

**SYSTEME ET PROCEDE DE TAGGAGE RADIOELECTRIQUE D'EMETTEURS  
RADIOELECTRIQUES.**

L'objet de l'invention concerne un système et un procédé  
5 permettant un taggage radioélectrique d'émetteurs radioélectriques au  
moyen d'un signal secondaire émis simultanément sur la même fréquence et  
en accompagnement d'un signal principal, ce signal secondaire étant  
reconnaissable uniquement par des tiers autorisés.

L'invention s'applique à tous les types d'émetteurs ; infrastructures  
10 de réseaux de communication ; terminaux ; sondeurs de canaux de  
propagation ; systèmes d'émission tiers employés pour le contrôle des  
communications générateurs ou non d'interférences ; etc. dont les signaux  
principaux sont, dans le cadre de la mise en œuvre de l'invention,  
accompagnés d'un signal secondaire de taggage présentant des  
15 caractéristiques permettant l'identification sans ambiguïté de l'émetteur.

En matière de système radioélectriques et de plate-forme  
supportant des systèmes d'émission/réception, il est connu d'utiliser un  
système d'identification d'un utilisateur ami ou autorisé sur des fréquences  
20 spécifiques (principe des interrogateurs amis-ennemis IFF ou en anglo-saxon  
« Identification Friend and Foe »). Un transpondeur de ce type réalise un  
taggage externe dans la mesure où il répond à une interrogation reconnue  
comme provenant d'un utilisateur autorisé, en renvoyant une réponse sous  
forme d'un signal codé spécifiquement pour lesdits récepteurs autorisés.

25 Dans ces systèmes, les inconvénients majeurs résident dans le  
fait que les plans de fréquence supportant les échanges  
d'interrogations/réponses sont fixes et connus, et dans le fait que les signaux  
sont assez aisément détectables et analysables par des récepteurs tiers. Par  
exemple les transpondeurs IFF, même dans leurs versions protégées (mode  
30 S ou mode 5 connus de l'Homme du métier), reçoivent l'interrogation sur une  
fréquence connue et normalisée (1 030 MHz), et répondent sur une

fréquence tout aussi connue et normalisée (1 090 MHz). Les fréquences 1030 et 1090 MHz peuvent ainsi facilement être surveillées, analysées, voire perturbées par des tiers (interférences).

D'autre part, il est nécessaire de disposer de systèmes émetteurs  
5 spécifiques à l'identification, opérant dans des bandes elles aussi spécifiques et généralement très différentes des bandes d'émission des signaux utiles, d'où une augmentation de l'indiscrétion, une vulnérabilité accrue vis à vis de tiers, une augmentation du nombre de composants matériels, des risques accrus pour la compatibilité électromagnétique, etc.

10 Concernant les réseaux de radiocommunications numériques modernes, il est aussi connu d'inclure des mots de trame, des séquences de synchronisation et des signaux pilotes dans les formes d'ondes à accès multiple par division fréquentielle ou FDMA (Frequency Division Multiple Access), à accès multiple par division temporelle ou TDMA (Time Division  
15 Multiple Access), à accès multiple par répartition en code ou CDMA (Code Division Multiple Access) ou dans les modulations de codage par répartition en fréquences orthogonales ou OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) qui permettent à un utilisateur de détecter les réseaux hôtes et de se synchroniser sur des émetteurs d'infrastructure, sur des terminaux relais  
20 ou sur des noeuds de communication. Le taggage de l'émetteur est réalisé par l'inclusion de ces mots, séquences ou signaux pilotes, ainsi que par des messages codés dans la signalisation diffusée auxquels la détection de ces mots séquences ou signaux pilotes donnent accès. Ce taggage est alors interne au signal utile.

25 Les systèmes et procédés connus de cet art antérieur présentent notamment comme inconvénient de nécessiter des formes d'ondes et des protocoles d'accès complexes, et d'autant plus complexes qu'une protection est recherchée pour ces mots, séquences, signaux pilotes et messages de signalisation vis à vis de tiers non autorisés. Ces procédés ne s'appliquent  
30 donc qu'à certaines catégories restreintes de systèmes d'émission (typiquement des infrastructures et des noeuds de communications dans les

réseaux numériques). Ils consomment de plus une part significative de la ressource radioélectrique allouée pour les émissions et pour le fonctionnement global des réseaux qui les mettent en œuvre, aux dépends de la capacité des émetteurs et du réseau. Enfin lorsque les mots, séquences, signaux pilotes et messages de signalisation doivent être protégés vis à vis de tiers non autorisés, les formes d'ondes et protocoles d'accès correspondants se trouvent fortement complexifiés.

La demande de brevet US 2010/0246825 correspond à une technique (bien connue) d'authentification des messages transmis telle qu'utilisée dans les procédés de crypto et de contrôle d'intégrité modernes.

La demande de brevet, FR 2 629 655 A1, concerne l'identification ami-ennemi efficace et décrit un système utilisant un signal d'identification qui a un niveau inférieur aux autres signaux.

Le document de KLEIDER J E ET AL: "Radio frequency watermarking for OFDM wireless networks", frequency watermarking for OFDM wireless networks", ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING, 2004. PROCEEDINGS. (ICASSP ' 04). IEEE, H04L9/32 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MONTREAL, QUEBEC, CANADA 17-21 MAY 2004, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, H04H60/35 vol. 5, 17 mai 2004 (2004-05-17), pages H04B1/59397-400, XP010718949, divulgue un procédé de Watermarking Radio.

Pour la suite de la description, on définira les notions suivantes :

- Un signal utile, noté  $S_u$  dans la suite, est un signal radioélectrique principal provenant d'un émetteur de tout type (infrastructure ou nœud d'un réseau de communication; terminal; sondeurs de canal; systèmes d'émissions employés pour le contrôle des communications dans un réseau, générateurs ou non d'interférences; etc.) ; ainsi, dans le cadre de l'invention, un signal d'interférence pourra être considéré comme un signal utile et noté  $S_u$ .

- Un signal tag ou signal de taggage, noté  $C_{tag}$  dans la suite, est un signal secondaire émis en même temps et sur les mêmes bandes de fréquence que le signal utile, mais généralement à des niveaux plus faibles, et qui présente des paramétrages et/ou qui contient des informations reconnaissables par des utilisateurs autorisés à des fins d'identification de l'émetteur du signal utile par des tiers autorisés.

Le procédé et le système selon l'invention reposent notamment sur l'utilisation d'un signal de taggage radioélectrique, construit pour n'être détectable que par des utilisateurs autorisés, l'émission de ce signal de taggage s'effectuant à plus faible puissance que le signal utile mais de manière concomittente, afin que ledit signal de taggage soit (volontairement) interféré « à la source » par le signal utile. Seuls des récepteurs autorisés et informés des caractéristiques du signal de taggage sont capables de le détecter de le reconnaître et de l'interpréter dans le mélange des signaux reçus  $S_u + C_{tag}$ .

L'invention concerne un système pour tagger radio électriquement un émetteur d'un premier signal utile  $S_u$ , par un second signal de taggage  $C_{tag}$  comprenant des caractéristiques temporelles et fréquentielles paramétrables, ledit signal de taggage est émis simultanément en accompagnement du signal utile  $S_u$ , ledit émetteur opérant dans un système comportant plusieurs utilisateurs autorisés et adaptés à reconnaître le signal de taggage, par des traitements spécifiques ledit système comportant au moins les éléments suivants :

Des moyens de génération de signal :

- adaptés à produire un signal utile  $S_u$  dans une bande de fréquence  $B$  donnée, à une fréquence  $f_{Su}$  et une amplitude  $A_{Su}$ , et
- connaissant au moins les valeurs du paramètre de bande  $B_{Su}$  du signal utile  $S_u$  et de l'amplitude  $A_{Su}$  du signal utile  $S_u$ , adaptés à déterminer à partir de ces dites valeurs, les paramètres du signal de taggage  $C_{tag}$  tels que :

- la porteuse du signal de taggage  $C_{tag}$ ,
  - la bande  $B_{C_{tag}}$  du signal de taggage,
  - l'amplitude  $A_{C_{tag}}$  du signal de taggage avec un niveau de signal inférieur de X dB au signal utile  $X=A_{C_{tag}}/A_{Su}$
- 5       - les caractéristiques temporelles du signal de taggage  $C_{tag}$ , telles que
- ses caractéristiques de modulation : constellation, rythme  $R_{C_{tag}}$ , filtrage à l'émission éventuel
  - sa durée et sa période de répétition,  $T_{C_{tag}}$ ,
  - la description de sa constitution sur une période  $T_{C_{tag}}$
- 10   Une antenne d'émission adaptée à émettre simultanément ledit signal  $S_u$  et ledit signal de taggage dont le niveau est inférieur de X dB au signal utile  $S_u$ ,  
Des moyens de réception et de traitement du signal utile et du signal de taggage adaptés à détecter et à discriminer le signal de taggage du signal utile.
- 15       Le système est, par exemple, un réseau de communication, un réseau de génération de signaux de sondage, ou un réseau de génération de signaux interférants.
- La description de la constitution précise du signal de taggage sur une période  $T_{C_{tag}}$  permet la régénération au sein des récepteurs autorisés
- 20   pour le besoins de leurs traitements.
- Le système peut aussi disposer d'un enregistrement préalable en bande de base du signal de taggage  $C_{tag}$  sur une période de répétition  $T_{C_{tag}}$ , destiné en permettre la relecture au sein des récepteurs autorisés pour les besoins de leur traitements.
- 25       Les moyens de génération de signal comportent, par exemple :
- Un premier générateur adapté à produire ledit signal utile  $S_u$  dans une bande de fréquence  $B_{Su}$  donnée, à une fréquence  $f_{Su}$  et une amplitude  $A_{Su}$ , ce premier générateur analogique ou numérique, par exemple,
  - Un deuxième générateur analogique ou numérique connaissant au moins
- 30   les valeurs du paramètre de bande  $B_{Su}$  du signal utile  $S_u$  et de l'amplitude  $A_{Su}$

du signal utile  $S_u$ , adapté à déterminer, à partir de ces dites valeurs, les paramètres du signal de taggage  $C_{tag}$ , ou:

- la porteuse de  $C_{tag}$
- la bande  $B_{C_{tag}}$  de  $C_{tag}$ ,
- 5 - l'amplitude  $A_{C_{tag}}$  de  $C_{tag}$ ,
- les caractéristiques temporelles du signal de taggage telles qu'un rythme de modulation (noté  $R_{C_{tag}}$ ), une période de répétition, notée  $T_{C_{tag}}$ ,
- la description de sa constitution précise sur une période  $T_{C_{tag}}$  afin de
- 10 permettre la régénération au sein des récepteurs autorisés pour les besoins de leurs traitements,
- Un système d'enregistrement/ré-émission ou un exciteur numérique, recevant le signal utile  $S_u$  et le signal de taggage  $C_{tag}$  et adapté à ré-émettre lesdits signaux en contrôlant les amplitudes et les synchronismes.

15

Le système peut aussi disposer d'un enregistrement préalable en bande de base du signal de taggage  $C_{tag}$  sur une période de répétition  $T_{C_{tag}}$ , destiné à permettre la relecture au sein des récepteurs autorisés pour les besoins de leurs traitements.

20

Les moyens de génération et d'émission du signal utile et du signal de taggage sont, par exemple, adaptés à produire :

- un signal en bande de base,
- un signal résultant à l'instant  $t$ ,  $S(t)=S_u(t)+(A_{C_{tag}}/A_{S_u}).C_{tag}(t)$ , ledit signal résultant  $S(t)$  étant obtenu par addition des signaux  $S_u(t)$  et  $C_{tag}(t)$  en bande
- 25 de base en sortie des deux générateurs, en respectant le rapport des amplitudes  $X=A_{S_u}/A_{C_{tag}}$  par application de la pondération  $X=A_{C_{tag}}/A_{S_u}$  sur le signal de taggage  $C_{tag}(t)$ , puis
- à transposer sur une porteuse  $f_0$  et à amplifier d'un facteur  $A_{S_u}$  le signal  $S(t)$  issu du mélange, afin de générer en sortie le signal total analogique amplifié
- 30 sur porteuse  $S_{Porteuse}(t) = [A_{S_u}.S_u(t)+(A_{C_{tag}}).C_{tag}(t)].\cos(2\pi f_0 t)$ .

Les moyens de génération de signal sont, par exemple, composés d'un unique générateur numérique à mémoire programmable et d'un unique étage de conversion numérique analogique transposition et amplification,

- ledit générateur numérique est adapté à être utilisé séquentiellement afin
- 5 de générer le signal utile  $S_u$  puis le signal de taggage  $C_{tag}$ ,
- ledit générateur numérique possède une mémoire programmable,
- et ledit générateur numérique est adapté :

- à générer le signal de taggage  $C_{tag}(k.T_E)$  et le signal utile  $S_u(k.T_E)$  en bande de base aux instants d'échantillonnage  $t=k.T_E$  avec  $T_E$  : la période
- 10 d'échantillonnage,  $k$  : l'indice temporel de l'échantillon  $k$ , en respectant la pondération  $X=A_{C_{tag}}/A_{S_u}$  sur le signal de taggage échantillonné  $C_{tag}(k.T_E)$ , puis,

- à générer sous forme échantillonnée le mélange résultant
- $S(k.T_E)=S_u(k.T_E)+(A_{C_{tag}}/A_{S_u}).C_{tag}(k.T_E)$  en bande de base aux instants
- 15 d'échantillonnage  $t=k.T_E$ ,

- ledit étage de conversion numérique analogique transposition et amplification, est adapté à générer le signal total analogique sur porteuse en
- sortie  $S_{Porteuse}(t) = [A_{S_u}.S_u(t)+(A_{C_{tag}}).C_{tag}(t)].\cos(2\pi f_0 t)$  à l'aide de la conversion
- numérique analogique transformant  $S(k.T_E)$  en  $S(t)$ , de la transposition sur
- 20 porteuse  $f_0$ , et de l'amplification d'un facteur  $A_{S_u}$ .

La valeur de  $X$  est au moins égale à -10 dB, et de préférence varie de -20 dB à -50 dB.

Selon une variante de réalisation, le dispositif de génération du signal  $C_{tag}$  comprend un moyen adapté à générer des codes pseudo-

25 aléatoires PN, de niveau, de période et de composition paramétrables pour former le signal de taggage, ladite composition est obtenue en utilisant l'une des méthodes suivantes : totalement arbitraire, par simulations ou par calculs, par des registres à décalage ou par des combinaisons entre registres à décalage.

30 Le système peut comporter un générateur de séquences binaires choisies parmi la liste suivante : des séquences binaires de longueur

maximale, des séquences de Gold ou de type Gold, des Séquences dual-BCH, des séquences de Kasami simples ou étendues, des séquences de Mac Eliece, des codes de Barker, ou tout autre type de séquence pseudo-aléatoire générée par des procédés algébriques.

5 Les moyens de réception peuvent comporter une base de données comprenant des caractéristiques de codes utilisés pour la génération du signal de taggage  $C_{\text{tag}}$ .

L'invention concerne un système d'émission-réception où les moyens de réception sont des moyens de réception informés, comprenant  
10 une base de données composée des caractéristiques complètes et de la composition des codes utilisés pour la génération du signal de taggage  $C_{\text{tag}}$ .

L'invention concerne aussi un procédé

- pour tagger radio électriquement un émetteur d'un premier signal utile  $S_u$ , par un second signal de taggage  $C_{\text{tag}}$  comprenant des caractéristiques  
15 temporelles et fréquentielles paramétrables,

- ledit signal de taggage est émis simultanément en accompagnement du signal utile  $S_u$ ,

- ledit émetteur opérant dans un système comportant plusieurs utilisateurs autorisés et adaptés à reconnaître le signal de taggage, par des traitements  
20 spécifiques, caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :

- produire un signal utile  $S_u$  dans une bande de fréquence  $B$  donnée, à une fréquence  $f_{S_u}$  et une amplitude  $A_{S_u}$ , et

- connaissant au moins les valeurs du paramètre de bande  $B_{S_u}$  du signal utile  $S_u$  et de l'amplitude  $A_{S_u}$  du signal utile  $S_u$ , déterminer à partir  
25 de ces dites valeurs, les paramètres du signal de taggage  $C_{\text{tag}}$  :

- la porteuse de  $C_{\text{tag}}$ ,

- la bande  $B_{C_{\text{tag}}}$  de  $C_{\text{tag}}$ ,

- l'amplitude  $A_{C_{\text{tag}}}$  de  $C_{\text{tag}}$  avec un niveau de signal inférieur de  $X$  dB au signal utile  $X=A_{C_{\text{tag}}}/A_{S_u}$

30 - les caractéristiques temporelles de  $C_{\text{tag}}$ , telles que

- ses caractéristiques de modulation : constellation, rythme  $R_{C_{tag}}$ , filtrage à l'émission éventuel
- sa durée et sa période de répétition,  $T_{C_{tag}}$ ,
- la description de sa constitution sur une période  $T_{C_{tag}}$  adaptée à permettre la régénération au sein des récepteurs autorisés pour le besoins de leurs traitements,
- pour émettre simultanément ledit signal  $S_u$  et ledit signal de taggage dont le niveau est inférieur de X dB au signal utile  $S_u$ ,
- pour discriminer au niveau de la réception du signal, le signal de taggage du signal utile du signal utile.

Le procédé est, par exemple, mis en œuvre dans un réseau de communication, un réseau de génération de signaux de sondage, ou un réseau de génération de signaux interférants.

- Le procédé peut aussi disposer d'un enregistrement préalable en bande de base du signal de taggage  $C_{tag}$  sur une période de répétition  $T_{C_{tag}}$ , destiné en permettre la relecture au sein des récepteurs autorisés pour les besoins de leur traitements.

- Pour la mise en œuvre du procédé, il est possible d'utiliser des moyens de génération distincts pour produire le signal utile  $S_u$  et le signal de taggage  $C_{tag}$ .

- Selon une variante de mise en œuvre du procédé, on génère un signal résultant à l'instant t  $S(t)=S_u(t)+(A_{C_{tag}}/A_{S_u}).C_{tag}(t)$  que l'on transpose sur une porteuse  $f_0$  et que l'on amplifie d'un facteur  $A_{S_u}$ , pour obtenir un signal sur porteuse amplifié en sortie  $S_{Porteuse}(t) = [A_{S_u}.S_u(t)+(A_{C_{tag}}).C_{tag}(t)].\cos(2\pi f_0 t)$ , ledit signal résultant  $S(t)$  étant obtenu par addition des signaux en bande de base en sortie de deux générateurs analogiques ou numériques, en respectant les amplitudes  $A_{S_u}$  et  $A_{C_{tag}}$  par application d'une pondération  $X=A_{C_{tag}}/A_{S_u}$  sur le signal de taggage dans le signal résultant.

- La valeur de X est choisie, par exemple, au moins égale à -10 dB, et de préférence variant de - 20 dB à - 50 dB.

Lors de l'exécution du procédé on génère des codes pseudo-aléatoires PN, de niveau, de période et de composition paramétrables pour former le signal de tagage.

Selon une variante, on utilise des caractéristiques de codes  
5 mémorisées dans une base de données afin de discriminer au niveau de la réception du signal, le signal de tagage  $C_{\text{tag}}$  du signal utile.

Au cours de l'exécution du procédé on utilise, par exemple,

- des moyens de réception informés, comprenant une base de données composée des caractéristiques complètes et de la composition des codes  
10 utilisés pour la génération du signal de tagage  $C_{\text{tag}}$ , et
- des techniques de détection de type orienté sur les caractéristiques du signal, basées sur l'emploi de l'auto-corrélation cyclique, premier et second moments, l'estimation du premier moment étant restreinte au domaine des fréquences cycliques proches du rythme de modulation du signal  $C_{\text{tag}}$   
15 restreinte aux domaines des retards proches de 0 et proches de la période  $T$  de répétition du signal  $C_{\text{tag}}$ , l'estimation du second moment étant restreinte au domaine des fréquences cycliques proches du rythme de modulation augmenté du double de la fréquence porteuse.
- des techniques de détection de type informé, basées sur filtrage adapté au  
20 signal de tagage  $C_{\text{tag}}$ , filtrage temporel ou spatio-temporel si le récepteur informé dispose d'un réseau d'antennes en réception dont les performances théoriques sont optimales.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention  
25 apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit d'un exemple de réalisation donnée à titre illustratif et nullement limitatif annexé des figures qui représentent :

- la figure 1, un schéma général du système selon l'invention,
- la figure 2, un exemple de système émission et de système de  
30 réception selon l'invention,

- la figure 3, un exemple de représentation spectrale dans une bande de traitement égale à la bande du signal de tag  $B_{C_{tag}}=20$  MHz d'un mélange en réception constitué d'un signal Utile  $S_u$  (enveloppe I) et d'un signal de taggage  $C_{tag}$  (courbe II) de type PN/DSSS sur la bande  
5 B de séquence connue de période environ 32768 chips,
- la figure 4, un exemple de représentation spectrale de la sortie du traitement en réception permettant la détection et la reconnaissance (sous forme d'un pic) du signal de taggage  $C_{tag}$ , avec un rapport signal à bruit + interférence en sortie supérieure à une certaine marge  $\eta$  par rapport à un plancher de bruit, et  
10
- la figure 5, un exemple de courbes de probabilité de détection et de fausse alarme d'un signal de taggage en sortie de traitement, selon la valeur du rapport signal à bruit + interférence en sortie  $SINR'(C_{tag})$ .

15 La figure 1 décrit un exemple de mise en œuvre du système selon l'invention pour tagger radio électriquement un émetteur d'un signal utile  $S_u$  par un second signal de taggage  $C_{tag}$  dont les caractéristiques temporelles et fréquentielles sont paramétrables, en fonction des applications. Le système selon l'invention opère dans un système ou réseau de  
20 communication comportant plusieurs utilisateurs.

Un dispositif d'émission 10 détaillé à la figure 2 émet un mélange de signaux composé d'un signal utile  $S_u$  et d'un signal de taggage  $C_{tag}$ . Le signal de taggage  $C_{tag}$ , émis en même temps que le signal utile  $S_u$  dans la même bande, sur la même porteuse et à une puissance plus faible, est  
25 structuré de manière spécifique et comporte des paramètres précisés ci-après permettant à un utilisateur autorisé de le détecter et de le reconnaître sans ambiguïté (cf figure 4), même lorsqu'il est fortement interféré par le signal utile  $S_u$  (cf. figure 3). A la réception, les récepteurs autorisés 11, 12 sur le signal  $C_{tag}$  comportent des moyens décrits ci-après adaptés à détecter  
30 dans le mélange composé du signal utile et du signal de taggage, reconnaître, et le cas échéant décoder le signal de tag  $C_{tag}$ , alors que les

récepteurs non autorisés 14 ne verront que le signal utile dominant  $S_u$ , sans pouvoir aucunement détecter la présence du signal secondaire  $C_{tag}$ , et encore moins le reconnaître ou le décoder/déchiffrer.

La figure 2 schématise un exemple de dispositif adapté à émettre  
5 simultanément le signal utile  $S_u$  et le signal  $C_{tag}$ . Dans cet exemple, les moyens de génération du signal utile et ceux de génération du signal de taggage sont séparés.

Un premier générateur numérique 20 est adapté à produire un signal utile  $S_u$  dans une bande de fréquence  $B$  donnée, à une fréquence et  
10 une amplitude  $A_{Su}$ . Le premier générateur peut être analogique ou numérique.

Un deuxième générateur numérique 21 connaissant les valeurs du paramètre de bande  $B_{Su}$  du signal utile et de l'amplitude  $A_{Su}$  du signal utile  $S_u$ , va déterminer à partir de ces valeurs, les paramètres du signal de  
15 taggage  $C_{tag}$ . Le deuxième générateur peut être analogique ou numérique. Le paramétrage du signal de tag en fonctionnement normal est fonction des caractéristiques de l'émetteur, puissance, bande, porteuse, et du niveau de protection qu'on souhaite donner. Le signal de tag est, a priori, hétérogène au signal utile, il ne présente pas les mêmes périodes, ou les récurrences,  
20 pas le même codage, pas la même modulation.

En pratique :

- la porteuse de  $C_{tag}$  est dans la plupart des applications proche ou identique à celle du signal utile,
- la bande  $B_{Ctag}$  du signal de taggage est dans la plupart des applications  
25 légèrement inférieure ou identique à celle du signal utile  $B_{Su}$ ,
- Les autres paramètres principaux du signal  $C_{tag}$  sont notamment :
  - son amplitude  $A_{Ctag}$ ,
  - ses caractéristiques temporelles impactant le traitement des récepteurs autorisés, telles qu'un rythme de modulation (noté  
30  $R_{Ctag}$ ), une période de répétition, notée  $T_{Ctag}$ ,

- sa structure et sa composition précise, détaillées dans la suite de la description.

Il existe une interdépendance entre les valeurs des différents paramètres,  $A_{Su}$ ,  $A_{Ctag}$ ,  $B_{Ctag}$  et  $T_{Ctag}$  selon les niveaux de protection  
 5 recherchés sur le signal  $C_{tag}$  et selon la complexité algorithmique visée pour les récepteurs autorisés. Par exemple, le choix des paramètres  $A_{Ctag}$  et  $T_{Ctag}$  du signal de taggage peut être réglé par les formulations suivantes :

- le niveau de l'amplitude  $A_{Ctag}$  du signal de taggage est fixé par une contrainte du type  $20 \cdot \log_{10}(A_{Ctag}) = 20 \cdot \log_{10}(A_{Su}) - X$  dB, la valeur de  
 10 niveau de protection  $X$  étant déterminée en fonction des applications et correspond au niveau d'interférence induit par le signal utile  $S_u$  sur le signal de taggage ( $SIR(C_{tag}) = -X$ ), donc à la protection du signal de taggage par le signal utile  $S_u$ .
- la période caractéristique  $T_{Ctag}$ , est indexée sur le niveau de protection  
 15  $X$ , sur la bande du signal de taggage et sur une marge  $\eta$  par rapport au plancher bruit pour la détection, pour permettre une intégration cohérente dans le traitement en réception. La valeur de la période est alors définie par  $10 \log_{10} T_{Ctag} = X + \eta - 10 \log_{10} B_{Ctag}$ . La marge  $\eta$  est approximativement fixée dans l'exemple de la figure 4 à la valeur  
 20 « classique »  $\eta \approx 10$  dB.

Le signal  $C_{tag}$  est, par exemple, un signal constitué de codes pseudo-aléatoires PN répétés avec une période  $T_{tag}$  distincte des périodes du signal utile ou de leurs multiples, et modulé sur deux états de phase (BPSK), avec en général peu de filtrage de la modulation (pour aider la détection par  
 25 les récepteurs autorisés), un rythme de modulation inférieur ou égal à la bande du signal utile, sur une porteuse dans la bande du signal utile, afin que le spectre de  $C_{tag}$  reste inclus dans la bande  $B_{Su}$  du signal utile modulé sur porteuse et qu'il soit bien interféré « à la source » par  $S_u$  (et donc protégé vis à vis de tiers non autorisés).

30 Les générateurs numériques sont adaptés à générer des codes pseudo-aléatoires PN, de niveau, de période et de composition

paramétrables, soit totalement arbitraires, soit obtenus par simulations ou par calcul, soit obtenus par des registres à décalage ou par des combinaisons entre registres à décalage.

Le signal  $C_{\text{tag}}$  est composé, par exemple, à partir de séquences  
5 binaires à corrélation optimale ou quasi-optimale, comme par exemple des séquences connues de l'Homme du métier (voir l'article de MM. Sarwate et Pursley : Cross correlation Properties of Pseudorandom and Related Sequences" Proc. IEEE, vol. 68, pp. 593–619, May 1980):

- SBLM(P) : séquences binaires de longueur maximales générées par  
10 un polynôme primitif P,
- G(P,Q) : séquences de Gold générées par deux polynômes primitifs P et Q,
- GL(P,Q) : séquences « Gold-like » générées par deux polynômes primitifs P et Q,
- 15 – D-BCH : séquences « Dual-BCH » générées par deux polynômes primitifs P et Q,
- KS(P,Q) : séquences de kasami simples générées par deux polynômes primitifs P et Q,
- KE(P,Q) : séquences de kasami étendues générées par deux  
20 polynômes primitifs P et Q,
- MCE : séquence de Mc Eliece
- BA : codes de Barker
- etc.

L'un des points essentiel réside dans la composition des signaux  
25 de taggage, dans leur combinatoire et dans la qualité de leurs corrélations pour autoriser une relation univoque et non ambiguë entre la composition du signal  $C_{\text{tag}}$  et l'identité de l'émetteur. Les séquences binaires pseudo-aléatoires précitées présentent, a priori, les meilleurs compromis théoriques de ce point de vue.

Il est aussi possible d'utiliser des séquences arbitraires complètement aléatoires avec de bonnes propriétés de corrélation, générées en grand nombre par simulation, ou connues de l'Homme du métier.

Les informations issues du premier générateur numérique 20 et du  
5 deuxième générateur numérique 21 sont transmises à un exciteur numérique 22. En sortie 22s de cet exciteur numérique le signal  $S_u$  et le signal de tag  $C_{tag}$  sont transmis à un convertisseur analogique numérique 23 puis à un oscillateur local 24 dont une sortie 24s est reliée à une antenne d'émission 25. L'antenne d'émission va donc émettre simultanément un signal  $S_u$  et un  
10 signal de tag dont le niveau est inférieur de X dB au signal utile  $S_u$ . En pratique, cette émission du mélange simultané de signaux  $S_u$  et  $C_{tag}$  peut être réalisée de plusieurs manières, qui vont être explicitées ci-dessous, à titre illustratif et nullement limitatif.

Dans une chaîne de génération et d'émission numérique  
15 l'émission du mélange simultané est par exemple réalisée de la manière suivante : par addition des échantillons de signaux I/Q (en phase et en quadrature de phase) en sortie des deux générateurs numériques 20 et 21, en respectant les amplitudes  $A_{S_u}$  et  $A_{C_{tag}}$  par application d'une pondération  $A_{C_{tag}}/A_{S_u}$  sur le signal de tag, pour produire un signal résultant à l'instant  
20 t :  $S(t) = S_u(t) + (A_{C_{tag}}/A_{S_u}) \cdot C_{tag}(t)$  transposé et amplifié d'un facteur  $A_{C_{tag}}$  pour être émis en sortie de la chaîne d'émission sur la porteuse  $f_0$ . Outre les facilités habituelles de programmation et de contrôle propres aux systèmes de génération numériques, un avantage pratique de ce type de chaîne est la possibilité d'employer séquentiellement avec des latences réduites et une  
25 gestion adaptée de mémoire le même générateur numérique de signaux pour produire à la fois  $C_{tag}(t)$  et  $S_u(t)$  en bande de base et aux instants d'échantillonnage  $t = k \cdot T_E$  ( $T_E$  : période d'échantillonnage, k : indice temporel de l'échantillon k), puis le mélange  $S(t) = S_u(t) + (A_{C_{tag}}/A_{S_u}) \cdot C_{tag}(t)$  en bande de base aux instants d'échantillonnage  $t = k \cdot T_E$ . Le mélange est alors directement  
30 injecté dans l'exciteur numérique qui réalise la conversion analogique numérique du mélange, puis envoie le signal analogique résultant dans la

chaîne de transposition, 23, + amplification, 24, du facteur  $A_{Su}$  + antenne d'émission 25, qui en réalise l'émission amplifiée et sur porteuse.

Selon d'autres variantes de réalisation et selon les capacités offertes par ses composantes et son architecture, il possible, par exemple :

- 5       • soit d'additionner au moyen d'un mélangeur adapté des signaux  $S_u$  et  $C_{tag}$  issus de deux générations numériques parallèles distinctes en bande de base et de deux conversions numérique-analogique parallèles séparées avec un rapport d'amplitude  $A_{Ctag}/A_{Su}$ , puis d'injecter le mélange dans la chaîne de transposition + amplification (d'un facteur  $A_{Su}$ ) + antenne d'émission.
- 10       • soit d'additionner, au moyen d'un mélangeur adapté, des signaux  $S_u$  et  $C_{tag}$  issus de deux générations analogiques parallèles distinctes en bande de base avec un rapport d'amplitude  $A_{Ctag}/A_{Su}$ , puis d'injecter le mélange dans la chaîne de transposition + amplification (d'un facteur  $A_{Su}$ ) + antenne d'émission.
- 15       • soit d'additionner, au moyen d'un mélangeur adapté, les signaux  $S_u$  et  $C_{tag}$  issus de chaînes de génération + transposition analogiques parallèles distinctes avec un rapport d'amplitude  $A_{Ctag}/A_{Su}$ , puis d'injecter le mélange dans la chaîne d'amplification (d'un facteur  $A_{Su}$ ) + antenne d'émission.
- 20       • soit d'additionner, au moyen d'un mélangeur adapté, le signal  $S_u$  issu d'une chaîne de génération + transposition + amplification analogiques à l'amplitude  $A_{Su}$ , et le signal  $C_{tag}$  issu d'une seconde chaîne distincte de génération + transposition + amplification analogiques à l'amplitude  $A_{Ctag}$ , puis d'injecter le mélange des signaux amplifiés  $A_{Su} \cdot C_{Su}(t) + A_{Ctag} \cdot C_{tag}(t)$  dans l'antenne d'émission.
- 25

Dans les modes de réalisation explicités précédemment pour le taggage du signal, le traitement des signaux au niveau de la réception est similaire. Pour cela, un récepteur autorisé comporte, par exemple une  
 30 antenne de réception 30 recevant le signal  $S_u$  et le signal  $C_{tag}$  qui arrivent en même temps avec, lorsqu'ils sont décorellés, un rapport de puissance égal à

$(A_{Su}/A_{C_{tag}})^2$ . L'antenne de réception 30 est reliée à un dispositif de traitement comportant des moyens de filtrages 31 et des moyens de traitements 32 adaptés pour notamment :

- transposer le mélange des signaux en bande de base,
- 5     • détecter le signal de tagage  $C_{tag}$  malgré le degré d'interférence « à la source » généré par le signal utile  $S_u$ ,
- reconnaître et estimer les caractéristiques discriminantes du signal  $C_{tag}$  servant à identifier l'émetteur sans ambiguïté. Ces caractéristiques discriminantes sont principalement la composition des
- 10    codes PN qui constituent le signal  $C_{tag}$  et éventuellement les données qui y peuvent codes dans des messages véhiculés par le signal  $C_{tag}$ .

Le système peut comporter un moyen d'enregistrement préalable en bande de base du signal de tagage  $C_{tag}$  sur une période de répétition  $T_{C_{tag}}$ , destiné à permettre la relecture au sein des récepteurs autorisés pour

15 les besoins de leurs traitements.

La reconnaissance et l'estimation des caractéristiques discriminantes peut s'effectuer au moyen de techniques d'estimation statistiques et de filtrage numériques adaptées au signal de tagage  $C_{tag}$  et exploitant l'information disponible sur celui-ci, techniques bien connues de

20 l'homme de l'art.

En pratique, le choix du type de récepteur dépend de la nature précise du signal de tagage  $C_{tag}$  d'une part et de l'information disponible au niveau du récepteur autorisé d'autre part. Des exemples sont donnés ci-dessous à titre indicatif et nullement limitatif pour un signal  $C_{tag}$  composé de

25 séquences PN binaires modulées sur deux états de phase :

- Cas (I1) : l'information du récepteur autorisé est partielle si celui-ci, même sans disposer de la connaissance parfaite de la structure et de la modulation du signal  $C_{tag}$ , en connaît au moins la période minimale, la porteuse et le rythme. Dans ce cas, l'algorithme de détection utilisé est de
- 30    type orienté sur les caractéristiques du signal, et préférentiellement basé sur l'emploi de l'autocorrélation cyclique (premier et second moments),

l'estimation du premier moment étant restreinte au domaine des fréquences cycliques proches du rythme de modulation du signal  $C_{\text{tag}}$  et restreinte aux domaines des retards proches de 0 et proches de la période  $T$  de répétition du signal  $C_{\text{tag}}$ , l'estimation du second moment  
5 étant restreinte au domaine des fréquences cycliques proches du rythme de modulation augmenté du double de la fréquence porteuse.

- Cas (I2) : l'information du récepteur autorisé et informé est complète si celui-ci dispose d'une connaissance parfaite de la structure, de la composition et de la modulation du signal  $C_{\text{tag}}$ . Dans ce cas, l'algorithme  
10 de détection utilisé est de type « informé des séquences de signaux » et préférentiellement, le filtre appliqué est un filtre adapté temporel (ou spatio-temporel si le récepteur autorisé dispose d'un réseau d'antenne en réception) au signal  $C_{\text{tag}}$ , dont les performances théoriques sont optimales.

15 Le dispositif de détection au niveau du récepteur autorisé, et le cas échéant informé, comporte par ailleurs une base de données 35 à jour comprenant différents codes PN correspondant aux signaux  $C_{\text{tag}}$  susceptibles d'être émis en tant que signal de tag. La description dans la base de données porte au minimum sur les caractéristiques de rythme, de  
20 périodicité et de répétition pour orienter le traitement du récepteur autorisé selon des procédés tels que ceux décrits plus haut (cas (I1)), et le cas échéant sur la composition précise du signal  $C_{\text{tag}}$ , pour le re-générer au niveau du récepteur informé en vue d'appliquer le filtrage adapté temporel ou spatio-temporel précité (cas (I2)).

25 Dans le cadre de l'invention, il est donc possible d'introduire aussi différents degrés d'information des récepteurs autorisés, et d'implanter une structure algorithmique avec des traitements progressifs pour limiter la complexité des récepteurs ; par exemple :

- détecter d'abord la présence d'un signal de taggage via la détection de  
30 rythmes  $R_{C_{\text{tag}}}$ , périodes  $T_{C_{\text{tag}}}$  de répétition et porteuses recensées en base de données, par une approche du type (I1) ;

- puis reconnaître précisément la composition du code PN constituant le signal de taggage pour identifier sans ambiguïté l'émetteur grâce à la grande combinatoire des codes PN disponibles (qui autorise une relation univoque et non ambiguë entre la composition du signal  $C_{\text{tag}}$  et l'identité de l'émetteur), par une approche du type (I2).

Le niveau d'émission relatif  $-X$  (en dB) (niveau de protection) du signal de taggage  $C_{\text{tag}}$  par rapport au signal utile  $S_u$  est par exemple d'au moins -10 dB, et de préférence de -20 dB à -50 dB.

Au niveau de l'entrée du traitement en réception, la valeur du rapport de l'amplitude du signal de taggage  $C_{\text{tag}}$  par rapport à l'amplitude du signal utile  $S_u$  et à celle de bruit de réception, est

$$\text{SINR}(C_{\text{tag}}) = 20 \cdot \log_{10}(A_{\text{ctag}} / (A_{\text{Su}}^2 + \sigma_N^2)^{1/2})$$

Au niveau de la sortie du traitement en réception informé du type correspondant au cas (I2), rapport de l'amplitude du signal de taggage  $C_{\text{tag}}$  par rapport à l'amplitude du signal utile  $S_u$  et à celle de bruit de réception, est, après traitement

$$\text{SINR}'(C_{\text{tag}}) = \text{SINR}(C_{\text{tag}}) + 10 \cdot \log_{10}(B_{\text{tag}} \cdot T_{\text{tag}}).$$

Pour détecter et identifier le signal de tag  $C_{\text{tag}}$  sans ambiguïté et avec un taux de fausse alarme réduit, on cherchera dans la mise en œuvre de l'invention :

- à rendre d'une part le rapport  $\text{SINR}'(C_{\text{tag}})$  supérieure à une certaine marge  $\eta$ , par exemple une marge  $\eta=10$  dB. Dans ce cas, les probabilités de détection ( $P_D$ ,  $P_{FA}$ ) élémentaires seront typiquement de l'ordre de ( $P_D=0,95$  ;  $P_{FA}=10^{-2}$ ) ou ( $P_D=0,99$  ;  $P_{FA}=4 \cdot 10^{-2}$ ), etc. (courbes de la figure 5) selon les seuillages appliqués pour décréter une détection dite élémentaire d'après la valeur de  $\text{SINR}'(C_{\text{tag}})$ ,
- à post intégrer les détections élémentaires réalisées à l'aide d'une logique simple exploitant la répétition des détections élémentaires pour obtenir de meilleures valeurs  $P_d'/P_{fa}'$  en sortie. Par exemple avec une logique qui consiste à décréter la détection à la suite de 4 détections élémentaires

consécutives (les détections élémentaires étant groupées en paquets disjoints de 4)

- des probabilités « élémentaires » ( $P_D$ ,  $P_{FA}$ ) de  $(0,95 ; 10^{-2})$  conduiront à des probabilités post-intégrées ( $P_D'$ ,  $P_{FA}'$ ) de l'ordre de  $(0,8 ; 10^{-8})$
- des probabilités « élémentaires » ( $P_D$ ,  $P_{FA}$ ) de l'ordre de  $(0,99 ; 4.10^{-2})$  conduiront à des probabilités post-intégrées ( $P_D'$ ,  $P_{FA}'$ ) de l'ordre de  $(0,96 ; 2,610^{-6})$

- 10 Des exemples quantifiés vont être maintenant donnés afin d'illustrer la mise en œuvre de l'invention.

---

**Exemple 1** (mise en œuvre a minima)

- Signal de tagage de type bruit blanc ou séquence PN modulées BPSK  
 Période et durée d'intégration  $T_{Ctag} = 100.10^{-6}$  s, avec  $B_{Ctag}=B_{Su}=20$  MHz,  
 d'où  $10.\log(B_{tag}T_{tag}) = 23$  dB  
 En entrée :  $SINR(C_{tag})=20.\log[A_{Ctag}/(A_{Ctag}^2+\sigma_N^2)^{1/2}]=-10$  dB  
 En sortie :  $SINR'(C_{tag})= +13$  dB environ laissant 3 dB supplémentaires par rapport à la marge habituelle de  $\eta=10$  dB, ce qui permet de compenser une légère perte de gain liée à des décalages Doppler ou des oscillateurs locaux mal/non compensés, sans besoin de réjection ou de traitement autre. La durée d'intégration courte de la détection élémentaire rend celle-ci assez peu sensible aux fluctuations rapides de la propagation, la post intégration d'un nombre significatif de détections élémentaires (typiquement de 4 à 8) permet, le cas échéant, d'abaisser les seuils de détection et de tolérer des probabilités de fausse alarme élémentaires de l'ordre de  $10^{-1}$  (un peu plus élevées que la normale), et par conséquent de renforcer la sensibilité globale du traitement sans pénaliser sa fiabilité ni induire de complexité supplémentaire.

**Exemple 2** (mise en œuvre nominale) correspondant aux figures 3 et 4.

- Signal de tagage de type PN/DSSS modulé BPSK  
 Période et durée d'intégration  $T_{Ctag}=1640.10^{-6}$  s, avec  $B_{Ctag}=B_{Su}=20$  MHz,

d'où  $10.\log(B_{\text{tag}}T_{\text{tag}}) = 45 \text{ dB}$

En entrée :  $\text{SINR}(C_{\text{tag}}) = 20.\log[A_{C_{\text{tag}}} / (A_{C_{\text{tag}}}^2 + \sigma_N^2)^{1/2}] = -21,6 \text{ dB}$

En sortie :  $\text{SINR}'(C_{\text{tag}}) \geq 23 \text{ dB}$  environ laissant 13 dB supplémentaires par rapport à la marge habituelle  $\eta = 10 \text{ dB}$ , ce qui permet de compenser une perte significative de gain liées à des décalages Doppler ou des oscillateurs locaux mal compensés ou à des fluctuations sévères de propagation (fading, masquages) sans besoin de réjection ou de post traitement autre (Nota : dans la mise en œuvre réalisée figure 2, le pic excède la partie supérieure du plancher de bruit d'environ 22 dB).

La figure 3, donne un exemple de représentation spectrale dans une bande de traitement égale à la bande du signal de tag  $B_{C_{\text{tag}}} = 20 \text{ MHz}$  d'un mélange en réception constitué d'un signal Utile  $S_u$  (enveloppe I) et d'un signal de taggage  $C_{\text{tag}}$  (courbe II) de type PN/DSSS sur la bande B de séquence connue de période environ 32768 chips. Sur cet exemple le signal de taggage est 21 dB sous le signal utile  $S_u$  et 13 dB sous le plancher de bruit N supposé blanc Gaussien (puissance de bruit  $N = \sigma_N^2$ ,  $\sigma_N$  : écart type de la distribution du bruit reçu dans la bande la  $B_{C_{\text{tag}}}$  qui coïncide dans cet exemple avec la bande de traitement en réception), le rapport  $\text{SIR}(C_{\text{tag}}) = 20.\log_{10}(A_{C_{\text{tag}}} / A_{S_u})$  est donc -21 dB, le rapport  $\text{SNR}(C_{\text{tag}}) = 20.\log_{10}(A_{C_{\text{tag}}} / \sigma_N)$  est donc -13 dB, et le rapport  $\text{SINR}(C_{\text{tag}}) = 20.\log_{10}(A_{C_{\text{tag}}} / (A_{S_u}^2 + \sigma_N^2)^{1/2})$  est donc environ -21,6 dB.

La figure 4, est un exemple de représentation de la sortie du traitement en réception permettant la détection et la reconnaissance (sous forme d'un pic) du signal de taggage  $C_{\text{tag}}$ , avec un rapport signal à bruit + interférence en sortie supérieure à une certaine marge  $\eta$  par rapport à un plancher de bruit, ce qui s'écrit formellement  $\text{SINR}'(C_{\text{tag}}) > \eta$ . Dans l'exemple de la figure 4 la marge de détection habituelle par rapport au plancher de bruit serait  $\eta \approx 10 \text{ dB}$ , mais la valeur du pic excède cette marge  $\eta$  d'environ 12 dB.

**Exemple 3** (mise en œuvre extrême)

Signal de taggage de type PN/DSSS modulée BPSK

Période et durée d'intégration  $T_{\text{Ctag}} = 100000 \cdot 10^{-6}$  s, avec  $B_{\text{Ctag}} = B_{\text{Su}} = 20$  MHz, d'où  $10 \cdot \log(B_{\text{tag}} T_{\text{tag}}) = 63$  dB

En entrée :  $\text{SINR}(C_{\text{tag}}) = 20 \cdot \log[A_{\text{Ctag}} / (A_{\text{Ctag}}^2 + \sigma_N^2)^{1/2}] = -50$  dB

- 5 En sortie :  $\text{SINR}'(C_{\text{tag}}) \geq +13$  dB environ laissant 3 dB supplémentaires par rapport à la marge habituelle  $\eta = 10$  dB. Vu la longueur de la période et de la durée d'intégration  $T_{\text{Ctag}} = 0,1$  s, les risques de pertes de gain liées à des décalages Doppler, à des oscillateurs locaux mal compensés ou à des fluctuations rapides et sévères de propagation durant la durée
- 10 d'intégration sur  $T_{\text{Ctag}}$  (fadings, masquages) doivent être traités par une gestion d'hypothèses Doppler et par une post-intégration adaptée telle que décrite plus haut.

- Avec des hypothèses supplémentaires, telles qu'un contrôle de la qualité d'émission et une connaissance suffisante par le récepteur autorisé
- 15 du Signal utile dominant  $S_u$ , il existe des traitements améliorateurs basés sur l'estimation du signal utile  $S_u$  dans le mélange en réception et sa soustraction dans le mélange pour améliorer en amont le contraste sur le signal  $C_{\text{tag}}$  avant l'application des traitements décrits plus haut.

- Le procédé et le système selon l'invention peuvent donc
- 20 notamment être utilisés pour tagger des signaux d'interférences ayant notamment pour fonction de gêner le fonctionnement de systèmes de réception donnés. Dans ce cas, le signal utile est le signal d'interférence et le signal de tag émis simultanément contient des informations utiles au récepteur autorisé, ce qui conduit à une reconnaissance de l'émetteur du
- 25 signal interférant par les récepteurs autorisés, qui, de ce fait, ne sont pas, eux, pénalisés par ledit signal interférant  $S_u$ .

Le procédé et le système selon l'invention présentent notamment les avantages suivants :

- le signal de taggage est furtif car émis en même temps et sur les
- 30 mêmes bandes que le signal utile, à un niveau plus faible que ce dernier,

- le signal de taggage est protégé contre les risques d'interception et d'analyse par des tiers en raison des interférences induites « à la source » par le signal utile au niveau de tout système de réception employée par ces tiers,
- 5 • le signal de taggage n'est reconnaissable que par des tiers autorisés et informés,
- le signal de taggage ne nécessite pas l'utilisation de fréquences supplémentaires en fonctionnement normal, ni d'émetteurs spécifiques a priori. Toutefois, il peut aussi employer un émetteur  
10 secondaire réglé en fonction de l'émetteur du signal utile, colocalisé ou non avec ce dernier, sur les mêmes bandes ou non,
- le signal de taggage est émis à une puissance faible par rapport au signal utile,
- le signal de taggage n'entre que très peu en compte dans le bilan de  
15 liaison entre le signal émis par l'utilisateur autorisé, et il ne consomme que très peu de ressource spectrale par rapport au signal utile. Il ne pénalise de ce fait aucunement la capacité d'un émetteur de communications ou d'un réseau d'émetteurs de communication mettant en œuvre le procédé selon l'invention,
- 20 • le signal de taggage n'induit que très peu de consommation énergétique supplémentaire.

## Revendications

1 – Système pour tagger radio électriquement un émetteur d'un premier signal utile  $S_u$ , par un second signal de taggage  $C_{tag}$  comprenant des caractéristiques temporelles et fréquentielles paramétrables, ledit signal de taggage est émis simultanément en accompagnement du signal utile  $S_u$ , ledit émetteur opérant dans un système ou un réseau de communication, dans un système comportant plusieurs utilisateurs autorisés et adaptés à reconnaître le signal de taggage par des traitements spécifiques, ledit système comportant au moins les éléments suivants :

Des moyens de génération (20, 21, 22) de signal :

- adaptés à produire un signal utile  $S_u$  dans une bande de fréquence B donnée, à une fréquence  $f_{Su}$  et une amplitude  $A_{Su}$ , et
- connaissant au moins les valeurs du paramètre de bande  $B_{Su}$  du signal utile  $S_u$  et de l'amplitude  $A_{Su}$  du signal utile  $S_u$ , adaptés à déterminer à partir de ces dites valeurs, les paramètres du signal de taggage  $C_{tag}$  tels que :
  - la porteuse du signal de taggage  $C_{tag}$ ,
  - la bande  $B_{Ctag}$  du signal de taggage,
  - l'amplitude  $A_{Ctag}$  du signal de taggage avec un niveau de signal inférieur de X dB au signal utile  $X=A_{Ctag}/A_{Su}$
  - les caractéristiques temporelles du signal de taggage  $C_{tag}$ , telles que
    - ses caractéristiques de modulation : constellation, rythme  $R_{Ctag}$ , filtrage à l'émission éventuel,
    - sa durée et sa période de répétition,  $T_{Ctag}$ ,
    - la description de sa constitution sur une période  $T_{Ctag}$ ,

Une antenne d'émission (25) adaptée à émettre simultanément ledit signal  $S_u$  et ledit signal de taggage dont le niveau est inférieur de X dB au signal utile  $S_u$ ,

Des moyens de réception et de traitement (30, 31, 32) du signal utile et du signal de taggage adaptés à détecter et à discriminer le signal de taggage du signal utile.

- 5 2 – Système selon la revendication 1 caractérisé en ce que les moyens de génération de signal comportent :
- Un premier générateur (20) adapté à produire ledit signal utile  $S_u$  dans une bande de fréquence  $B_{Su}$  donnée, à une fréquence  $f_{Su}$  et une amplitude  $A_{Su}$ , ce premier générateur,
  - 10 - Un deuxième générateur (21) connaissant au moins les valeurs du paramètre de bande  $B_{Su}$  du signal utile  $S_u$  et de l'amplitude  $A_{Su}$  du signal utile  $S_u$ , adapté à déterminer, à partir de ces dites valeurs, les paramètres du signal de taggage  $C_{tag}$  :
    - la porteuse de  $C_{tag}$
    - 15 - la bande  $B_{Ctag}$  de  $C_{tag}$ ,
    - l'amplitude  $A_{Ctag}$  de  $C_{tag}$ ,
    - les caractéristiques temporelles du signal de taggage telles qu'un rythme de modulation (noté  $R_{Ctag}$ ), une période de répétition, notée  $T_{Ctag}$ ,
    - 20 - la description de sa constitution précise sur une période  $T_{Ctag}$ ,
  - Un système d'enregistrement/ré-émission (22), ou un exciteur numérique (22), recevant le signal utile  $S_u$  et le signal de taggage  $C_{tag}$  et adapté à ré-émettre lesdits signaux en contrôlant les amplitudes et les synchronismes .
- 25 3 – Système selon l'une des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce qu'il comporte d'un moyen d'enregistrement préalable en bande de base du signal de taggage  $C_{tag}$  sur une période de répétition  $T_{Ctag}$ , adapté à permettre la relecture au sein des récepteurs autorisés pour les besoins de leur
- 30 traitements.

4 – Système selon l'une des revendications 1 à 2 caractérisé en ce que les moyens de génération et d'émission du signal utile et du signal de taggage sont adaptés :

-à produire :

- 5       - un signal en bande de base,
- un signal résultant à l'instant  $t$ ,  $S(t)=S_u(t)+(A_{C_{tag}}/A_{S_u}).C_{tag}(t)$ , ledit signal résultant  $S(t)$  étant obtenu par addition des signaux  $S_u(t)$  et  $C_{tag}(t)$  en bande de base en sortie des deux générateurs (20, 21), en respectant le rapport des amplitudes  $X=A_{S_u}/A_{C_{tag}}$  par application de la pondération
- 10        $X=A_{C_{tag}}/A_{S_u}$  sur le signal de taggage  $C_{tag}(t)$ , puis
- à transposer sur une porteuse  $f_0$  et à amplifier d'un facteur  $A_{S_u}$  le signal  $S(t)$  issu du mélange, afin de générer en sortie le signal total analogique amplifié sur porteuse  $S_{Porteuse}(t) = [A_{S_u}.S_u(t)+(A_{C_{tag}}).C_{tag}(t)].\cos(2\pi f_0 t)$ .

- 15   5 – Système selon la revendication 1 caractérisé en ce que les moyens de génération de signal sont composés :

D'un unique générateur numérique à mémoire programmable et d'un unique étage de conversion numérique analogique transposition et amplification,

- ledit générateur numérique est adapté à être utilisé séquentiellement afin
- 20   de générer le signal utile  $S_u$  puis le signal de taggage  $C_{tag}$  ,
- ledit générateur numérique possède une mémoire programmable
- et ledit générateur numérique est adapté :

- à générer le signal de taggage  $C_{tag}(k.T_E)$  et le signal utile  $S_u(k.T_E)$  en bande de base aux instants d'échantillonnage  $t=k.T_E$  avec  $T_E$  : la période
- 25   d'échantillonnage,  $k$  : l'indice temporel de l'échantillon  $k$ , en respectant la pondération  $X=A_{C_{tag}}/A_{S_u}$  sur le signal de taggage échantillonné  $C_{tag}(k.T_E)$ , puis,

- à générer sous forme échantillonnée le mélange résultant  $S(k.T_E)=S_u(k.T_E)+(A_{C_{tag}}/A_{S_u}).C_{tag}(k.T_E)$  en bande de base aux instants
- 30   d'échantillonnage  $t=k.T_E$

- ledit étage de conversion numérique analogique transposition et amplification, est adapté à générer le signal total analogique sur porteuse en sortie  $S_{\text{Porteuse}}(t) = [A_{\text{Su}} \cdot S_u(t) + (A_{\text{Ctag}}) \cdot C_{\text{tag}}(t)] \cdot \cos(2\pi f_0 t)$  à l'aide de la conversion numérique analogique transformant  $S(k.T_E)$  en  $S(t)$ , de la transposition sur porteuse  $f_0$ , et de l'amplification d'un facteur  $A_{\text{Su}}$ .

6 – Système selon l'une des revendications 1 à 5 caractérisé en ce que la valeur de  $X$  est au moins égale à -10 dB, et de préférence varie de -20 dB à -50 dB.

10

7 – Système selon l'une des revendications 1 à 6 caractérisé en ce que le dispositif de génération du signal  $C_{\text{tag}}$  comprend un moyen adapté à générer des codes pseudo-aléatoires PN, de niveau, de période et de composition paramétrables pour former le signal de taggage, ladite composition est obtenue en utilisant l'une des méthodes suivantes : totalement arbitraires, par simulations ou par calculs, par des registres à décalage ou par des combinaisons entre registres à décalage.

15

8 – Système selon la revendication 7 caractérisé en ce qu'il comporte un générateur de séquences binaires choisies parmi la liste suivante : des séquences binaires de longueur maximale, des séquences de Gold ou de type Gold, des Séquences dual-BCH, des séquences de Kasami simples ou étendues, des séquences de Mac Eliece, des codes de Barker, ou tout autre type de séquence pseudo-aléatoire générée par des procédés algébriques.

25

9 – Système selon l'une des revendications 1 à 8 caractérisé en ce que les moyens de réception comportent une base de données (35) comprenant des caractéristiques de codes utilisés pour la génération du signal de taggage  $C_{\text{tag}}$ .

30

10 – Système d'émission-réception selon l'une des revendications 1 à 8 caractérisé en ce que les moyens de réception sont des moyens de réception informés, comprenant une base de données (35) composée des caractéristiques complètes et de la composition des codes utilisés pour la  
 5 génération du signal de taggage  $C_{tag}$ .

11 – Procédé pour tagger radio électriquement un émetteur d'un premier signal utile  $S_u$ , par un second signal de taggage  $C_{tag}$  comprenant des caractéristiques temporelles et fréquentielles paramétrables, ledit signal de  
 10 taggage est émis simultanément en accompagnement du signal utile  $S_u$ , ledit émetteur opérant dans un système comportant plusieurs utilisateurs autorisés et adaptés à reconnaître le signal de taggage, par des traitements spécifiques, caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :

- produire un signal utile  $S_u$  dans une bande de fréquence  $B$  donnée, à une  
 15 fréquence  $f_{Su}$  et une amplitude  $A_{Su}$ , et  
 - connaissant au moins les valeurs du paramètre de bande  $B_{Su}$  du signal utile  $S_u$  et de l'amplitude  $A_{Su}$  du signal utile  $S_u$ , déterminer à partir de ces dites valeurs, les paramètres du signal de taggage  $C_{tag}$  :

- la porteuse de  $C_{tag}$ ,  
 20 - la bande  $B_{Ctag}$  de  $C_{tag}$ ,  
 - l'amplitude  $A_{Ctag}$  de  $C_{tag}$  avec un niveau de signal inférieur de  $X$  dB au signal utile  $X=A_{Ctag}/A_{Su}$   
 - les caractéristiques temporelles de  $C_{tag}$ , telles que :

• ses caractéristiques de modulation : constellation, rythme  
 25  $R_{Ctag}$ , filtrage à l'émission éventuel,  
 • sa durée et sa période de répétition,  $T_{Ctag}$ ,  
 • la description de sa constitution sur une période  $T_{Ctag}$  adaptée à permettre la régénération au sein des récepteurs autorisés pour le besoins de leurs traitements,

30 - émettre (25) simultanément ledit signal  $S_u$  et ledit signal de taggage dont le niveau est inférieur de  $X$  dB au signal utile  $S_u$ ,

- discriminer (30, 31, 32) au niveau de la réception du signal, le signal de taggage du signal utile du signal utile.

12 – Procédé selon la revendication 11 caractérisé en ce que l'on utilise des  
5 moyens de génération distincts pour produire le signal utile  $S_u$  et le signal de taggage  $C_{tag}$ .

13 – Procédé selon l'une des revendications 11 ou 12 caractérisé en ce que  
l'on génère un signal résultant à l'instant  $t$   $S(t)=S_u(t)+(A_{Ctag}/A_{Su}).C_{tag}(t)$  que  
10 l'on transpose sur une porteuse  $f_0$  et que l'on amplifie d'un facteur  $A_{Su}$ , pour  
obtenir un signal sur porteuse amplifié en sortie  $S_{Porteuse}(t) =$   
 $[A_{Su}.S_u(t)+(A_{Ctag}).C_{tag}(t)].\cos(2\pi f_0 t)$ , ledit signal résultant  $S(t)$  étant obtenu par  
addition des signaux en bande de base en sortie de deux générateurs  
analogiques ou numériques (20, 21), en respectant les amplitudes  $A_{Su}$  et  
15  $A_{Ctag}$  par application d'une pondération  $X=A_{Ctag}/A_{Su}$  sur le signal de taggage  
dans le signal résultant.

14 – Procédé selon l'une des revendications 11 à 13 caractérisé en ce que  
l'on choisit une valeur de  $X$  au moins égale à -10 dB, et de préférence variant  
20 de -20 dB à -50 dB.

15 – Procédé selon l'une des revendications 11 à 14 caractérisé en ce que  
l'on génère des codes pseudo-aléatoires PN, de niveau, de période et de  
composition paramétrables pour former le signal de taggage.

25

16 – Procédé selon l'une des revendications 11 à 15 caractérisé en ce que  
l'on utilise des caractéristiques de codes mémorisées dans une base de  
données (35) afin de discriminer au niveau de la réception du signal, le signal  
de taggage  $C_{tag}$  du signal utile.

30

17 – Procédé selon l'une des revendications 11 à 15 caractérisé en ce que l'on utilise :

- des moyens de réception informés, comprenant une base de données composée des caractéristiques complètes et de la composition des codes  
5 utilisés pour la génération du signal de taggage  $C_{\text{tag}}$ , et
- des techniques de détection de type orienté sur les caractéristiques du signal, basées sur l'emploi de l'auto-corrélation cyclique, l'estimation du premier moment étant restreinte au domaine des fréquences cycliques proches du rythme de modulation du signal  $C_{\text{tag}}$  restreinte aux domaines des  
10 retards proches de zéro et proches de la période  $T$  de répétition du signal  $C_{\text{tag}}$ , l'estimation du second moment étant restreinte au domaine des fréquences cycliques proches du rythme de modulation augmenté du double de la fréquence porteuse.
- des techniques de détection de type informé, basées sur filtrage adapté au  
15 signal de taggage  $C_{\text{tag}}$ .