

Conférence de consensus sur le débit du Rhône à Beaucaire pour la crue de Décembre 2003

CONTRIBUTION CNR




Pont de Beaucaire-Tarascon PK 269.60 – photo prise le 3 décembre 2003

ANNEXE III

Influence d'un fond mobile sur un jaugeage ADCP

Prise en compte de ce phénomène dans le dépouillement d'un jaugeage à l'ADCP

 <p>Compagnie Nationale du Rhône</p> <p>DPFI-PF-Labo 05-616 Date: 15 juin 2005</p>	<p>COMPAGNIE NATIONALE DU RHONE Direction du Patrimoine Fluvial et Industriel Département Patrimoine Fluvial Laboratoire Hydraulique - Mesures 4 rue de Chalon sur Saône 69007 LYON</p> <p>Tél. : 04.78.61.60.00 - Télécopie : 04.78.58.69.38</p> <p><i>Siège Social</i> : 2 rue Bonin - 69316 LYON CEDEX 04</p>
---	---

Conférence de consensus sur le débit du Rhône à Beaucaire pour la crue de Décembre 2003

Contribution CNR

Annexe III

Influence d'un fond mobile sur un jaugeage ADCP

–




Prise en compte de ce phénomène dans le dépouillement d'un jaugeage à l'ADCP

Unité réalisatrice **COMPAGNIE NATIONALE DU RHONE**

Département Laboratoire d'Essais – Mesures - Contrôles
4, Rue de Chalon sur Saône
69007 LYON

Rapport Définitif

Contrôle qualité

	Nom	Date	Signature
Réalisé par	A. OLIVIER	15 juin 2005	
Vérifié par	G. PIERREFEU	15 juin 2005	
Approuvé par	M. SCOTTI	15 juin 2005	

Historique du document

Indice	Date	Désignation de la révision
0	15 juin 2005	Création du document

Influence d'un fond mobile sur un jaugeage ADCP

Prise en compte de ce phénomène dans le dépouillement d'un jaugeage à l'ADCP¹

La mesure ADCP est basée sur une hypothèse forte : la stabilité du fond du chenal. En effet, l'ADCP a pour référentiel le fond du cours d'eau et non un point absolument fixe. Or, notamment en période de crue, le lit d'une rivière bouge. Cette instabilité du fond a une influence sur la trajectoire du bateau et sur le débit. Pour mettre en évidence l'influence d'un fond mobile, il est intéressant de coupler l'ADCP à un GPS. Ainsi, avant de regarder plus précisément l'influence d'un fond mobile sur la mesure, nous allons présenter brièvement l'intérêt d'un couplage GPS/ADCP. Mais, même si le fond bouge, il est aussi possible d'utiliser l'ADCP en mode autonome en tenant compte de l'impact du déplacement du fond en corrigeant le débit. Cette correction sera estimée à partir de la trajectoire du bateau affichée en mode autonome.

1 Intérêt du couplage de l'ADCP avec un DGPS : Visualisation de la trace exacte du déplacement de l'ADCP grâce au couplage avec un DGPS

Le logiciel d'exploitation de l'ADCP (WinRiver) permet de visualiser la trajectoire de l'ADCP dans un plan Nord-Est. Il y a trois sources d'erreur dans le calcul de cette trajectoire en mode autonome :

- L'incertitude de mesure de la vitesse du bateau par rapport au fond ;
- L'incertitude du compas interne de l'ADCP : cette erreur est sans incidence sur le débit mais elle l'est sur le tracé de la trajectoire affichée par le logiciel ;

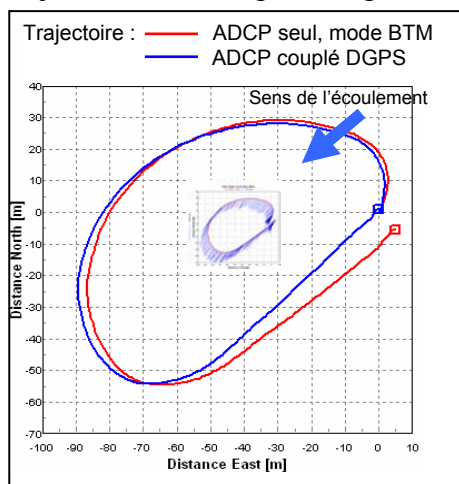


Figure 2 : Cercle effectué sur le Rhône avec le BB1200kHz couplé à un DGPS

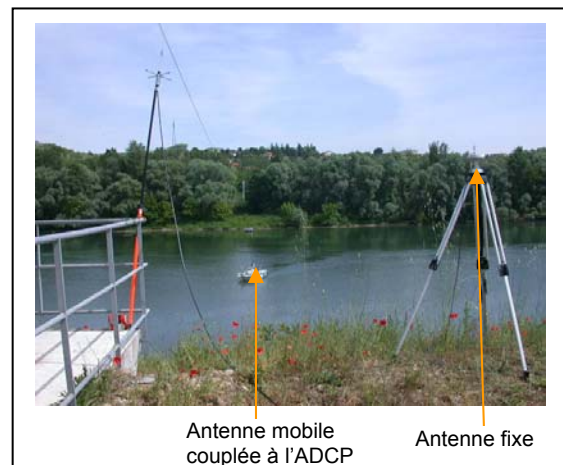


Figure 1 : Utilisation d'un DGPS couplé à l'ADCP

- L'erreur due au mouvement du fond, si mouvement il y a. L'impact d'un fond mobile sur la trajectoire affichée en mode autonome sera détaillé dans le chapitre 3. Notons qu'un fond mobile a pour conséquence un mouvement apparent du bateau vers l'amont du cours d'eau.

Pour visualiser la trace exacte du bateau, la CNR utilise un DGPS en mode LRK ce qui permet, selon son constructeur, d'avoir une précision centimétrique pour le positionnement de l'ADCP dans le référentiel terrestre. Pour atteindre cette fiabilité, deux balises

¹ Extrait du rapport de projet de fin d'études d'Audrey OLIVIER de l'Ecole Centrale de Lyon effectué à la CNR en 2004 « Maîtrise de la précision de mesure de débit avec un profileur de courant à effet Doppler (ADCP) »

GPS sont nécessaires (cf. Figure 1). Une balise située sur le bateau permet de mesurer les déplacements de ce dernier, et par conséquent de l'ADCP, par rapport au satellite. L'autre balise, située sur la berge, est fixe et permet de mesurer les corrections à apporter pour garantir la précision centimétrique du positionnement du bateau dans le référentiel terrestre.

Commençons par étudier l'intérêt de la visualisation de la trajectoire exacte de l'ADCP dans un cas où le fond du Rhône est stable. Pour ceci, utilisons quelques essais réalisés le 25 mai 2004 à Ternay, sur le Rhône en aval de Lyon. Sur la Figure 2, le bateau a fait un cercle dans l'eau. La trace dans le référentiel du DGPS montre que nous sommes revenus au même endroit. Pourtant, la trace obtenue en mode autonome n'est pas fermée. Il y a tout au long de la trajectoire un écart entre la trace DGPS et la trace BTM.

Pour pouvoir expliquer l'écart entre les deux trajectoires, il faut d'abord comprendre comment elles sont déterminées par les appareils.

1.1 Positionnement en mode autonome

Pour se repérer en mode autonome, l'ADCP est équipé d'un compas interne. Ce compas est orienté par rapport au nord magnétique. Les angles fournis par le logiciel WinRiver sont comptés positifs du Nord vers l'Est. Le bateau, et par conséquent l'ADCP, peut être positionné dans le repère terrestre local grâce à ce compas interne (cf. Figure 3). Pour cela, il calcule la distance élémentaire parcourue entre deux ensembles de la façon suivante :

Équation 1
$$L_n = V_{bn} * \Delta t$$

où :

- L_n est la distance parcourue à l'ensemble n depuis le dernier ensemble validé avant n (en général l'ensemble n-1) ;
- V_{bn} est la vitesse du bateau mesurée pour l'ensemble n ;
- Δt est le temps écoulé entre l'ensemble n et depuis le dernier ensemble validé avant n.

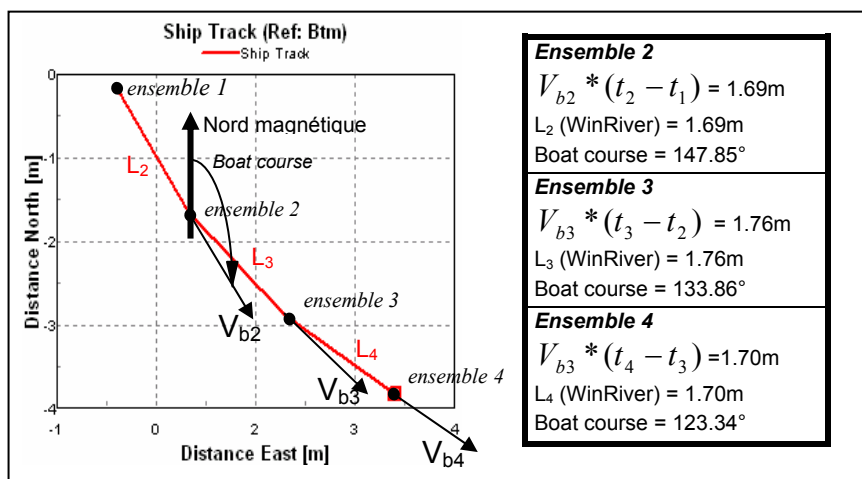


Figure 3 : Positionnement de l'ADCP en mode autonome

Il oriente ensuite la distance $L_n = V_{bn} * \Delta t$ entre les deux ensembles selon l'orientation du vecteur \vec{V}_{bn} . Cette orientation est appelée Boat course.

1.2 Positionnement en mode GPS

Le DGPS est repéré par rapport au nord géographique. Pour chaque ensemble n, il calcule la position de l'ADCP (X_n, Y_n) (cf.: Positionnement de l'ADCP en mode GPS Figure 4).

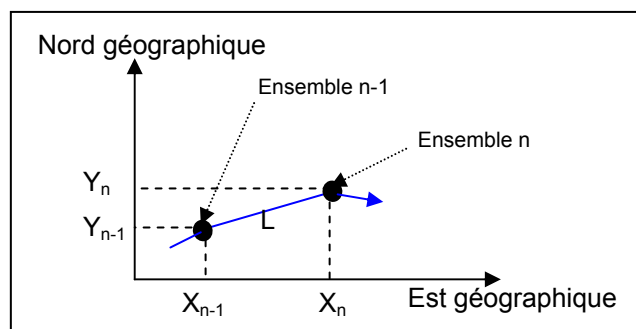


Figure 4 : Positionnement de l'ADCP en mode GPS

WinRiver est la trajectoire réelle de l'ADCP. Le DGPS (D pour différentiel) utilisé par la CNR est précis au centimètre. De la relation ci-dessus, le DGPS déduit ensuite une vitesse moyenne pour chaque ensemble de la façon suivante, en utilisant le temps Δt écoulé entre les deux ensembles :

$$\text{Équation 3} \quad V_{b_n} = \frac{L_n}{\Delta t} = \frac{\sqrt{(Y_n - Y_{n-1})^2 + (X_n - X_{n-1})^2}}{\Delta t}$$

La variation de position d'un ensemble à l'autre lui permet de déterminer la distance élémentaire L_n parcourue entre deux ensembles (n et n-1) :

Équation 2

$$L_n = \sqrt{(Y_n - Y_{n-1})^2 + (X_n - X_{n-1})^2}$$

Cette relation est une relation purement géométrique. Par conséquent si le GPS est correct, la trajectoire affichée par

1.3 Sources d'écart entre les deux trajectoires

Comme nous l'avons vu, le compas interne de l'ADCP se repère par rapport au nord magnétique et le DGPS par rapport au nord géographique. Mais ces deux nord ne sont pas confondus. Les deux trajectoires ne sont donc pas calculées dans le même référentiel. Ceci peut expliquer en partie l'écart observé entre les deux trajectoires même quand le fond est stable. L'angle correspondant à l'écart entre les repères géographique et magnétique s'appelle la déclinaison magnétique. Sur une trajectoire avec retour au point de départ (ex. : aller-retour), l'effet de la déviation magnétique est sans conséquence. En effet, la distance entre le point de départ et le point d'arrivée devrait être nul quel que soit le point de départ. L'écart résiduel est alors principalement du aux erreurs de mesure du compas.

Nous pouvons noter pour information que la déviation magnétique est égale à 3.35° à Lyon [source : www.geolab.nrcan.gc.ca/geomag/mirp_f.shtml].

1.4 Exemples

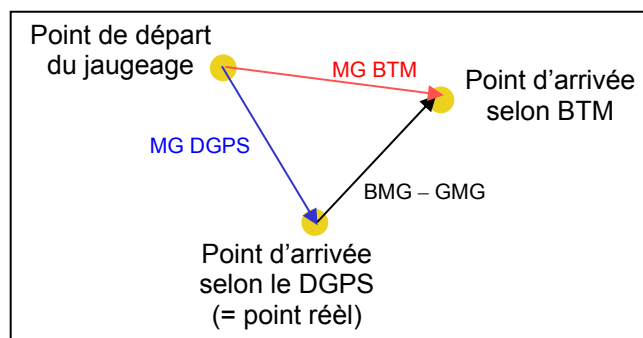


Figure 5 : Définition des distances MG et BMG-GMG

Reprenons l'exemple du Rhône à Ternay le 25 mai 2004 (Figure 2). Ce jour-là, nous sommes sûrs que le fond de la rivière ne bouge pas. La longueur développée en mode autonome (=length BTM sur WinRiver) est de 268.51m et celle en mode DGPS (=length GPS sur WinRiver) est de 269.55m, soit 0.3%

d'écart. Les deux longueurs développées sont donc identiques. Le calcul de la longueur en mode autonome n'utilise pas le compas interne et est juste au regard de la mesure DGPS, réputée très fiable. Donc les fonctionnements en mode DGPS et en mode autonome sont corrects. La différence entre les trajectoires est donc essentiellement due à des différences d'orientation. Le compas interne de l'ADCP n'est pas calibré correctement.

Nous allons introduire un critère pour déterminer si l'écart entre les trajectoires est du seulement aux erreurs de compas, où si il est possible qu'il soit du à un fond mobile. Ce critère est la valeur du rapport $(BMG-GMG)/(\text{length BTM})$.

Définissons d'abord la distance BMG-GMG. Il s'agit de la distance entre la position d'arrivée calculée par le DGPS et celle calculée par le mode BTM² (cf. Figure 5). La distance que l'on appelle distance MG est la distance en ligne droite entre le point de départ et le point d'arrivée. Sur un aller-retour, avec retour à un point fixe, MG DGPS est proche de zéro. Par conséquent, la distance MG en mode BTM est proche de la distance BMG-GMG.

Pour l'exemple de la Figure 2, $BMG-GMG = 8.2\text{m}$. Par conséquent $(BMG-GMG)/(\text{length BTM}) < 4\%$. De plus, la distance MG en mode autonome vaut 7.15m , ce qui est proche de la distance BMG-GMG qui vaut 8.2m , au regard de la longueur développée L (d'environ 270m). Le même jour au même endroit, nous avons également effectué des aller-retour comme RDI conseille de le faire pour calibrer le compas. Les trajectoires obtenues pour les deux essais apparaissent sur la Figure 6.

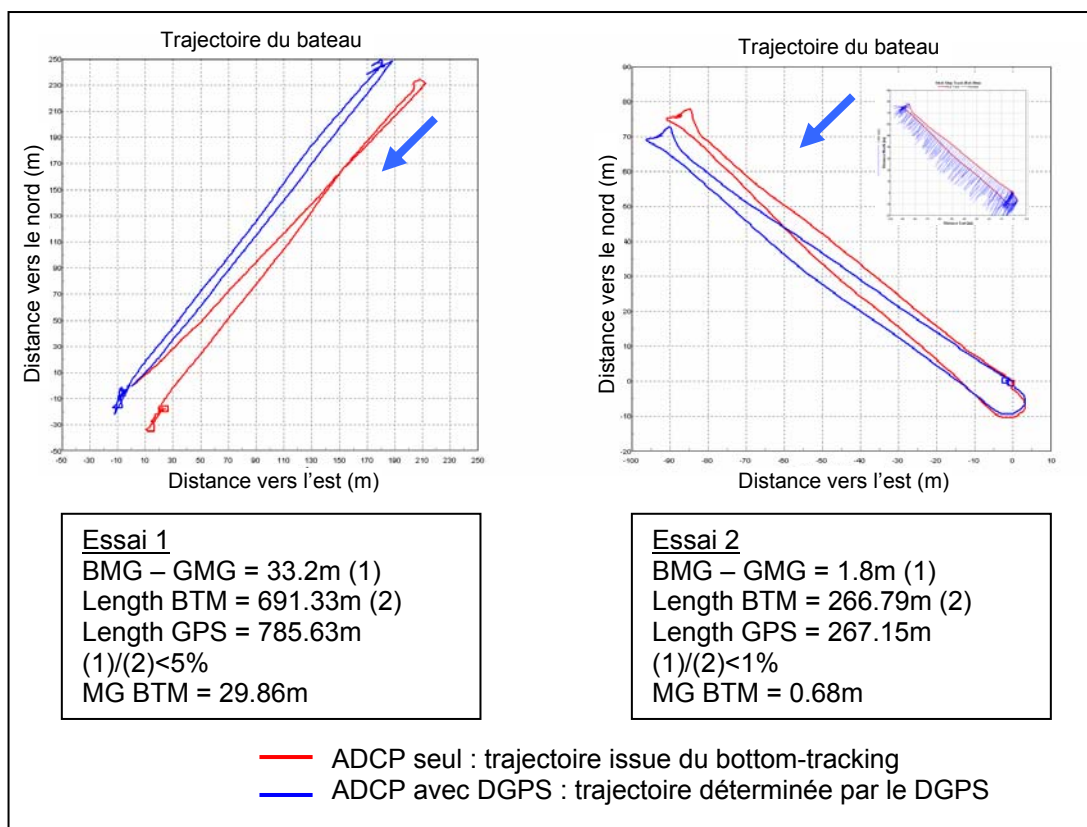


Figure 6 : Allers-retours effectués sur le Rhône avec le BB1200kHz couplé à un DGPS

Sur le premier essai, on observe un écart entre la length GPS et la length BTM, du à la perte momentanée du mode LRK et donc de la précision centimétrique du DGPS. Mais ceci est

² Mode BTM = Bottom Tracking Mode = mode autonome = ADCP seul, sans couplage avec un autre appareil. Il s'oppose au mode GPS ou DGPS, dans lequel l'ADCP est couplé à un (D)GPS pour déterminer la vitesse du bateau, indépendamment de l'effet Doppler sur le fond du cours d'eau.

sans conséquence pour ce que l'on étudie car la distance MG en mode autonome est proche de la distance GMG-BMG : 29.9m~33.2m. Nous retiendrons la length BTM comme la vraie valeur. Nous voyons par là même les limites du DGPS : il faut en permanence conserver le mode permettant d'avoir une précision centimétrique, le mode LRK. Sur l'autre essai, la length BTM est proche de la length GPS. Le fonctionnement a été correct. Dans les deux cas, la distance MG BTM est proche de la distance BMG-GMG.

1.5 Bilan

Ces trajectoires montrent que notre compas n'est pas bien calibré puisque les distances sont bonnes mais pas les directions. Ainsi, il faut soit le calibrer, ce qui est difficile avec l'ancienne génération des Broadband, soit en tenir compte dans l'appréciation des trajectoires fournies en mode autonome. C'est pourquoi il faut définir un critère.

L'incertitude du compas interne fournie par le constructeur est donnée à $\pm 2^\circ$. Cette incertitude appliquée à un aller/retour conduirait à une erreur sur la distance MG de 3.5% (ce qui correspond à $\sin 2^\circ$) de la longueur parcourue si il y a retour à un point fixe.

Au vue de son expérience et afin de valider la stabilité du fond, la CNR pratiquera ses jaugeages en effectuant des aller/retour bien précis avec retour au point initial.

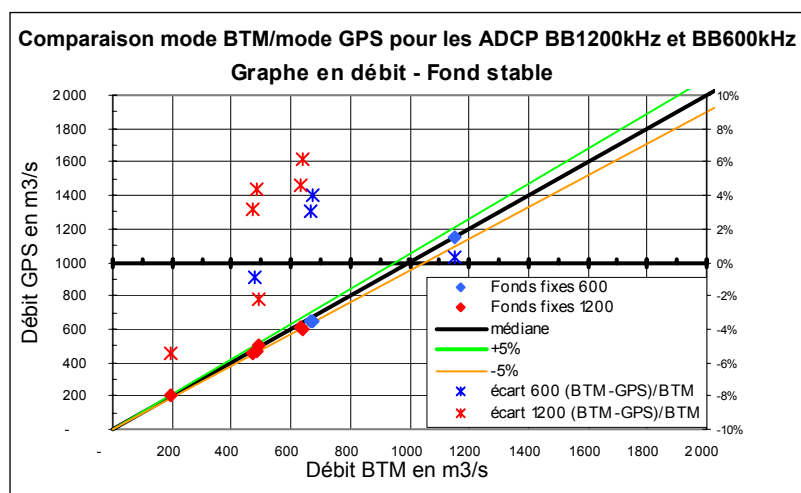
Si l'indication MG est inférieure à 5% de la longueur développée en mode autonome (length BTM), alors le fond sera considéré comme stable et la mesure de débit en mode autonome sera privilégiée. Rappelons que cette mesure n'utilise pas le compas.

Au-delà de 5%, l'instabilité du fond et son impact sur la mesure de débit devra être envisagé.

L'utilisation, ou le recours à un DGPS semble être à première vue la solution idéale. Après analyse des mesures disponibles avec ou sans DGPS, la réponse est plus nuancée. Le DGPS peut dégrader l'information relative au débit.

2 Inconvénient du DGPS : Dégradation de l'information relative au débit par le DGPS

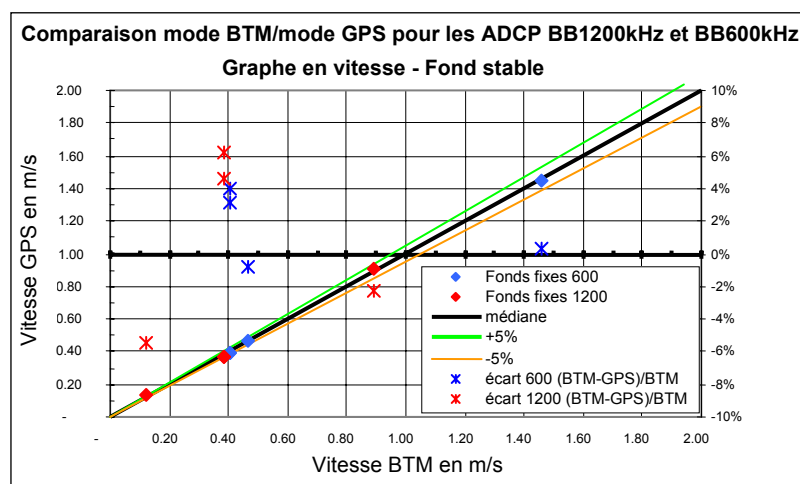
Nous disposons de dix mesures réalisées dans des conditions d'écoulement stable sur quatre sites distincts, pour des débits compris entre 200m³/s et 1200m³/s (ce qui correspond environ à des vitesses allant de 0.3m/s à 1.5m/s). Dans chacune de ces situations, le fond du cours d'eau est stable.



Les écarts observés entre le débit mesuré en mode autonome (mode BTM) et le débit mesuré par l'ADCP couplé au DGPS vont jusqu'à $\pm 6\%$. Toutefois, les valeurs

obtenues avec le Broadband 600kHz sont moins dispersées que celles obtenues avec le Broadband 1200kHz. Avec le Broadband 600kHz, les écarts vont de -2% à +4%.

Les écarts de débit ne sont pas très grands, mais, lorsque le fond ne bouge pas, nous



plutôt que celui avec le DGPS. En effet, l'association de deux repères, magnétique (compas interne ADCP) et géographique (DGPS) est une source d'erreur qu'il est préférable d'exclure si les fonds sont stables. De plus, l'association de deux repères entraîne une surestimation du débit dans un sens de traversée, une sous-estimation dans l'autre. Ainsi,

le débit en mode DGPS sera fortement faussé si l'on n'effectue pas un nombre pair de traversées pour établir le débit moyen, soit autant de traversées de la rive droite vers la rive gauche que de traversées de la rive gauche vers la rive droite.

3 Détermination du débit en cas de fond instable

On a vu que le fonctionnement de l'ADCP est basé sur une hypothèse forte : la stabilité du fond du cours d'eau. Or, notamment en période de crue, le lit d'une rivière peut bouger. Un débit mesuré en mode autonome alors que le fond bouge sous-estimera le débit réel. Il faut donc trouver un moyen de corriger le débit. Lorsque le fond bouge, deux solutions sont possibles pour déterminer la valeur du débit :

- Soit on choisit la valeur fournie par l'ADCP couplé au DGPS, et il y a l'incertitude liée à la précision du compas ;
- Soit on choisit la valeur fournie par l'ADCP en mode autonome, à laquelle on ajoute l'impact du déplacement du fond. Cet impact sera lui-même estimé à partir de la trajectoire du bateau en mode autonome, c'est-à-dire sans DGPS.

Nous disposons de deux exemples sur le Rhône à Beaucaire en novembre 2002 et en décembre 2003. Le Rhône était alors en crue.

3.1 Impact du fond mobile sur la mesure : théorie

Un fond mobile a une influence sur la trajectoire du bateau et sur la mesure de débit. L'illustration ci-dessous suppose un GPS parfait, de même que pour le compas interne de l'ADCP. De manière générale, on verra que les incertitudes liées à ces appareils sont négligeables lorsque le fond bouge réellement.

3.1.1 Influence d'un fond mobile sur la trajectoire du bateau

Le mouvement du fond engendre une remontée de la trajectoire en mode autonome vers l'amont par rapport à la trajectoire GPS, qui est la trajectoire réelle. Ceci s'explique par une relation vectorielle :

$$\text{Équation 4} \quad \overrightarrow{V_{\text{bateau}/\text{fond}}} = \overrightarrow{V_{\text{bateau}/\text{référentielGPS}}} - \overrightarrow{V_{\text{fond}/\text{référentielGPS}}}$$

La vitesse du fond dans le référentiel du GPS est dirigée dans le même sens que l'écoulement. Par conséquent, la présence d'un fond mobile rajoute une composante vers l'amont à la vitesse du bateau dans le référentiel lié au GPS, ce qui explique que la trajectoire du bateau remonte vers l'amont en mode autonome (cf. Figure 7).

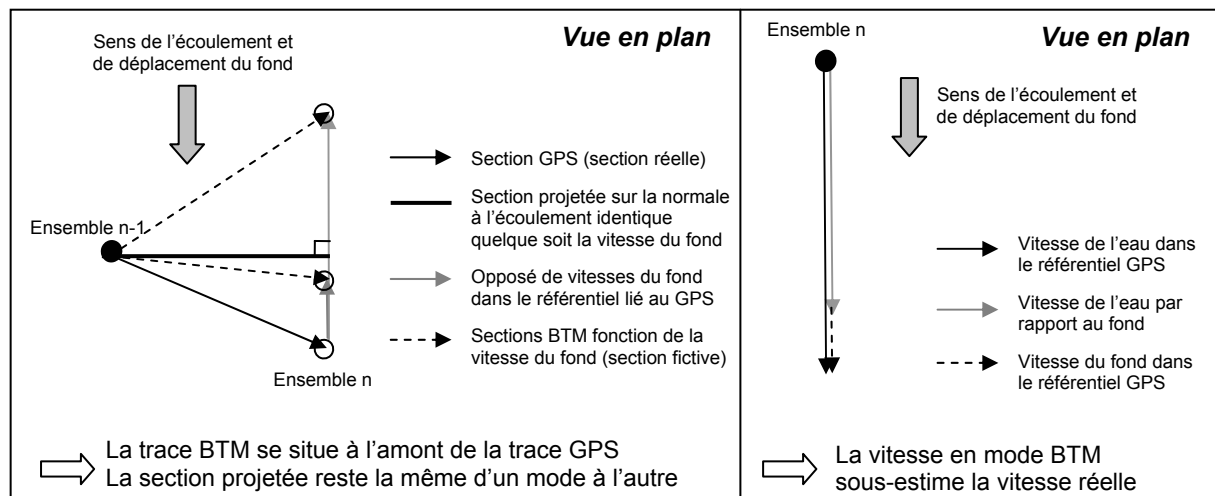


Figure 7 : Influence d'un fond mobile sur les mesures ADCP

3.1.2 Influence d'un fond mobile sur la mesure de débit

De même que pour la vitesse du bateau, la présence d'un fond mobile rajoute une composante vers l'amont à la vitesse des particules dans le référentiel lié au GPS :

Équation 5
$$\overrightarrow{V}_{particules / fond} = \overrightarrow{V}_{particules / référentielGPS} - \overrightarrow{V}_{fond / référentielGPS}$$

Ces trois vecteurs sont orientés selon la même direction (cf. Figure 7). La vitesse en mode autonome sous-estime donc la vitesse réelle des particules par rapport au référentiel terrestre local. Mais le débit dépend aussi de la surface projetée sur la normale à l'écoulement. Comme on peut le voir sur la Figure 7, la distance entre deux ensembles en mode autonome varie selon la vitesse du fond. Néanmoins, seule la composante parallèle à l'écoulement de cette distance varie, ce à cause de la vitesse du fond. Ainsi, la valeur de la surface projetée n'est pas influencée par la vitesse du fond. Par conséquent :

La vitesse en mode BTM sous-estime la vitesse réelle

La section projetée reste la même d'un mode à l'autre

Le débit en mode autonome sous-estime le débit réel lorsque le fond est mobile

3.2 Impact du fond mobile sur la mesure : une correction possible du débit mesuré en mode autonome (= débit BTM)

D'après ce qui précède, le déplacement vers l'amont de la trajectoire en mode BTM n'est du qu'à la vitesse du fond dans le référentiel lié au GPS, en supposant le compas parfait. En chaque point du fond, cette vitesse est différente. On peut estimer une vitesse moyenne du fond, de la même façon que l'on définit une vitesse moyenne de l'eau.

Dans un premier temps, on supposera que la vitesse du fond est une constante (donc égale à la vitesse moyenne du fond), ce qui nous permettra d'obtenir une première approximation théorique de la correction à apporter en cas de fond mobile. L'étude d'exemples (cf. 3.3) montrera que l'approximation est tout à fait valable.

La vitesse du fond, la vitesse de l'eau dans le référentiel GPS et la vitesse de l'eau par rapport au fond sont trois vecteurs dirigés dans la même direction et dans le même sens (cf. Figure 7). La relation vectorielle (Équation 4) peut donc devenir une relation algébrique. La section projetée n'étant pas impactée par le mouvement du fond, on a :

$$\text{Équation 6} \quad Q = V_{\text{moyenne}_{\text{eau} / \text{réf. GPS}}} * \text{Section} = V_{\text{moyenne}_{\text{eau} / \text{fond}}} * \text{Section} + V_{\text{moyenne}_{\text{fond} / \text{réf. GPS}}} * \text{Section}$$

Le débit mesuré en mode autonome est $Q_{BTM} = V_{\text{moyenne}_{\text{eau} / \text{fond}}} * \text{Section}$.

- Si le fond est immobile alors $Q = Q_{BTM}$.
- Si le fond bouge, alors $Q_{BTM} < Q$ car $Q = Q_{BTM} + V_{\text{moyenne}_{\text{fond} / \text{réf. GPS}}} * \text{Section}$.

Si l'on peut estimer la vitesse moyenne du fond, alors on pourra estimer une correction à appliquer au débit mesuré en mode BTM dans les cas où le fond est instable.

Reprenons la relation vectorielle (Équation 4) pour un ensemble, avec les notations de la Figure 8 :

$$\text{Équation 7} \quad \overrightarrow{Vb_{BTM}} = \overrightarrow{Vb_{GPS}} - \overrightarrow{V_{fond}}$$

Notons $\overrightarrow{u_{indice}}$ le vecteur unitaire dans la direction de la vitesse $\overrightarrow{V_{indice}}$ (cf. Figure 8). En multipliant (Équation 7) par Δt , on obtient :

$$\overrightarrow{Vb_{BTM}} * \Delta t * \overrightarrow{u_{BTM}} = \overrightarrow{Vb_{GPS}} * \Delta t * \overrightarrow{u_{GPS}} - \overrightarrow{V_{fond}} * \Delta t * \overrightarrow{u_{fond}}$$

Par définition, les longueurs développées sont proportionnelles à la vitesse du bateau, le coefficient de proportionnalité étant la durée d'un ensemble (cf. positionnement de l'ADCP, 1.1 et 1.2). On obtient donc :

$$\text{Équation 8} \quad \text{length}_{BTM} * \overrightarrow{u_{BTM}} = \text{length}_{GPS} * \overrightarrow{u_{GPS}} - \overrightarrow{V_{fond}} * \Delta t * \overrightarrow{u_{fond}}$$

Sachant qu'entre deux ensembles consécutifs, la longueur développée est égale à la distance MG, on peut reprendre la Figure 5, avec de nouvelles notations, comme c'est le cas sur la Figure 8 :

$$\text{Équation 9} \quad \text{length}_{BTM} * \overrightarrow{u_{BTM}} = \text{length}_{GPS} * \overrightarrow{u_{GPS}} + (BMG - GMG) * \overrightarrow{u}$$

Par identification des relations (Équation 8) et (Équation 9), on obtient : $\overrightarrow{V_{fond}} * \Delta t = BMG - GMG$. Or on a montré que la distance BMG-GMG était très proche de la distance MG en mode autonome quand on revient à un point fixe. De même que la vitesse moyenne du bateau est le rapport entre la longueur développée totale et la durée de la traversée, on peut estimer la vitesse moyenne du fond comme étant le rapport entre la distance

MG totale en mode autonome d'un aller-retour avec retour au point initial, et la durée de l'aller-retour. On dispose donc d'un moyen d'estimation de la vitesse moyenne du fond.

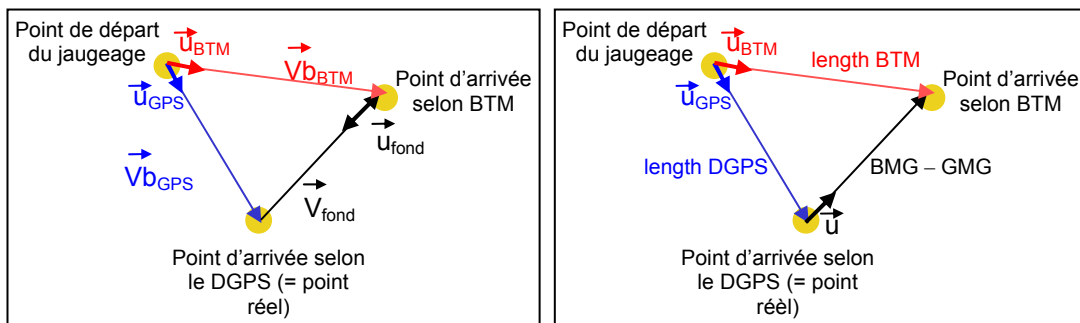
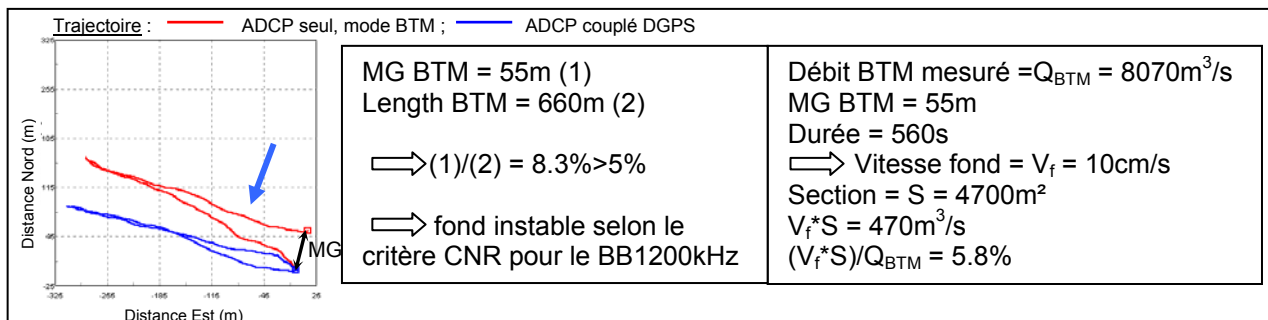


Figure 8 : Relations vectorielles sur les vitesses et sur les distances

3.3 Impact du fond mobile sur la mesure : exemples

- Exemple 1 : Mesures effectuées à Beaucaire en novembre 2002.

Voici les résultats d'un aller-retour avec le Broadband 1200kHz. Le débit est mesuré sur une traversée :



Comme on peut le voir sur la figure ci-dessus, l'ADCP Broadband 1200kHz était couplé au DGPS de la CNR.

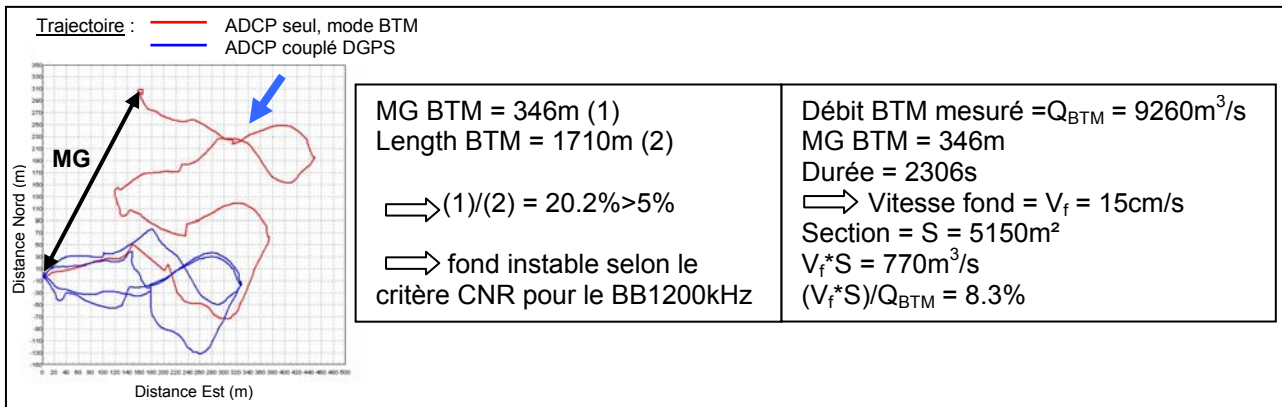
Dans les mêmes conditions, on a aussi effectué des mesures avec le Broadband 600kHz. Voici un récapitulatif des résultats obtenus (ces résultats sont arrondis) :

Q 1200kHz BTM =	8070 m ³ /s
Q 1200kHz BTM + V _f *S =	8540 m ³ /s
Q 1200kHz GPS =	8640 m ³ /s
Q 600kHz BTM =	8640 m ³ /s
Q 600kHz GPS =	8640 m ³ /s

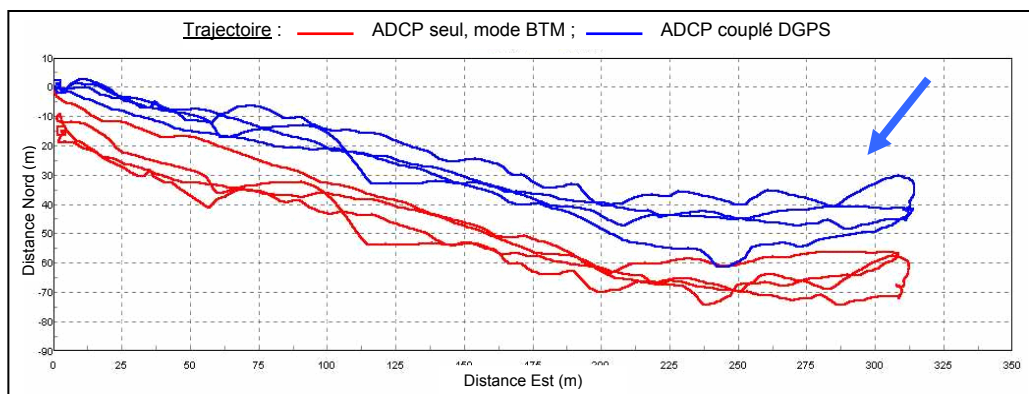
Ces résultats nous permettent de constater que le Broadband 600kHz est moins sensible que le Broadband 1200kHz au mouvement du fond. En effet le débit GPS et le débit BTM sont égaux. D'autre part, pour le 1200kHz qui est sensible au mouvement du fond, on constate que la correction appliquée permet d'approcher la valeur GPS, considérée comme la vraie valeur dans ce cas.

- Exemple 2 : Mesures effectuées à Beaucaire en décembre 2003.

Voici les résultats de deux allers-retours effectués avec le Broadband 1200kHz. Le débit mesuré l'est sur une traversée.

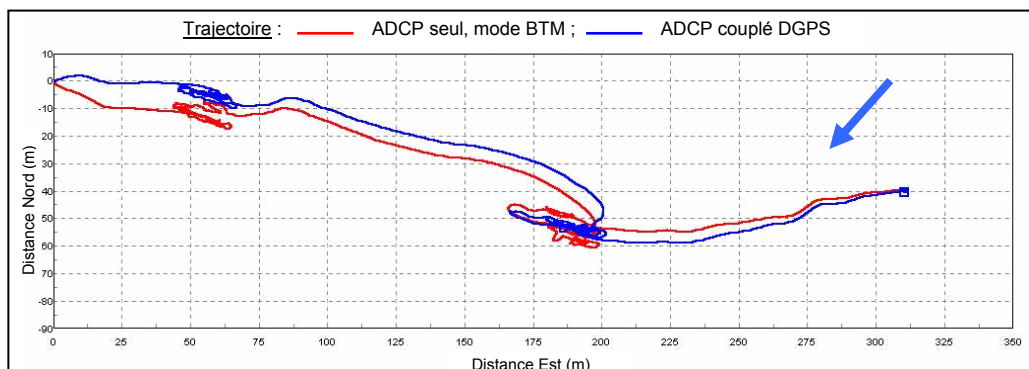


On a également effectué deux allers-retours avec le Broadband 600kHz. On alors obtenu les traces suivantes :



Pour cet essai, la distance MG en mode BTM est de 9m, ce qui est très faible par rapport à la distance MG BTM de 346m mesurée avec le 1200kHz.

Avec le Broadband 600kHz, on a également réalisé un aller simple avec deux points fixes en cours de traversée :



On observe que la trace du bateau en mode BTM est sensiblement la même que celle en mode GPS. La trajectoire BTM étant parfois en amont parfois en aval de la trace GPS, l'écart entre

les trajectoires ne s'expliquent pas par la présence d'un fond instable. Il s'agit surtout des erreurs de mesure.

Pour les essais de cette journée, nous pouvons comparer les débits mesurés :

Q 1200kHz BTM =	9 260 m ³ /s
Q 1200kHz BTM + V _f *S =	10 030 m ³ /s
Q 1200kHz GPS =	10 220 m ³ /s
Q 600kHz BTM =	9 990 m ³ /s
Q 600kHz GPS =	10 030 m ³ /s

De même que pour l'exemple 1, on observe que le Broadband 600kHz est moins sensible que le Broadband 1200kHz au mouvement du fond. En effet le débit GPS et le débit BTM sont très proches. D'autre part, pour le 1200kHz qui est sensible au mouvement du fond, on constate que la

correction appliquée permet d'approcher la valeur GPS, considérée comme la vraie valeur dans ce cas.

Un autre problème rencontré notamment dans le cas d'un fond mobile peut être mis en évidence sur les deux allers-retours effectués avec le Broadband 1200kHz : la présence d'ensembles manquants.

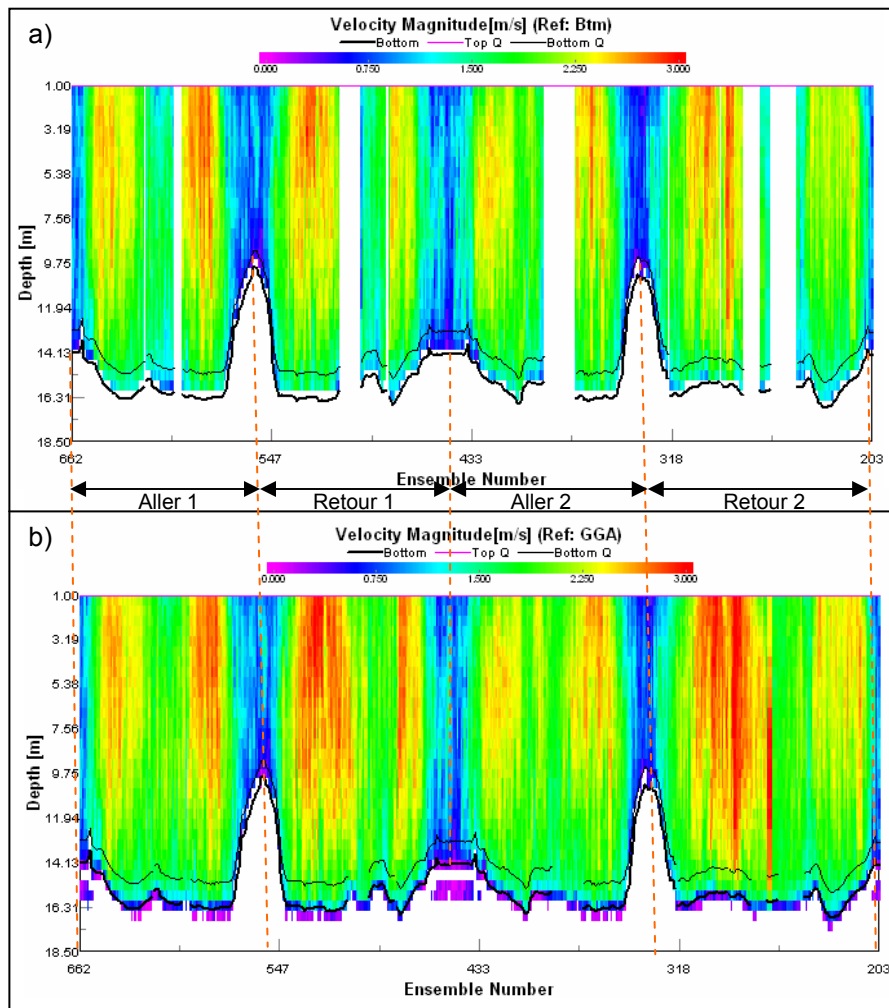


Figure 9

- a) Profil en travers des vitesses avec la vitesse du bateau en mode BTM
- b) Profil en travers des vitesses avec la vitesse du bateau en mode GPS

En mode BTM, l'ADCP ne détecte parfois pas correctement le fond. Dans ce cas, il ne connaît pas la vitesse du bateau par rapport au fond. Il ne peut donc pas déterminer la vitesse de l'eau par rapport au fond pour toutes les cellules de l'ensemble considéré. Cet ensemble est alors invalidé et apparaît comme blanc sur le profil des vitesses (cf. Figure 9-a). En revanche, en mode GPS, la vitesse du bateau est connue même si le fond est mal détecté. On peut donc calculer les vitesses de l'eau dans le référentiel GPS en tout point. Comme l'indique la Figure 9-b, il n'y a pas d'ensemble manquant sur le profil de vitesses en mode GPS. En comparant les deux profils, on observe que les vitesses de l'eau mesurées en mode GPS sont plus élevées que les vitesses de l'eau mesurées en mode BTM. Ceci rejoint le fait qu'en cas de fond mobile, les vitesses mesurées en mode BTM sous-estiment les vitesses réelles (cf. Figure 7). Le BB1200kHz est donc bien sensible à un fond mobile sur ces traversées.

En conclusion, on peut donc estimer l'instabilité du fond même sans disposer d'un DGPS, en utilisant le critère suivant : le rapport de la distance MG en mode BTM sur la longueur développée en mode BTM. Il faut noter que ces distances sont mesurées sur un aller-retour pour annuler l'effet d'une erreur systématique du compas interne de l'ADCP. On estimera que le fond est stable si ce rapport est inférieur à 5%, la valeur 5 étant propre à l'ADCP Broadband 1200kHz de la CNR. Dans ce cas la mesure en mode autonome sera privilégiée. Dans l'éventualité où ce rapport excède les 5%, le fond est considéré comme instable. La correction à appliquer au débit mesuré en mode autonome est alors estimée comme $(\text{Distance MG}/\text{Durée mesure}) \times \text{Section}$, l'incertitude liée à cette correction est inconnue. Divers essais effectués en période de crue ont montré que l'ADCP Broadband 600kHz était moins sensible aux mouvements superficiels du fond que l'ADCP Broadband 1200kHz, alors que le phénomène mesuré est le même. Ainsi, la basse fréquence du 600kHz permettrait de traverser la couche superficielle mobile pour détecter le substratum stable. Le fait de coupler l'ADCP à un DGPS permet de visualiser l'impact de la mobilité du fond sur la trajectoire du bateau mais permet aussi la mesure de la vitesse de l'eau même en l'absence de la mesure du fond. Toutefois, il est à noter que l'usage d'un DGPS n'est pas aisé en situation de crue. Il faut disposer d'une bonne zone de couverture satellite ainsi qu'un fonctionnement en mode LRK pendant toute la durée des mesures. Il vaut donc mieux bien maîtriser les ADCP et leur précision en mode autonome qu'ajouter trop d'équipement complémentaire.