

Détecteurs de victimes d'avalanche

Fonctionnement et aspects de compatibilité

Lorsqu'une avalanche s'est produite, les secours ne peuvent en général pas arriver sur place avant une vingtaine de minutes. Ce délai réduit fortement les chances de survie des personnes ensevelies. Leur localisation doit donc être entreprise sans tarder par leurs compagnons à l'aide de détecteurs de victimes d'avalanche. Or plusieurs générations de ces dispositifs sont actuellement en usage. Une étude de leur compatibilité est présentée, particulièrement dans le cas complexe d'un ensevelissement multiple.

Jean-Pierre Tinguely

La chance de survie des victimes d'avalanche décroît rapidement après le premier quart d'heure. Etant donné que l'aide organisée ne peut souvent intervenir qu'après 20 minutes, la recherche de compagnons à l'aide de détecteurs de victimes d'avalanche (DVA) devient prioritaire. Ces appareils permettent la localisation de la victime avant qu'elle ne puisse être repérée ponctuellement avec la sonde, puis dégagée avec la pelle.

Fonctionnement des DVA

Les DVA ont deux modes de fonctionnement : émission et recherche. Lors de randonnées à skis, le DVA est en mode émission et porté près du corps. L'appareil émet alors à courts intervalles des impulsions sur la fréquence internationale de 457 kHz. En mode recherche, le DVA reçoit ces impulsions et les traite pour localiser l'émetteur. La portée dépend de la position mutuelle des antennes de l'émetteur et du récepteur et elle est comprise entre 20 et 50 m.

Propriétés de la fréquence à 457 kHz

Pour une fréquence f et la vitesse de la lumière c (3×10^8 m/s), la longueur d'onde λ est donnée par la relation :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Il en résulte donc, pour $f = 457$ kHz, une longueur d'onde $\lambda = 656$ m. En champ proche, c'est-à-dire jusqu'à une distance $r = \lambda/2\pi$ de l'antenne d'émission, l'intensité du champ magnétique H est

inversement proportionnelle au cube de la distance r :

$$H \sim \frac{1}{r^3} \quad (2)$$

Or, les DVA captent à l'aide d'une antenne ferrite le champ magnétique H dans un rayon inférieur à 100 m et travaillent donc en champ proche. Cela signifie que l'intensité du champ varie fortement si l'on se rapproche ou si l'on s'éloigne de l'émetteur. La longueur d'onde élevée présente également l'avan-

tage d'une atténuation faible par la neige.

Appareils à une antenne

Les DVA analogiques, plus anciens, disposent d'une seule antenne. C'est le cas du légendaire Barryvox VS 68, produit sur mandat de l'armée suisse entre 1968 et 1994 par la maison Autophon, qui est répandu mondialement. En mode de recherche, les impulsions de signal sont reproduites acoustiquement. La localisation s'effectue selon le procédé orthogonal (**figure 1**) : on cherche le signal le plus fort le long d'une ligne droite, puis perpendiculairement à celle-ci.

Appareils multi-antennes

Les appareils numériques, actuellement considérés comme standard, disposent de deux ou trois antennes. En mode de recherche, ils indiquent distance et direction vers l'émetteur (**figure 2**). En champ proche, le champ produit par ce dernier peut être représenté par des lignes de forme elliptique. Leur densité correspond à l'intensité du champ et permet le calcul de la distance, alors que l'indication de direction suit ces lignes de champ.

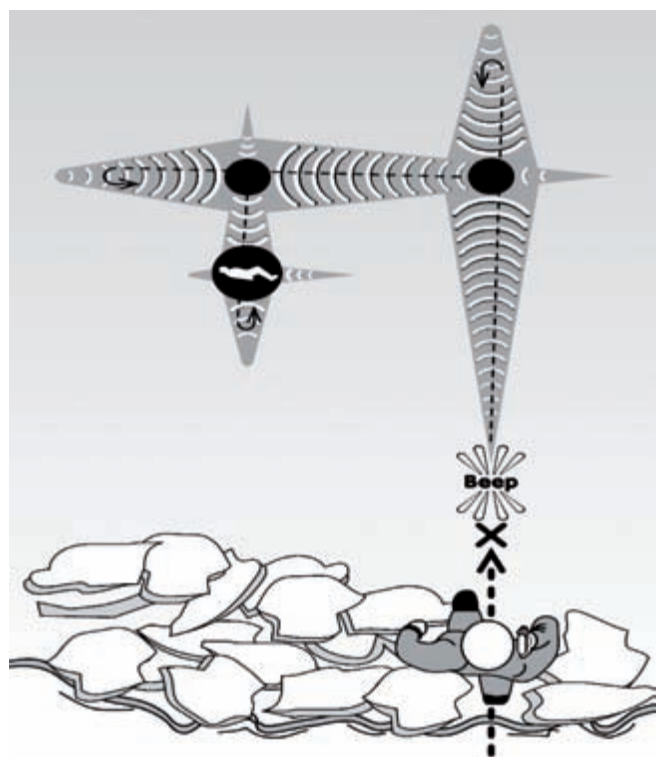


Figure 1 Procédé de recherche orthogonal des DVA analogiques.

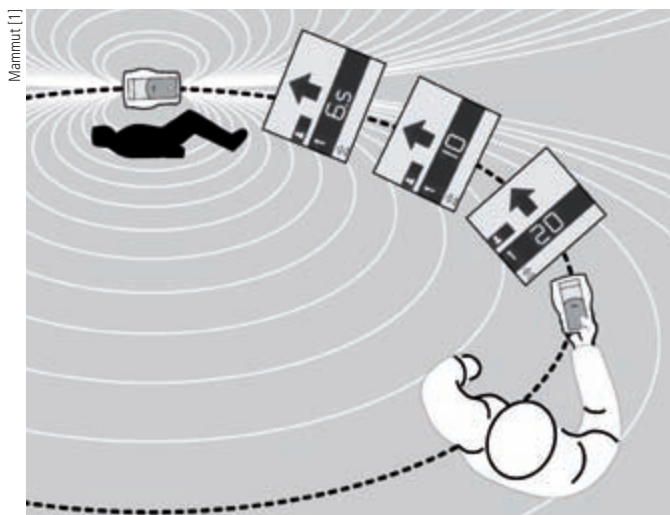


Figure 2 Procédé basé sur les lignes de champ utilisées par les DVA numériques.

Détermination de la direction

Dans un appareil multi-antennes, les antennes de réception sont positionnées de manière orthogonale. L'antenne principale (X), la plus longue, est disposée dans l'axe longitudinal de l'appareil. La deuxième antenne (Y) se situe dans un plan horizontal perpendiculairement à l'antenne X et sert à établir la direction de recherche.

L'angle α est déterminé à l'aide des composantes $|X|$ et $|Y|$ de l'intensité du signal S (figure 3) :

$$\alpha = \arctg \frac{|Y|}{|X|} \quad (3)$$

Le signe de l'angle α peut être déduit de la phase du signal Y par rapport au signal X. Etant donné que les antennes fonctionnent de façon bidirectionnelle, le récepteur ne peut pas différencier entre sens avant et arrière. Le DVA affiche d'abord le sens de la recherche conformément à l'orientation de l'appareil. Si cette indication est fautive, la distance affichée en suivant ce sens augmentera au lieu de diminuer. L'utilisateur en prendra connaissance, soit directement, soit par une indication particulière de l'appareil.

Les appareils actuels possèdent une troisième antenne (Z), disposée perpendiculairement au plan XY, qui permet une localisation fine plus fiable, particulièrement en cas d'ensevelissement pro-

fond. Certains modèles de DVA sont également équipés d'une boussole électronique. Elle sert à stabiliser l'indication de direction par rapport à des mouvements de rotation de l'appareil durant la recherche entre les instants de réception des impulsions du signal.

Propriétés du signal émis

En mode d'émission, la plupart des modèles de DVA utilisent l'antenne X. Les propriétés du signal émis (tableau) sont définies par la norme européenne ETS 300 718 [2]. Les appareils analogiques emploient, eu égard à l'indication acoustique du signal de réception, des longueurs d'impulsions de 300-400 ms, alors que les DVA numériques émettent des impulsions plus courtes, de 90 ms par exemple.

Méthodes d'analyse pour la séparation des signaux

Pour la séparation des signaux reçus en cas d'ensevelissement multiple, les méthodes suivantes peuvent être utilisées [3] : l'analyse de l'intensité du signal, l'analyse temporelle ou l'analyse de la fréquence d'émission.

Analyse de l'intensité du signal

C'est la méthode utilisée traditionnellement. Avec un DVA analogique, l'atténuateur du récepteur est réglé manuellement de manière que le signal le plus fort soit encore audible contrairement aux signaux plus faibles (figure 4). Les DVA numériques règlent la sensibilité de réception automatiquement, analysent l'intensité relative de chaque signal et indiquent direction et distance vers l'émetteur du signal le plus intense. Aussitôt le premier émetteur localisé, la victime est repérée ponctuellement avec la

sonde, dégagée, puis son DVA est déclenché. Les autres victimes sont ensuite localisées et dégagées séquentiellement selon le même procédé.

Si suffisamment de sauveteurs sont sur place ou si, dans le cas d'un ensevelissement profond, il faut prévoir beaucoup de temps pour le dégagement, il peut être indiqué de poursuivre la recherche d'autres victimes avant que le DVA localisé préalablement ait pu être déclenché. Les différentes stratégies de recherche utilisées reposent sur le même principe : s'éloigner du DVA localisé pour que la sensibilité du récepteur puisse être augmentée afin de pouvoir détecter l'émetteur suivant. Dans ce cas, pour les DVA numériques, la reproduction additionnelle du signal analogique peut être utile.

Analyse temporelle

Cette méthode, généralement utilisée par les DVA numériques avec fonction de marquage, est basée sur le fait que les suites d'impulsions émises ne sont pas parfaitement identiques d'un appareil à l'autre. Dans le cas d'anciens appareils, des différences de longueur et de période d'impulsion peuvent être liées aux divers types de détecteurs ou provenir d'une dispersion entre exemplaires du même type. Les émetteurs DVA plus récents utilisent des périodes d'impulsions dispersées, par pas de 10 ms par exemple. Cette dispersion peut être liée à l'exemplaire

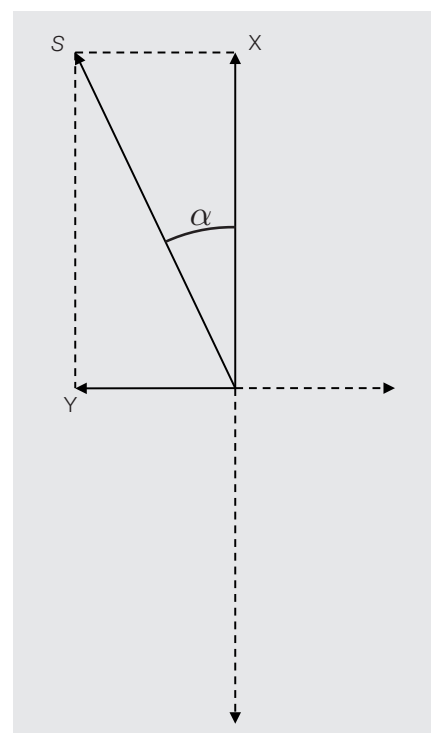
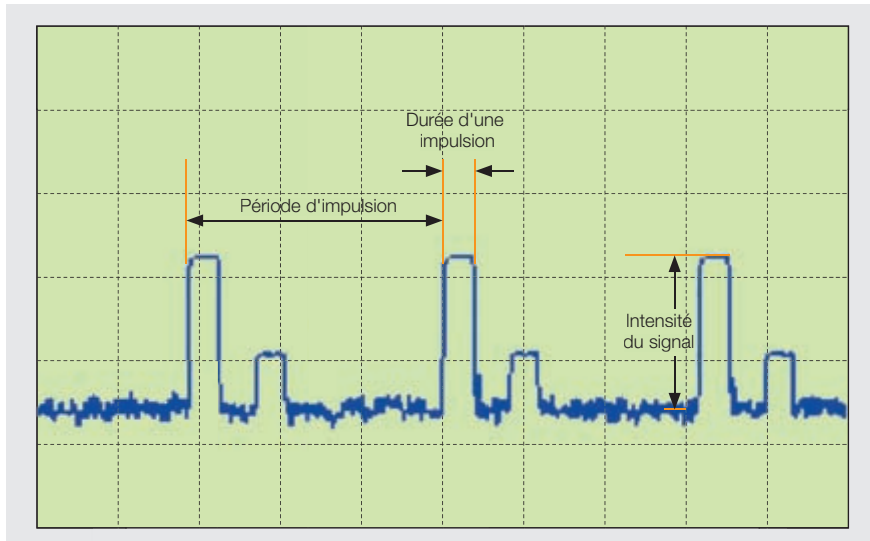


Figure 3 Détermination de la direction de recherche.

Fréquence d'émission	457 kHz \pm 80 Hz
Longueur d'impulsion	70 - 900 ms
Période d'impulsion	700 - 1300 ms
Intensité du champ d'émission	0,5 - 2,23 μ A/m à 10 m de distance

Tableau Propriétés du signal d'émission définies par la norme européenne ETS 300 718.



Th. Lund [5]

Figure 4 Signal d'impulsion démodulé provenant de 2 émetteurs.

(par exemple selon le dernier chiffre du numéro de série) ou être générée de manière aléatoire lors de l'enclenchement du DVA.

Fonction de marquage

En mode de recherche, le récepteur d'un DVA numérique tente de recenser tous les signaux présents. Les émetteurs détectés sont affichés selon leur distance (intensité du signal). Le DVA présélectionne l'émetteur le plus proche et guide le sauveteur vers celui-ci (figure 5). Dès que la première victime est localisée, le sauveteur peut marquer cet émetteur comme trouvé. Le DVA va masquer les émetteurs marqués et guider le sauveteur vers la prochaine victime.

De manière générale, on considère que la fonction de marquage est, pour un chercheur moyennement entraîné, efficace pour des cas avec deux à trois personnes ensevelies. En plus de l'indication numérique, certains appareils offrent également la tonalité analogique. Ceci permet de vérifier la présence éventuelle d'un émetteur non indiqué par l'affichage numérique.

Analyse de la fréquence d'émission

L'écart de la fréquence d'émission par rapport à la valeur nominale de 457 kHz peut aussi être utilisé pour séparer les signaux. L'extraction de l'information de fréquence à partir du signal temporel peut être effectuée à l'aide de la transformée de Fourier rapide (Fast Fourier Transform FFT).

La résolution atteignable est limitée par la longueur d'impulsion minimale de 70 ms, ainsi que par la déviation en fré-

quence des oscillateurs à quartz qui ne dépasse guère quelques Hz. L'analyse de la fréquence est proposée par certains constructeurs de manière complémentaire.

Technique des récepteurs

Les récepteurs actuels utilisent le traitement de signal numérique (Digital Signal Processing ou DSP). L'exemple de la figure 6 se réfère au DVA Mammüt Barryvox Pulse [4] produit par Adaxys Hombrechtikon. Le signal incident est filtré en passe-bande (PB) puis, selon le principe du récepteur homodyne, abaissé par le mélangeur (M, f_{osc}) à la fréquence de la bande de base. Après l'amplification (A) et la conversion analogique/numérique (A/D), le signal est traité par un processeur DSP : une transformée de Fourier rapide (FFT) balaie le domaine de fréquence de $457 \text{ kHz} \pm 180 \text{ Hz}$ pour déterminer les fréquences et les amplitudes des signaux à considérer. Le signal est ensuite traité par un filtre numérique adaptatif en temps réel.

Les résultats FFT permettent de positionner la fréquence centrale du filtre et d'ajuster sa bande passante. Cette dernière est limitée à la couverture des signaux présents afin d'optimiser le rapport signal/bruit et de ce fait la portée du récepteur. L'ajustage de la fréquence centrale du filtre est réalisé par un filtre en bande de base et un glissement de la fréquence de l'oscillateur local du récepteur. L'utilisation d'un filtre en temps réel permet une résolution élevée du signal dans le domaine temporel et de ce fait une analyse temporelle plus précise en vue de la séparation des signaux.

La sensibilité du récepteur est réglée automatiquement (Automatic Gain Control ou AGC). La tonalité analogique est quant à elle obtenue par conversion ascendante (up-conversion) de la bande de base vers la fréquence sonore.

Embûches de la séparation des signaux

La séparation des signaux, en permettant le marquage, facilite la recherche. Cette technique a cependant aussi certaines limites.

- Les différents signaux d'émission peuvent temporairement se chevaucher. Cela peut passagèrement rendre la séparation difficile, voire impossible, et interrompre la recherche (message « Restez sur place! ») ou provoquer des indications erronées. La probabilité de rencontrer de longues périodes de chevauchement de signaux dépend de la longueur des impulsions et de la similitude des périodes d'impulsion [5]. La compatibilité de la fonction de marquage avec des DVA plus anciens, avec durées d'impulsion plus longues et périodes d'impulsion non aléatoires, est de ce fait limitée.

- A proximité immédiate d'un émetteur, le récepteur réduit sa sensibilité. Cela peut entraîner la perte d'un signal distant. Si par la suite le chercheur s'éloigne, l'émetteur distant sera à nouveau reçu, ce qui peut conduire à une détection multiple et mener le sauveteur vers un DVA déjà marqué préalablement.

- Si à proximité d'un émetteur, le récepteur ne réduit pas suffisamment sa sensibilité, cela peut conduire à un effet de saturation avec détérioration des indications de direction et de distance.

Un test pratique [6] montre des différences de performances entre divers types de DVA du point de vue de la séparation des signaux et du marquage. Le test a été effectué avec des émetteurs à durées d'impulsion courtes et aléatoires et à périodes d'impulsion aléatoires.



Mammüt [1]

Figure 5 Affichage en cas d'ensevelissement multiple.

Solutions particulières

Plusieurs constructeurs essaient d'améliorer les performances des appareils à l'aide de techniques particulières.

Mode analogique

Certains DVA numériques conçus pour utilisateurs avancés offrent une option de recours (fall back) avec analyse de l'intensité du signal, indication additionnelle du signal acoustique et réglage manuel de la sensibilité (mode analogique). Ce mode peut être utilisé pour résoudre des situations d'ensevelissements complexes à l'aide de stratégies de recherche particulières (méthode des trois cercles, méthode des microbandes).

W-Link

Mammut Barryvox Pulse et ARVA Link transmettent en mode d'émission la valeur randomisée de la période d'impulsion à l'aide d'un W-Link sur 869,8 MHz, ceci à l'intention de récepteurs de recherche supportant cette option.

Smart Transmitter

Le concept « Smart Transmitter » proposé par Pieps a pour objectif d'ajuster en mode d'émission la position des impulsions de manière à éviter des collisions avec les signaux émis par d'autres DVA à proximité. Pour ce faire, le DVA active son récepteur durant le temps entre les impulsions d'émission afin de détecter la présence et la position temporelle de signaux émis par d'autres DVA. Ce procédé implique l'adaptation de la période d'impulsion, ce qui risque de troubler les algorithmes de séparation des récepteurs de recherche.

Smart Antenna

En mode de recherche, le DVA est tenu de manière horizontale. Si le DVA émetteur de la personne ensevelie se trouve en position verticale, l'orientation de l'antenne d'émission est perpendiculaire à celle de l'antenne principale de réception. Ce cas est défavorable par rapport à la portée. Le concept « Smart Antenna » d'Ortovox détecte en mode d'émission la position du DVA. Si le DVA est en position verticale, l'émetteur commute sur l'antenne Y.

Conformité en fréquence

Les émetteurs équipés d'oscillateurs pilotés à l'aide de résonateurs à quartz respectent de manière générale très bien la tolérance de fréquence prescrite. Ceci est aussi valable pour de plus anciens appareils tels que les Barryvox VS 68 ou

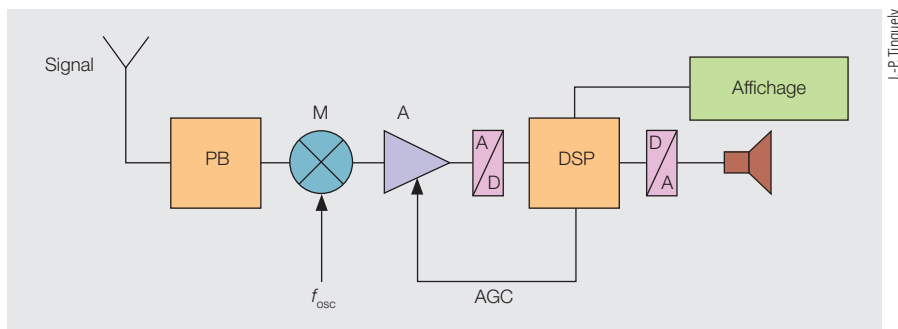


Figure 6 Principe de fonctionnement d'un récepteur DVA.

VS 2000. Certains DVA utilisent cependant des résonateurs céramiques à prix avantageux. De tels appareils ont montré des déviations de la fréquence d'émission non conformes [7].

Les récepteurs analogiques équipés de filtres à quartz avec caractéristique en forme de cloche sont relativement tolérants à cet égard. Par contre, les récepteurs des DVA numériques disposent de filtres avec une atténuation hors bande plus élevée. De ce fait, certains émetteurs non conformes pourraient ne plus être détectés. C'est pourquoi, au départ d'une course à skis, le chef de course vérifie à l'aide de son DVA les émetteurs du groupe. La fonction de test de groupe des DVA récents effectue alors une mesure de fréquence et indique les déviations non conformes.

Conclusions

La technique à trois antennes, l'indication de direction et de distance, ainsi que la fonction de marquage des DVA actuels facilitent considérablement la recherche de victimes. Toutefois les nouveaux appareils, tout comme les anciens, exigent du sauveteur une familiarisation qui ne peut être obtenue qu'avec un entraînement répété.

La norme ETS 300 718 ne couvre quant à elle que partiellement la fonctionnalité des DVA actuels. Une adaptation des définitions des caractéristiques du signal d'émission paraît utile. Il semble également souhaitable de définir des critères d'évaluation et des configurations de test uniformes en tenant compte des fonctionnalités actuelles des DVA.

Références

- [1] Pulse Barryvox: manuel d'utilisation.
- [2] Norme ETSI EN 300 718-1 V1.2.1 (2001-05): Avalanche beacons; Transmitter-receiver systems.
- [3] F. Meier: Avalanche transceivers and multi burials. The Avalanche Review, Vol. 26, No. 4, April 2008.
- [4] D. Forrer, Pulse Barryvox development, Forrer Solutions GmbH, CH-9630 Wattwil.

- [5] Th. Lund: Signal strength versus signal timing. The Avalanche Review, Vol. 26, No. 2, December 2007.
- [6] www.kassensturz.sf.tv/Nachrichten/Archiv/2012/01/24/Test/Lawinensuchgeraete-Lebensretter-mit-Maengeln.
- [7] F. Sivardière: Transceiver tests: laboratory measurements. Anena, Neige et Avalanches, No. 95, September 2001.

Informations sur l'auteur



Jean-Pierre Tinguely est ingénieur électricien ETS retraité. Il vit à Schmitten/FR et conduit des randonnées à skis pour seniors.

Jean-Pierre Tinguely, 3185 Schmitten, hans-peter.tinguely@bluewin.ch

Zusammenfassung

Lawinenverschütteten-Suchgeräte

Funktionsweise und Kompatibilitätsaspekte

Kommt es bei einer Skitour zum Abgang einer Lawine, benötigen die Rettungskräfte normalerweise mindestens zwanzig Minuten, um vor Ort zu sein. Dadurch verringern sich die Überlebenschancen der Verschütteten drastisch. Daher muss ihre Lokalisierung unverzüglich von ihren Kameraden mithilfe von Lawinenverschütteten-Suchgeräten (LVS-Geräte) eingeleitet werden. Derzeit sind jedoch mehrere Generationen dieser Geräte im Einsatz. In diesem Artikel werden die Funktionsweise und die Besonderheiten der verschiedenen LVS-Geräte beschrieben sowie eine Studie über deren Kompatibilität, wobei besonderes Augenmerk auf den komplexen Fall einer Mehrfachverschüttung gelegt wird. Verschiedene Analysemethoden zur Signaltrennung werden vorgestellt und deren Grenzen aufgezeigt. Schliesslich werden die von verschiedenen Herstellern vorgeschlagenen Lösungen präsentiert. Der komplette Artikel kann in deutscher Sprache auf der Website www.bulletinonline.de heruntergeladen werden.

CHe