 = PITA AJ SALTO (Hoya de Quito)
Capteur : I-4 = Cotas Proyecto Aguandes-IRD

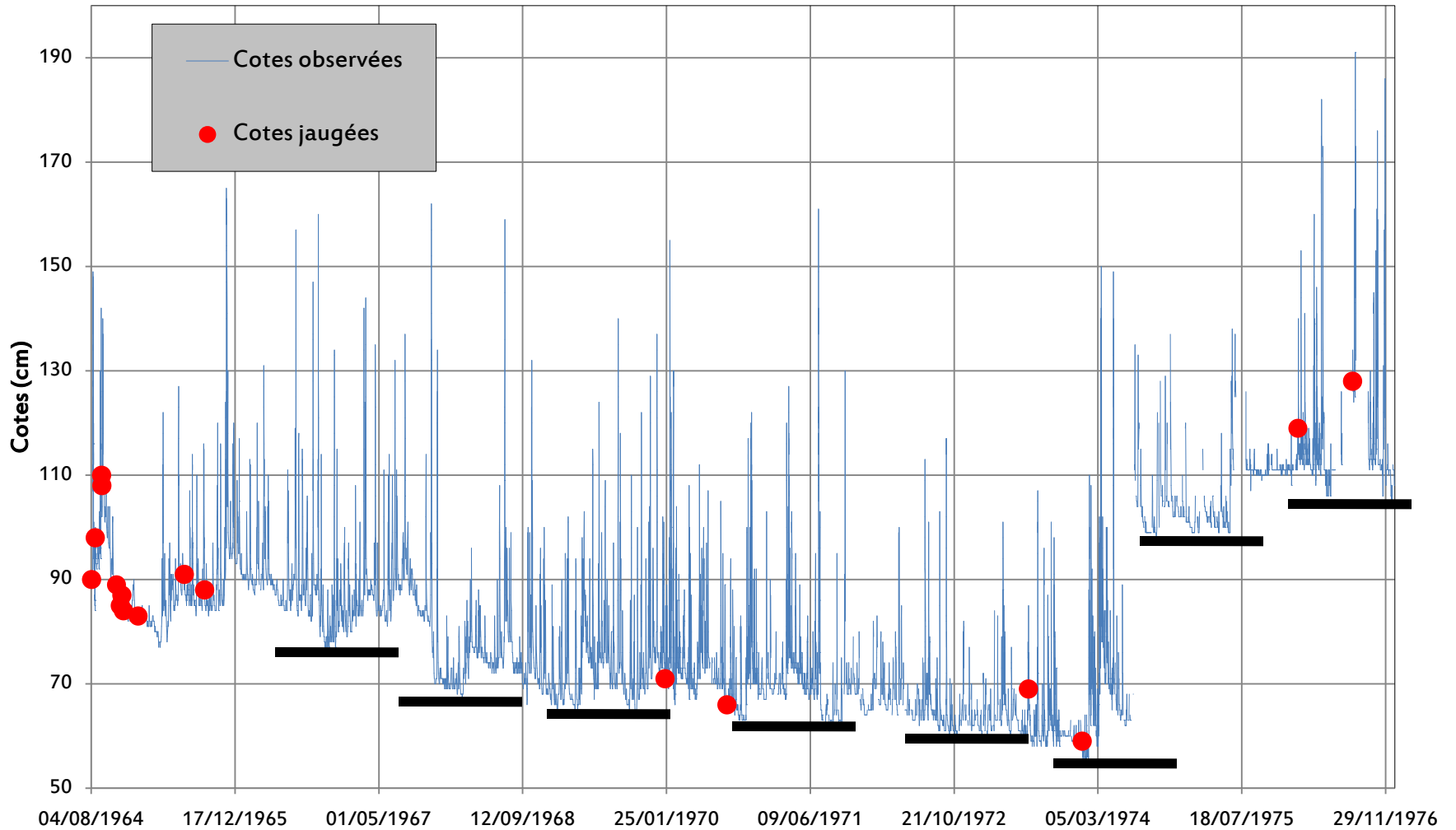








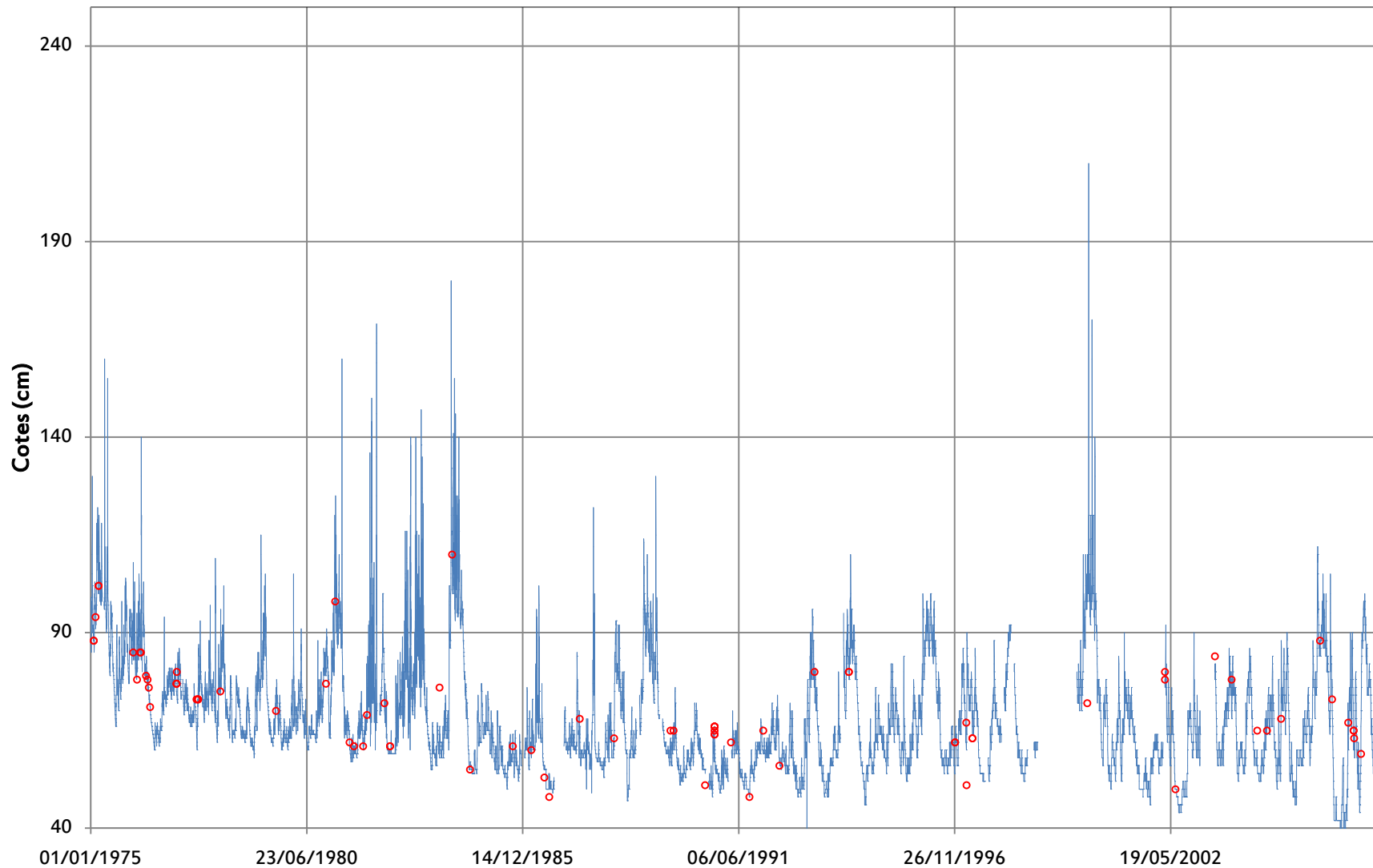
Station : H158 = PITA AJ SALTO (Hoya de Quito)
Capteur : I-1 = Cotas (lecturas) Fuente INAMHI
Pointage des Cotes Jaugées





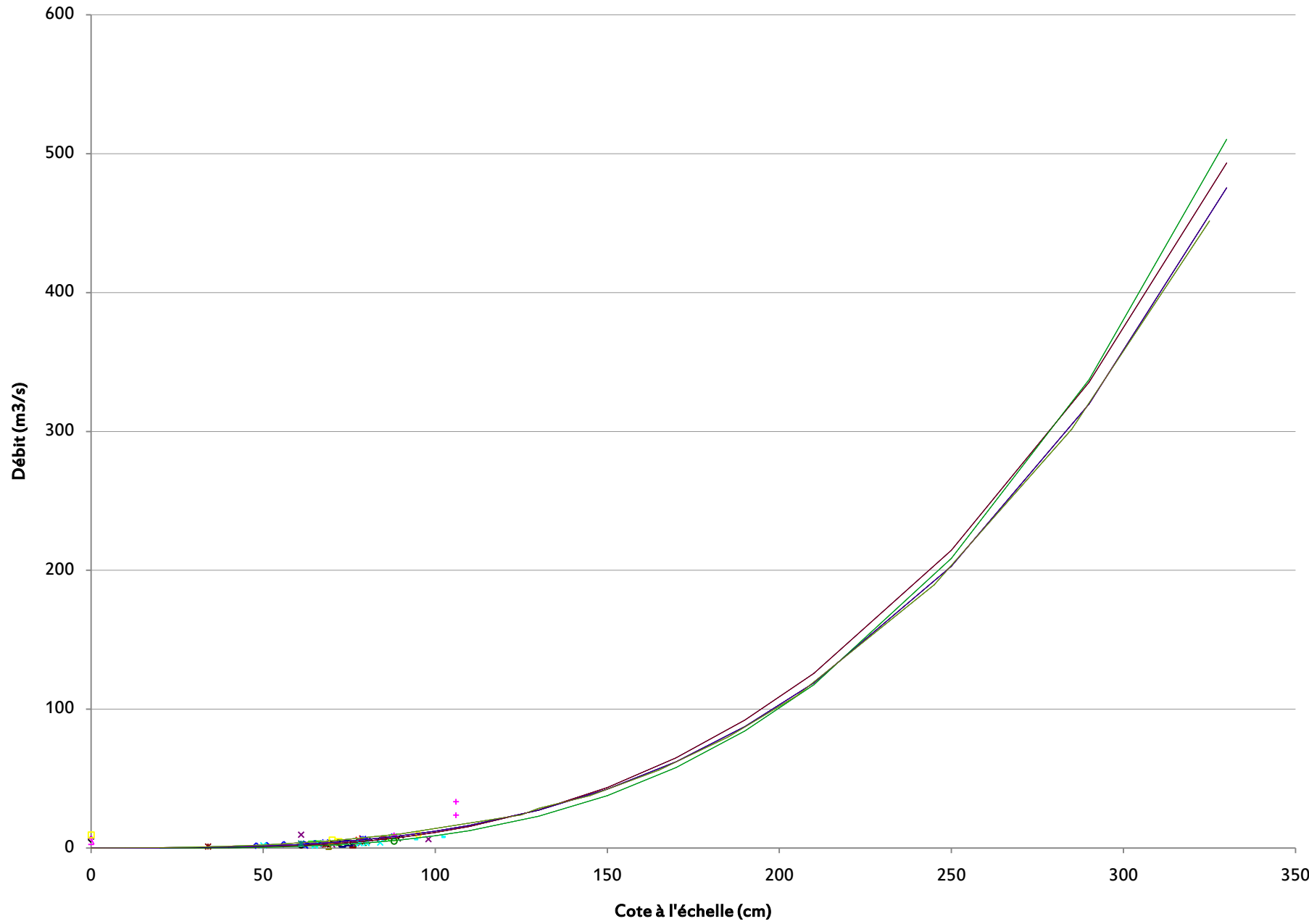
Station : H159 = SAN PEDRO EN MACHACHI (Hoya de Quito)
Capteur : I-1 = Cotas (lecturas) Fuente INAMHI
Pointage des Cotes Jaugées

— Cotes observées



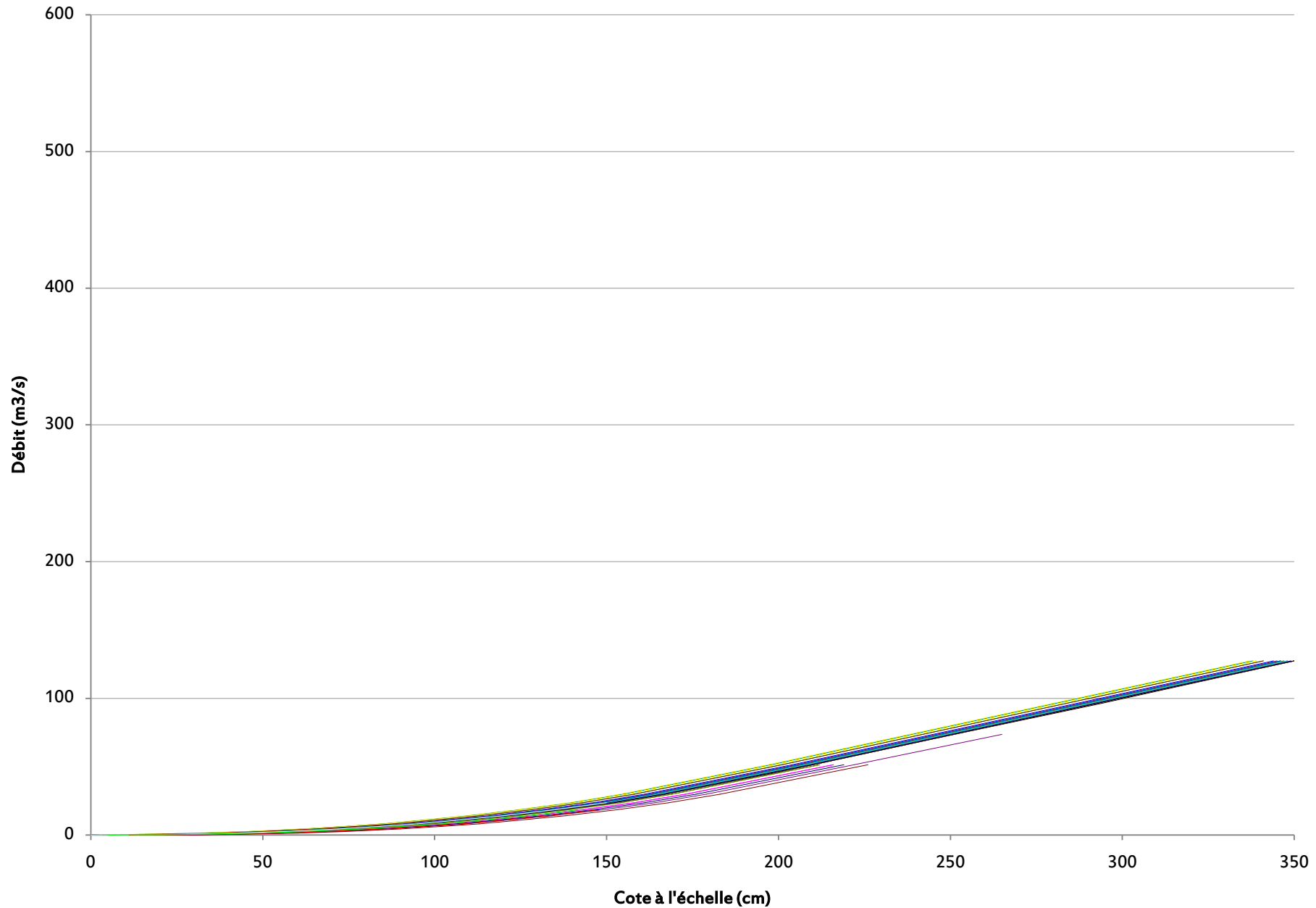
Station : H159 = SAN PEDRO EN MACHACHI (Ecuador)

Capteur : I-0 = Cotes



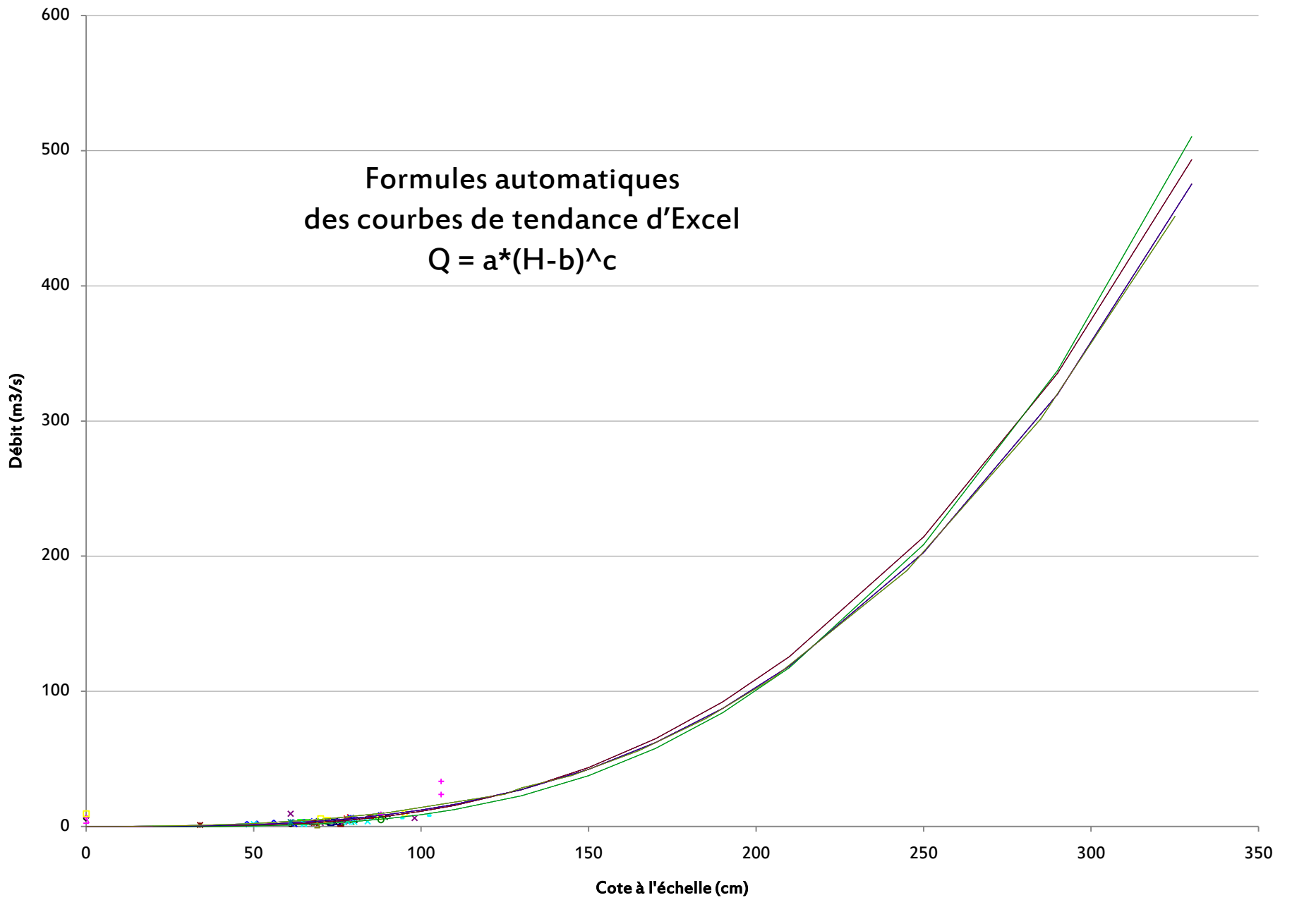
Station : H159 = SAN PEDRO EN MACHACHI (Hoya de Quito)

Capteur : I-4 = Cotas Proyecto Aguandes-IRD



Station : H159 = SAN PEDRO EN MACHACHI (Ecuador)

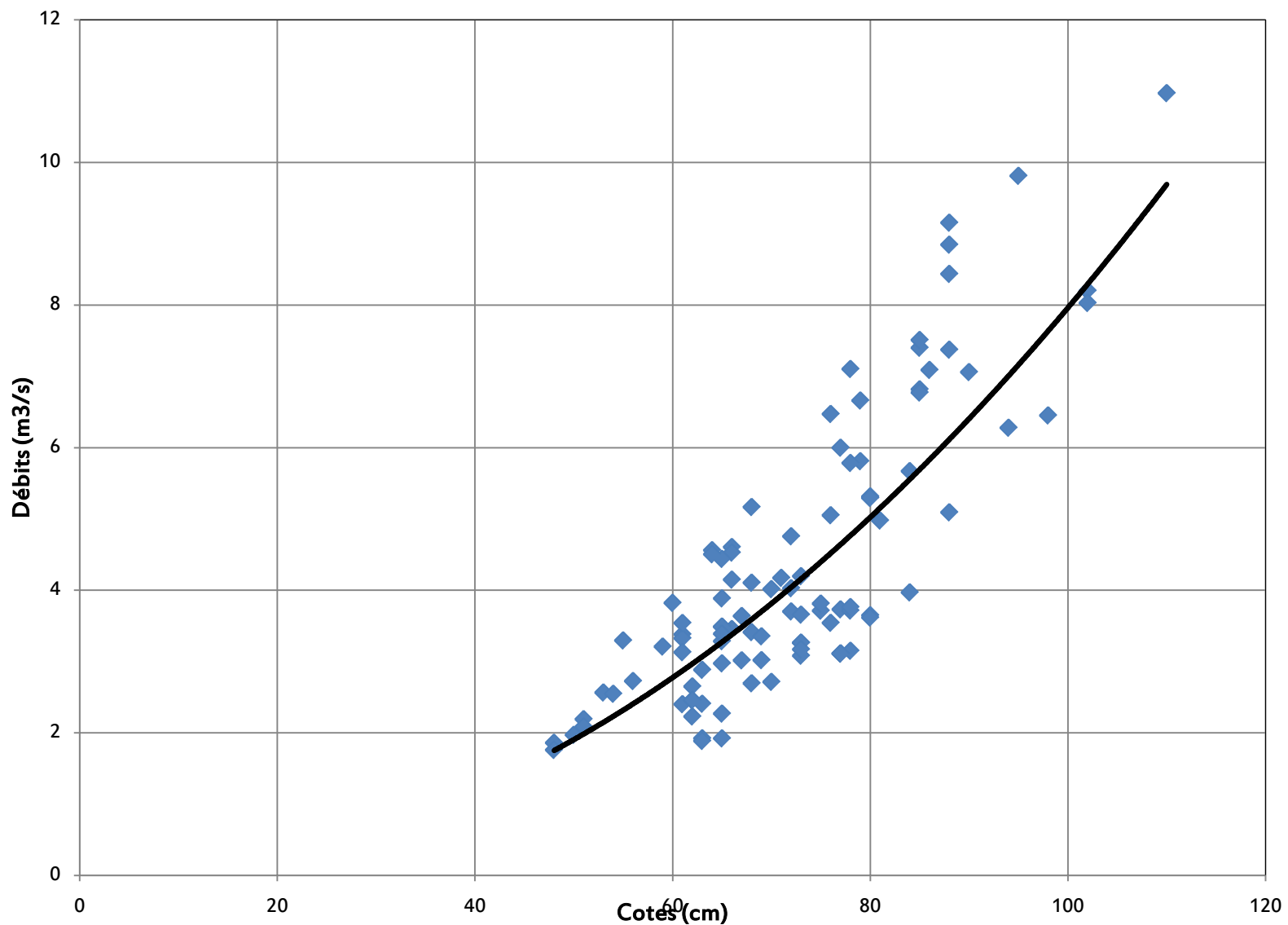
Capteur : I-0 = Cotes



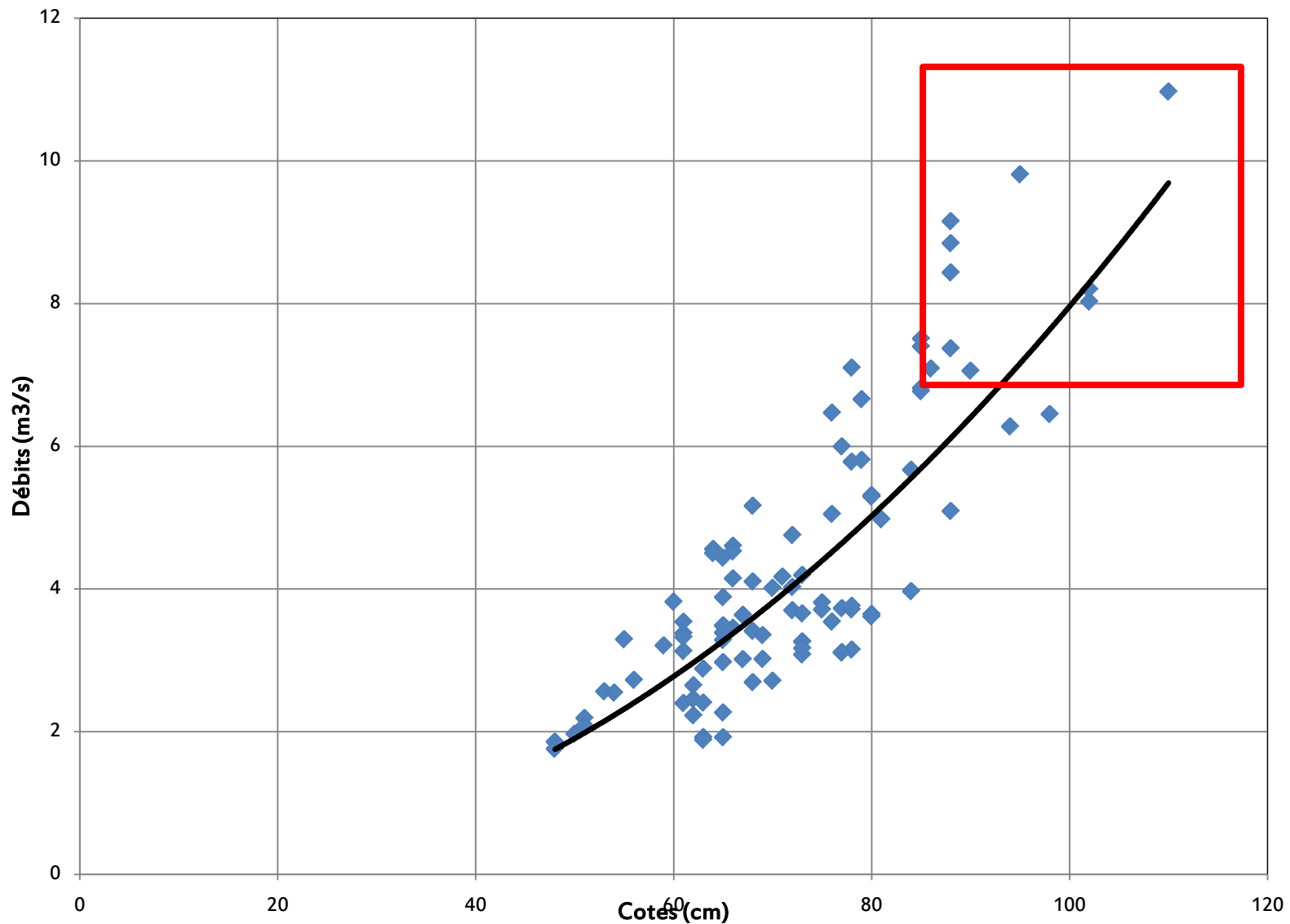
Formules automatiques
des courbes de tendance d'Excel

$$Q = a*(H-b)^c$$

Jaugeages de la Station : H159 = SAN PEDRO EN MACHACHI (Hoya de Quito)
Capteur : I-1 = Cotas (lecturas) Fuente INAMHI



Jaugeages de la Station : H159 = SAN PEDRO EN MACHACHI (Hoya de Quito)
Capteur : I-1 = Cotas (lecturas) Fuente INAMHI





Jaugeages de la Station : H159 = SAN PEDRO EN MACHACHI (Hoya de Quito)
Capteur : I-1 = Cotas (lecturas) Fuente INAMHI

12



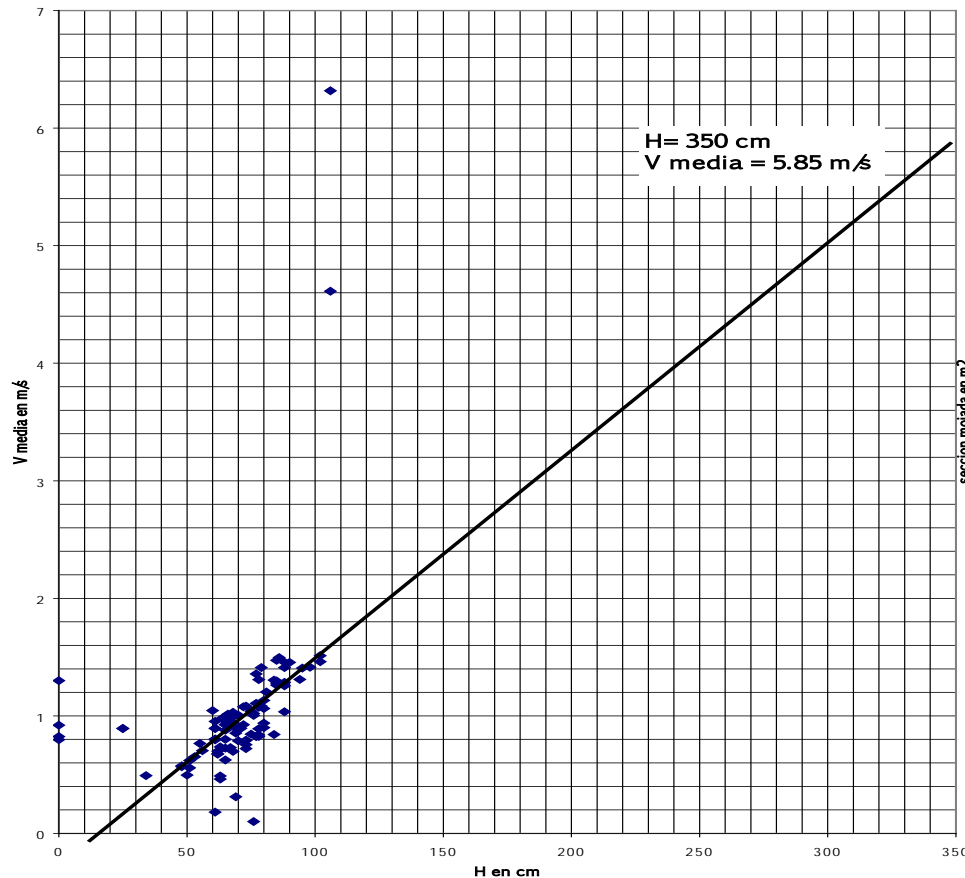


Pour cerner le débit maximum
il vaut mieux utiliser les autres données du résultat d'un jaugeage

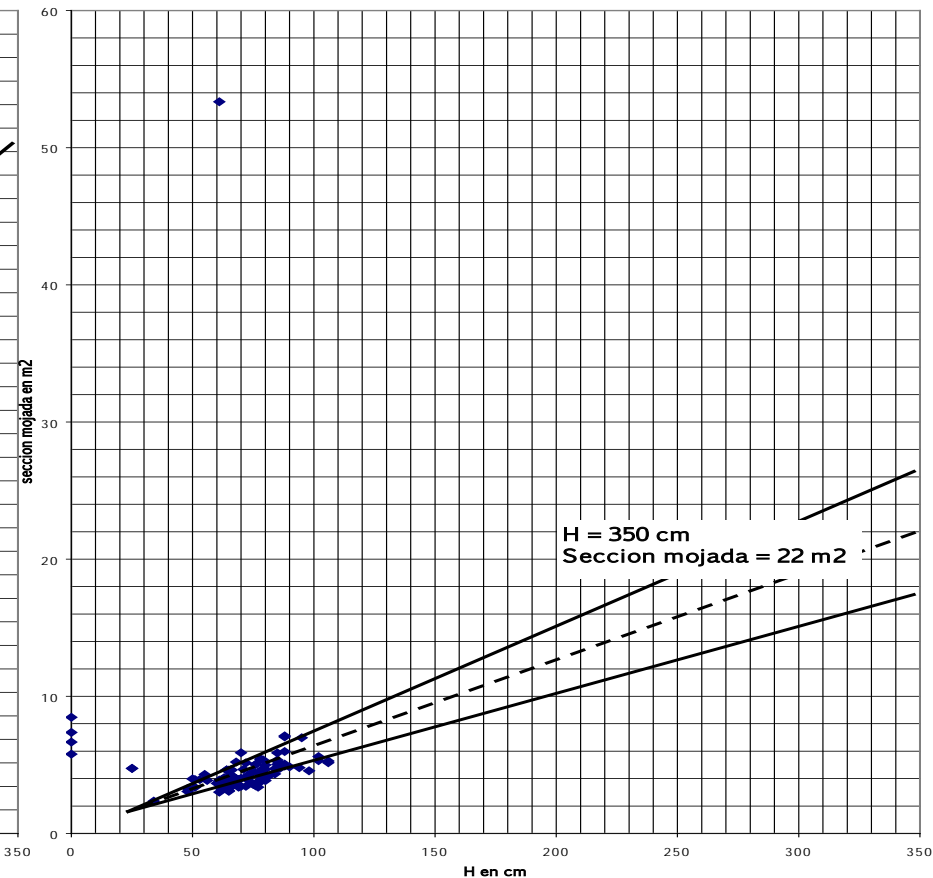
L'extrapolation des vitesses moyennes sur la section
L'extrapolation, ou le profil, de la section mouillée

Donc pour cette station, au lieu de $500\text{m}^3/\text{s}$ nous n'avons que $135\text{m}^3/\text{s}$

H159, San Pedro en Machachi
H /Velocidad media en la seccion



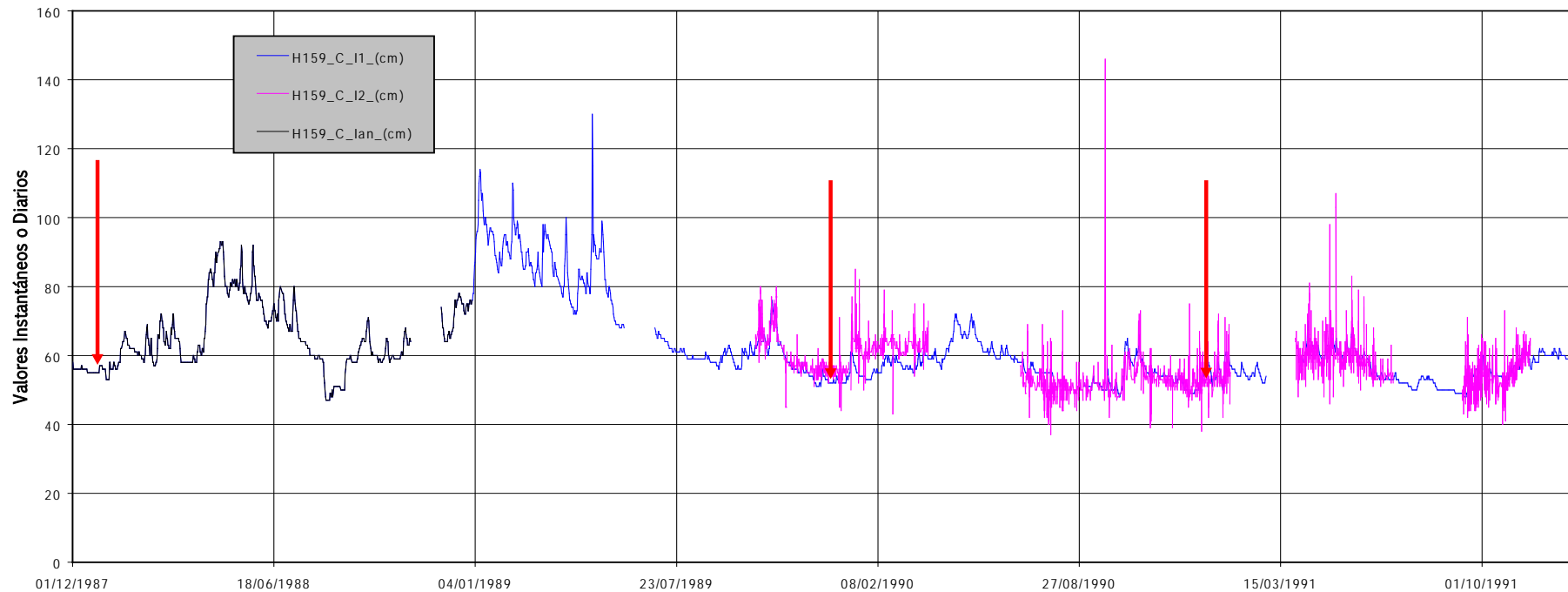
H159, San Pedro en Machachi
H /Seccion mojada



Les dates de changement de courbe de targe

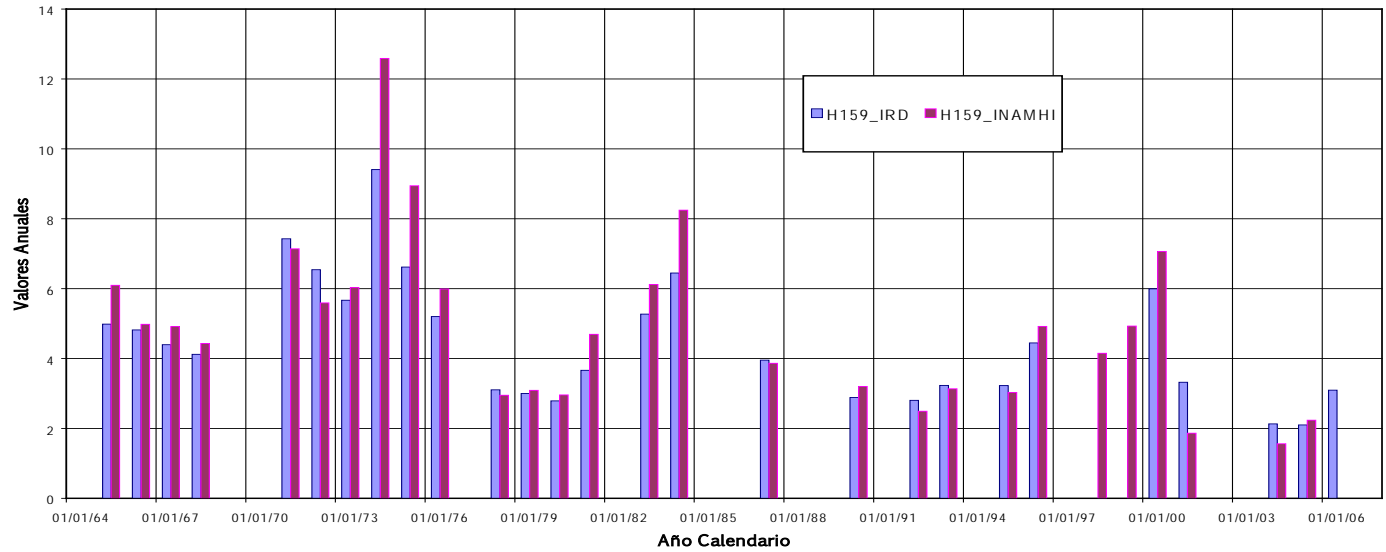
09/02/1975	11/05/1975	15/02/1977	21/08/1977	15/05/1978	28/04/1979	26/08/1981
12/11/1981	13/06/1982	01/01/1988	01/01/1990	01/01/1991	01/01/2000	21/04/2000
23/04/2001	01/01/2005	01/01/2006	21/06/2006	17/01/2007		

Valores Instantáneos de cotas instantaneas, H159
Fecha de cambio de calibracion





Valores Anuales



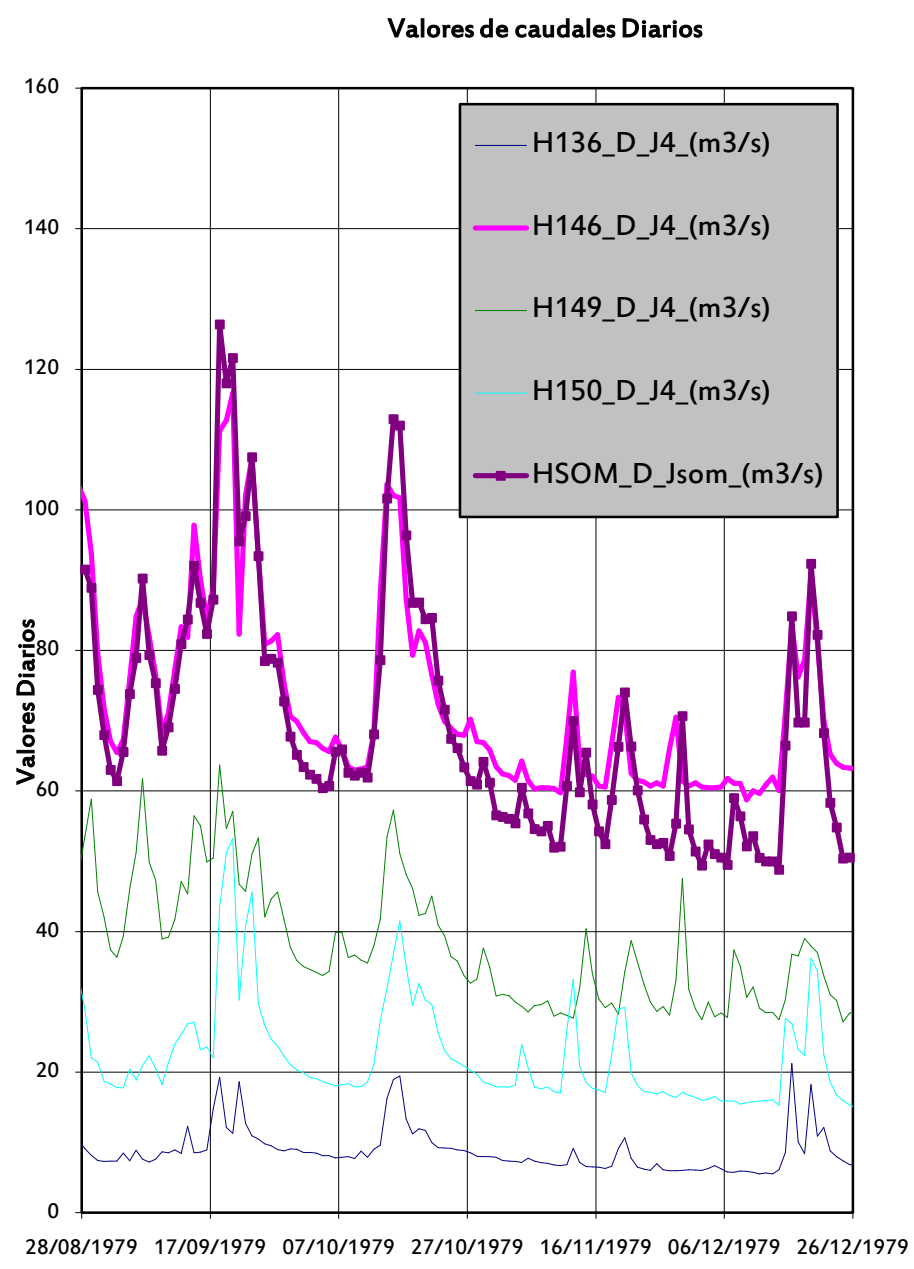
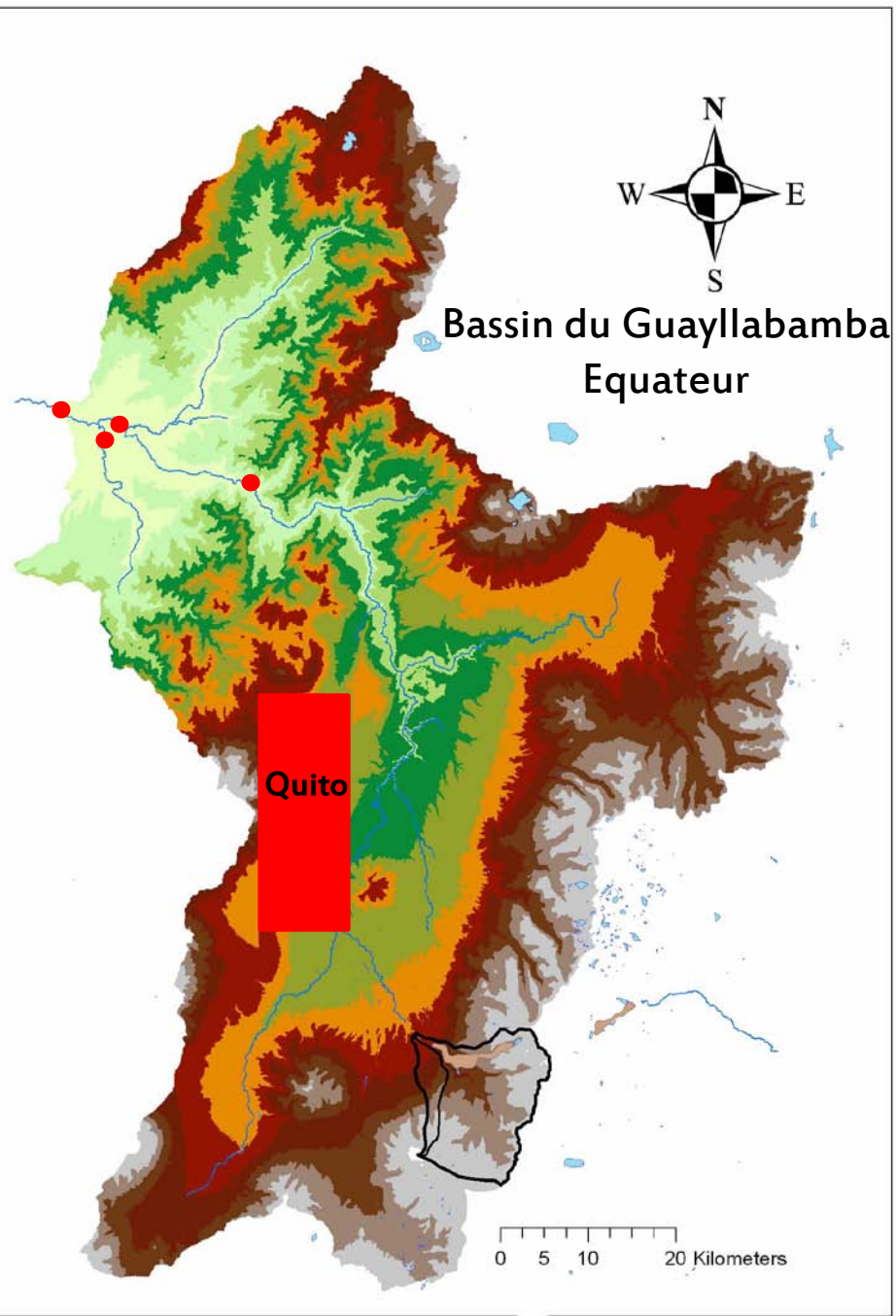
H159

SAN PEDRO EN MACHACHI

Fecha	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
IRD		4,986	4,817	4,396	4,12			9,408	6,616	5,199		3,105	2,999	2,791
INAMHI		6,093	4,98	4,916	4,433			12,59	8,945	5,99		2,949	3,088	2,96
Diff%		22	3	12	8			34	35	15		-5	3	6

Fecha	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
IRD	3,661		5,269	6,446			3,955			2,883		3,224	4,445				5,997
INAMHI	4,692		6,121	8,247			3,865			3,202		3,028	4,92		4,151	4,928	7,064
Diff%	28		16	28			-2			11		-6	11				18

Fecha	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
IRD	3,322			2,129	2,1	3,095	
INAMHI	1,862			1,565	2,235		
Diff%	-44			-26	6		



Tous ces développements n'ont pas été fait pour dire
que la donnée hydrologique est mauvais et n'est pas fiable

mais plus dire que c'est un travail fin qui nécessite
du métier et de la conscience.

L'important de cette donnée se passe essentiellement sur le terrain
Les difficultés en laboratoire existent
quand le travail de terrain ,n'a pas été bien pensé et bien fait

Trop souvent le travail de terrain est «mal» considéré
alors que c'est la base de tout concernant les sciences de la terre