

## **Système embarqué de génération d'un signal de localisation d'un véhicule ferroviaire**

L'invention a pour domaine celui des systèmes embarqués de génération d'un signal de localisation d'un véhicule ferroviaire du type comportant :

- 5       - une antenne comportant une première boucle et une seconde boucle ayant des diagrammes de rayonnement respectifs différents, les première et seconde boucles étant respectivement propres à générer des premier et second courants lors du passage de l'antenne au-dessus d'une balise adaptée, située sur la voie en une position connue ; et,
- 10       - une chaîne électronique de traitement conçue pour générer un signal de localisation à partir desdits premier et second courants.

Le document EP 1 227 024 B1 divulgue un système du type précédent comportant une antenne destinée à être embarquée à bord d'un train de manière à coopérer avec une balise disposée sur la voie, le centre géométrique de la balise ayant une position géographique connue.

- 15       L'antenne comporte deux boucles planes superposées l'une sur l'autre dans un plan sensiblement horizontal.

La première boucle est simple. Elle est constituée d'un fil métallique formant une spire simple, c'est-à-dire ne comportant aucune torsade. Cette première boucle a sensiblement la forme d'une ellipse, dont le grand axe est orienté selon la direction  
20       longitudinale de déplacement du train.

La seconde boucle en « 8 » est constituée d'un fil métallique formant une spire torsadée sur elle-même. Le centre géométrique de la seconde boucle, qui est le point d'entrecroisement du fil sur lui même, coïncide avec le centre géométrique de la première boucle et constitue le centre de l'antenne. L'axe de symétrie de la seconde boucle selon  
25       la grande dimension de celle-ci est orienté selon l'axe longitudinal de déplacement du train.

Au cours du déplacement du train, l'antenne passe au-dessus de la balise et traverse un champ magnétique généré par celle-ci. Ce champ magnétique induit un premier courant électrique dans la première boucle et un second courant électrique dans  
30       la seconde boucle. Lorsque les courants induits sont détectables, on dit que l'antenne est en contact de la balise.

Le signe de l'intensité du courant induit dans une boucle, aussi dénommé « la phase » de ce courant induit, évolue en fonction de la position de l'antenne par rapport au centre de la balise.

Puisque les première et seconde boucles ont des formes différentes, elles possèdent des diagrammes de rayonnement différents. De ce fait, l'évolution de la phase du premier courant induit est différente de celle de la phase du second courant induit.

L'antenne est équipée d'une chaîne électronique de traitement conçue pour suivre l'évolution de l'amplitude du premier courant par rapport à une valeur seuil et l'évolution de la différence entre les phases des premier et second courants induits lorsque l'antenne est déplacée au-dessus de la balise. Cette chaîne génère en sortie un signal de localisation dont l'instant d'émission indique le passage du centre de l'antenne à l'aplomb du centre de la balise.

La précision fonctionnelle de la chaîne de traitement est telle que le signal de localisation est émis à  $\pm 2$  cm du centre de la balise.

Le document PCT/FR2010/050607 élargie l'enseignement du document précédent en proposant l'utilisation d'une antenne comportant une troisième boucle plane superposée aux première et seconde boucles simples et en « 8 ». Cette troisième boucle est constituée d'un fil métallique formant une spire comportant deux torsades. Les deux points d'entrelacement du fil sont disposés selon la direction longitudinale de déplacement du train. Le point milieu entre ces deux points d'entrelacement est situé longitudinalement légèrement en avant (ou en arrière) du centre de l'antenne.

Le diagramme de rayonnement de cette troisième boucle lui est spécifique.

L'antenne est équipée d'une chaîne électronique de traitement conçue pour suivre la corrélation entre l'évolution de la différence entre les phases des premier et second courants, l'évolution de la différence entre les phases des premier et troisième courants, et l'évolution de la différence entre les phases des second et troisième courants. Cette chaîne génère en sortie un signal de localisation dont l'instant d'émission indique le passage du centre de l'antenne à l'aplomb du centre de la balise. La précision fonctionnelle est également de  $\pm 2$  cm du centre de la balise. L'avantage de cette antenne à trois boucles réside dans l'augmentation du volume de contact de l'antenne et de la balise, ce qui permet de relâcher les contraintes d'installation de la balise sur la voie et de l'antenne sur le train.

La chaîne de traitement conçue pour effectuer cette corrélation et générer en conséquence un signal de localisation, possède une précision fonctionnelle de  $\pm 2$  cm par rapport au centre de la balise.

L'information de localisation d'un véhicule ferroviaire sur le réseau est une donnée de fonctionnement importante. Pour l'exemple d'un métro, l'information de localisation permet de connaître la position précise d'une rame par rapport au quai d'une station, de

manière à stopper la rame en face des portes de quai afin que les passagers puissent descendre de la rame et y monter.

Si l'information de localisation est erronée, l'ouverture des portes de quai peut s'effectuer alors que les portes de la rame ne se trouvent pas en face des portes de quai.

5 Cela peut avoir des conséquences graves en termes de sécurité pour les passagers.

D'autres exemples pourraient être décrits montrant que l'information de localisation est une donnée sensible.

Or, l'art antérieur ne prend pas en compte la défaillance possible de la chaîne de traitement dans la génération du signal de localisation.

10 L'invention a donc pour but de pallier ce problème, en proposant notamment un système sécuritaire de génération d'un signal de localisation, dans lequel un dysfonctionnement dans la génération du signal de localisation est identifiable, de sorte que le signal de localisation généré soit fiable, c'est-à-dire conforme au niveau de sécurité SIL 4 défini par la norme IEC 61508.

15 A cette fin, l'invention a pour objet un système embarqué de génération d'un signal de localisation d'un véhicule ferroviaire du type précité, caractérisé en ce que, ladite chaîne étant une première chaîne conçue pour générer un premier signal de localisation, le système comporte une seconde chaîne électronique de traitement conçue pour générer un second signal de localisation à partir desdits premier et second courants, et en ce que  
20 le système comporte en outre un moyen d'arbitrage propre à générer un signal de localisation en sécurité en fonction desdits premier et second signaux de localisation.

Suivant des modes particuliers de réalisation, le système comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

25 - lesdites première et seconde chaînes sont indépendantes l'une de l'autre ;  
- lesdites première et seconde chaînes sont identiques l'une à l'autre ;  
- le moyen d'arbitrage sélectionne, en tant que signal de localisation en sécurité, le signal arrivé temporellement en second parmi les premier et second signaux de localisation émis temporellement en premier par chacune des première et seconde  
30 chaînes ;

- le moyen d'arbitrage prend en entrée une distance délivrée par un système odométrique équipant ledit véhicule, et le moyen d'arbitrage sélectionne le signal arrivé temporellement en second s'il arrive en un point qui est à une distance du point d'émission du signal émis temporellement le premier inférieure à une distance de  
35 référence, notamment égale à 5 cm ;

- l'antenne comporte une troisième boucle dont le diagramme de rayonnement est différent de celui de la seconde boucle et de celui de la première boucle, ledit signal de localisation en sécurité permettant de localiser le véhicule par rapport à la position connue de la balise avec une précision de  $-2/+7$  cm ;

5       - le système comporte une troisième chaîne électronique de traitement conçue pour générer un troisième signal de localisation à partir desdits premier et second courants, ledit moyen d'arbitrage étant conçu pour sélectionner, en tant que signal de localisation en sécurité, le signal de localisation émis temporellement en second parmi les premier, second et troisième signaux de localisation émis temporellement en premier par  
10 chacune des première, seconde et troisième chaînes ;

- le moyen d'arbitrage est conçu pour déterminer, pour chacune des chaînes une durée « avant » séparant l'instant de début de détection de la balise et l'instant d'émission du signal de localisation émis temporellement en premier par la chaîne considérée, et une durée « après » séparant l'instant d'émission du signal de localisation émis  
15 temporellement en premier par la chaîne considérée et l'instant de fin de détection de la balise, et le moyen d'arbitrage comporte un moyen propre à identifier la défaillance d'une chaîne si le rapport de la durée « avant » sur la durée « après » est hors d'un intervalle prédéterminé autour de la valeur unité ;

- la première chaîne comporte une première partie analogique et une première  
20 partie numérique, la seconde chaîne comporte, en tant que seconde partie analogique, ladite première partie analogique de la première chaîne, et une seconde partie numérique indépendante de ladite première partie numérique de la première chaîne ;

- la seconde partie numérique de la seconde chaîne est identique à la première partie numérique de la première chaîne ;

25       - le moyen d'arbitrage sélectionne, en tant que signal de localisation en sécurité, le signal de localisation arrivé temporellement en second parmi lesdits premier et second signaux de localisation émis temporellement en premier par chacune des première et seconde chaînes, à condition que la durée séparant l'émission des signaux de localisation émis temporellement en premier par chacune des chaînes soit inférieure à une durée de  
30 référence, notamment égale à  $1,5 \mu\text{s}$  ;

- l'antenne comportant une troisième boucle dont le diagramme de rayonnement est différent de celui de la seconde boucle et de celui de la première boucle, ledit signal de localisation en sécurité permet de localiser le véhicule par rapport à la position connue de la balise avec une précision de  $\pm 5$  cm, de préférence  $\pm 2$  cm ; et

35       - chaque chaîne comportant une partie analogique et une partie numérique, le système comporte un moyen de test conçu pour appliquer un courant de référence sur

une entrée d'une partie analogique et pour analyser des signaux de courant numérisés générés en sortie de ladite partie analogique ou d'une autre partie analogique ;

- le système respecte le niveau de sécurité SIL 4.

L'invention a également pour objet un véhicule ferroviaire comportant un tel système embarqué de génération d'un signal de localisation.

L'invention a enfin pour objet un procédé de génération d'un signal de localisation d'un véhicule ferroviaire, comportant les étapes consistant à :

- générer des premier et second courants lors du passage d'une antenne au-dessus d'une balise adaptée, ladite antenne étant embarquée à bord du véhicule et comportant une première boucle et une seconde boucle ayant des diagrammes de rayonnement respectifs différents, ladite balise étant située sur la voie en une position connue ;

- générer un signal de localisation à partir desdits premier et second courants ; caractérisé en ce que, ledit signal de localisation étant un premier signal de localisation émis par une première chaîne de traitement des premier et seconds courants, le procédé consiste à :

- générer un second signal de localisation à partir desdits premier et second courants au moyen d'une seconde chaîne de traitement ; et,

- générer un signal de localisation en sécurité en fonction desdits premier et second signaux de localisation.

Suivant des modes particuliers de réalisation, le procédé comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- la génération d'un signal de localisation en sécurité consiste à sélectionner, en tant que signal de localisation en sécurité, le signal de localisation arrivé temporellement en second parmi les premier et second signaux de localisation émis temporellement en premier par chacune des première et seconde chaînes de traitement, à condition que la distance séparant le signal de localisation arrivé temporellement en second, du signal de localisation arrivé temporellement en premier, soit inférieure à une distance de référence prédéterminée ;

- le procédé comporte l'étape consistant à générer un troisième signal de localisation à partir desdits premier et second courants au moyen d'une troisième chaîne de traitement ; et la génération d'un signal de localisation en sécurité consiste à sélectionner, en tant que signal de localisation en sécurité, le signal de localisation arrivé temporellement en second parmi les signaux de localisation émis temporellement en premier par chacune des trois chaînes de traitement respectivement ;

- la première chaîne comportant une première partie analogique et une première partie numérique, la seconde chaîne comportant, en tant que seconde partie analogique, ladite première partie analogique de la première chaîne, et une seconde partie numérique indépendante de ladite première partie numérique de la première chaîne, la génération d'un signal de localisation en sécurité consiste à sélectionner, en tant que signal de localisation en sécurité, le signal de localisation arrivé temporellement en second parmi les signaux de localisation émis temporellement en premier par chacune des deux chaînes de traitement, à condition que la durée entre les instants d'émission des premier et second signaux soit inférieure à une durée de référence prédéterminée ; et

- le procédé comporte en outre la vérification d'au moins une condition supplémentaire permettant la détection d'une défaillance de la partie analogique commune aux première et seconde chaînes de traitement.

L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente un premier mode de réalisation d'un système embarqué de génération d'un signal de localisation ;

- la figure 2 représente plusieurs graphes illustrant le fonctionnement d'un premier algorithme d'arbitrage mis en oeuvre par le système de la figure 1 ;

- la figure 3 représente un second mode de réalisation d'un système embarqué de génération d'un signal de localisation ;

- la figure 4 représente plusieurs graphes illustrant le fonctionnement d'un second algorithme d'arbitrage mis en oeuvre par le système de la figure 3 ;

- les figures 5A et 5B représentent plusieurs graphes illustrant la détermination d'un rapport permettant de détecter des défaillances dans le système de la figure 3 ;

- la figure 6 représente un troisième mode de réalisation d'un système embarqué de génération d'un signal de localisation ; et,

- la figure 7 représente plusieurs graphes illustrant le fonctionnement d'un troisième algorithme d'arbitrage mis en oeuvre par le système de la figure 6.

### PREMIER MODE DE REALISATION

Les Figures 1 et 2 sont relatives à un premier mode de réalisation d'un système de génération d'un signal de localisation d'un véhicule ferroviaire destiné à équiper un véhicule tel qu'un train, un métro ou un tramway.

Le système 10 selon ce premier mode de réalisation comporte une antenne 20, deux chaînes électroniques de traitement, respectivement 30 et 40, et un moyen d'arbitrage 50.

5 L'antenne 20, comme l'antenne de l'art antérieur décrite précédemment, comporte deux boucles présentant des diagrammes de rayonnement différents : une première boucle simple 22 propre à délivrer un premier courant induit I1, et une seconde boucle en « 8 » 24 propre à délivrer un second courant induit I2.

10 Le système comporte une première chaîne électronique de traitement 30 conçue pour délivrer un premier signal de localisation SL1 à partir des premier et second courants induits I1, I2 qui lui sont appliqués en entrée.

La première chaîne 30 est identique à celle utilisée dans l'art antérieur.

La première chaîne 30 comporte une partie analogique 60 et une partie numérique 70.

15 La partie analogique 60 comporte un premier circuit analogique 61 de mise en forme du premier courant induit I1 et un second circuit analogique 62 de mise en forme du second courant induit I2.

20 Le premier circuit 61, conçu pour la génération d'un premier courant numérisé C1 à partir du premier courant induit I1, comporte successivement un filtre 63, pour le filtrage du courant induit I1 en sortie de la boucle correspondante ; un amplificateur 65, pour l'amplification du courant filtré ; et un convertisseur analogique / numérique 67 pour numériser le courant amplifié et générer, en sortie, un courant numérisé C1.

25 Le second circuit 62, conçu pour la génération d'un second courant numérisé C2 à partir du second courant induit I2, est identique au premier circuit. Il comporte successivement un filtre 64, un amplificateur 66 et un convertisseur analogique / numérique 68.

30 La partie numérique 70 de la première chaîne de traitement, conçue pour générer le premier signal de localisation SL1 à partir des premier et second courants numérisés C1, C2 qui lui sont appliqués en entrée. La partie numérique 70 comporte successivement un comparateur de phase, un filtre, un comparateur de seuil à hystérésis et une unité de génération d'un signal de localisation.

Le comparateur de phase 71 compare les phases des premier et second courants numérisés C1, C2 qui lui sont appliqués en entrée, et génère en sortie un signal de différence de phase SD dont la valeur vaut +1 lorsque les phases des premier et second courants numérisés sont identiques, et -1 lorsque ces phases sont opposées.

35 Le filtre 72 prend en entrée le signal de différence de phase SD et génère en sortie un signal de différence de phase filtré SDF, à valeur dans l'intervalle [-1, 1]. Le filtre

a pour fonction d'effectuer une moyenne temporelle, sur une fenêtre temporelle prédéfinie, du signal de différence de phase SD.

Le comparateur de seuil à hystérésis 73 prend en entrée le signal de différence de phase filtré SDF et le compare à une bande de valeurs interdites. Le comparateur de seuil  
5 génère en sortie un signal d'état SE qui passe de 0 à 1 lorsque le signal de différence de phase filtré SDF passe au-dessus de la plus grande valeur de cette bande ; et de 1 à 0 lorsque le signal de différence de phase filtré SDF passe au-dessous de la plus petite valeur de cette bande.

Enfin, l'unité de génération d'un signal de localisation 74 prend en entrée le signal  
10 de premier courant numérisé C1 et le signal d'état SE et génère le signal de localisation SL.

L'unité 74 comporte un comparateur de seuil propre à comparer le niveau du courant C1 à un niveau de référence et à générer un signal binaire de valeur unité dès que le courant C1 dépasse le niveau de référence. L'unité 74 comporte également un  
15 élément logique conçu pour générer un signal de localisation SL dès que les signaux émis par le comparateur de seuil de l'unité 74 et le comparateur de seuil à hystérésis 73 tous les deux égaux à l'unité. Le signal de localisation SL émis prend par exemple la forme d'une impulsion de valeur égale à l'unité.

Le système 10 comporte une seconde chaîne électronique de traitement 40 des  
20 premier et second courants induits I1, I2 afin de générer un second signal de localisation SL2.

La seconde chaîne 40 est indépendante de la première chaîne de traitement 30.

La seconde chaîne 40 est identique à la première chaîne de traitement 30. Elle comporte des circuits et des composants électroniques identiques à ceux de la première  
25 chaîne de traitement. C'est la raison pour laquelle, sur la Figure 1, les éléments identiques entre la première chaîne et la seconde chaîne sont identifiés par les mêmes chiffres de référence.

Le système 10 comporte un module d'arbitrage 50 conçu pour délivrer en sortie un signal de localisation en sécurité SLS. Ce module prend en entrée les premier et second  
30 signaux de localisation SL1, SL2 générés respectivement en sortie des première et seconde chaînes 30, 40, ainsi qu'une donnée de distance  $d$  parcourue depuis un point de référence délivrée par un système odométrique équipant le véhicule.

Plus précisément, le module d'arbitrage met en œuvre un premier algorithme consistant à sélectionner, en tant que signal de localisation en sécurité SLS, le signal de  
35 localisation arrivé temporellement en second parmi les premier et second signaux de localisation SL1, SL2 émis temporellement en premier par chacune des première et

seconde chaînes de traitement 30, 40, à condition que la distance D séparant le signal de localisation arrivé temporellement en second, du signal de localisation arrivé temporellement en premier, soit inférieure à une distance de référence D0 prédéterminée. La distance de référence D0 est, de préférence, de 5 cm.

5           Même si les composants utilisés dans les deux chaînes 30 et 40 sont identiques, chacune des première et seconde chaînes possède sa propre sensibilité et son propre rapport signal sur bruit.

          Puisque la génération, par une chaîne, d'un signal de localisation SL est associée à un changement de phase du second courant induit I2, c'est-à-dire à l'annulation de  
10 l'intensité de ce courant, la différence de sensibilité entre les deux chaînes 30 et 40 se traduit par une distance parcourue par le véhicule entre les instants d'émission des premier et second signaux de localisation SL1, SL2.

          En considérant que la vitesse du véhicule est sensiblement constante lorsque l'antenne est en contact de la balise, cette distance correspond à un écart temporel entre  
15 les instants d'émission des premier et second signaux de localisation SL1, SL2. Il est à noter que cet écart temporel ne peut pas être borné car, plus la vitesse du véhicule est lente, plus l'écart temporel entre les instants d'émission des premier et second signaux de localisation est grand.

          En fonctionnement normal, chaque chaîne 30, 40 fournit un signal de localisation  
20 avec une précision fonctionnelle de +/- 2 cm du centre de la balise.

          Le signal de localisation étant émis lorsqu'il y a une variation de la différence de phase causée par une variation de la phase de l'intensité induite dans la seconde boucle en « 8 » de l'antenne, la précision fonctionnelle est exclusivement due au rapport signal sur bruit de la chaîne de traitement de cette intensité induite.

25           Mais, en cas de défaillance de l'une des deux chaînes, et comme il n'est pas possible d'identifier la chaîne qui est défaillante, on ne sait pas quel est le signal de localisation à prendre en compte parmi les premier et second signaux de localisation émis.

          Ainsi, le simple fait de dupliquer la chaîne de traitement, c'est-à-dire d'assurer une  
30 redondance dans la génération du signal de localisation, ne permet pas de localiser le véhicule par rapport au centre de la balise avec certitude, c'est-à-dire en sécurité.

          Les véhicules ferroviaires sont, de manière connue en soi, équipés d'un système odométrique qui comporte une roue phonique montée sur un essieu et dont le mouvement permet de déterminer la distance parcourue d par le véhicule depuis un point  
35 de référence situé le long de la voie.

Pour détecter la chaîne défaillante et limiter l'impact de cette défaillance sur la fonction de localisation, selon ce premier mode de réalisation, l'odométrie du véhicule est utilisée afin de fournir au module d'arbitrage 50 une donnée de distance d permettant audit module de déterminer la distance parcourue par le véhicule entre les instants d'émission des signaux de localisation SL1 et SL2 émis temporellement en premier par chacune des deux chaînes.

La Figure 2 réunit plusieurs graphes illustrant le comportement du premier algorithme dans différentes situations normale et de défaillance de l'une des chaînes de traitement, en l'occurrence la seconde chaîne de traitement 40.

Sur ces graphes, d1 représente le point au niveau duquel la première chaîne de traitement 30 émet pour la première fois un premier signal de localisation SL1 ; d2 représente le point au niveau duquel la seconde chaîne de traitement 40 émet pour la première fois un second signal de localisation SL2 ; et d0 représente le point qui est distant du signal émis temporellement en premier de la distance de référence D0.

Le graphe G1 représente l'intervalle spatial à l'intérieur duquel l'antenne est en contact avec la balise. Le centre géométrique de la balise est identifié par la référence C.

Le graphe G2, illustre un fonctionnement normal du système. Sur ce graphe, le signal de localisation arrivé temporellement en premier est le premier signal SL1 et le signal de localisation arrivé temporellement en second est le second signal SL2. Le second signal SL2 est émis en d2 avant le point d0. Ainsi, le module 50 sélectionne, en tant que signal de localisation en sécurité SLS, le second signal SL2. Sur les figures, on a encadré le signal sélectionné en tant que signal de localisation en sécurité par le module de sélection. On constate que le point d2 est à l'intérieur d'un intervalle [-2 cm ; + 7 cm] autour du point C.

Pour les graphes suivants, la seconde chaîne 40 est défaillante. Pourtant, cela n'a pas de conséquence car un signal de localisation en sécurité SLS est délivré par le système 10. Ce signal de localisation en sécurité est acceptable au sens où il permet une localisation correcte du véhicule par rapport à la balise dans l'intervalle [-2 cm ; + 7cm] autour du point C.

Le graphe G3 représente le cas où le second signal de localisation SL2 arrive trop tard par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque d'une chaîne, c'est à dire de +/- 2 cm par rapport au point C. Il est pourtant sélectionné en tant que signal de localisation en sécurité SLS par le module d'arbitrage 50, car le point d2 est à moins de 5 cm du point d1.

Le graphe G4 représente le cas où le second signal de localisation SL2 arrive trop tôt par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque d'une chaîne. Dans ce cas, le signal

émis temporellement en premier est le second signal SL2. Le premier signal SL1 arrivé temporellement en second, est alors sélectionné en tant que signal de localisation en sécurité SLS par le module d'arbitrage 50, car le point d1 est à moins de 5 cm du point d2.

- 5 Le graphe G5 représente le cas où le second signal de localisation SL2 est émis plusieurs fois, la première fois trop tôt par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque d'une chaîne. Dans ce cas, le signal émis temporellement en premier est le second signal. Le premier signal SL1 qui est arrivé temporellement en second est alors sélectionné en tant que signal en sécurité SLS par le module d'arbitrage 50, car le point
- 10 d1 est à moins de 5 cm du point d2.

Pour les graphes suivants, la seconde chaîne 40 est défaillante. Cette défaillance est identifiable de sorte qu'aucun signal de localisation en sécurité SLS n'est délivré par le système.

- 15 Le graphe G6 représente le cas où le second signal de localisation SL2 arrive trop tard par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque d'une chaîne. Bien que le second signal soit le signal émis temporellement en second, aucun signal de localisation en sécurité n'est émis par le module d'arbitrage, car le point d2 est au-delà du point d0 distant de d1 de 5 cm.

- 20 Le graphe G7 représente le cas où le second signal de localisation SL2 arrive trop tôt par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque d'une chaîne. Bien que le premier signal SL1 soit arrivé temporellement en second, aucun signal de localisation en sécurité n'est émis par le module d'arbitrage, car le point d1 est au-delà du point d0 distant de 5 cm du point d2.

- 25 Enfin, le graphe G8 représente le cas où le second signal de localisation SL2 arrive plusieurs fois, la première fois trop tôt par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque d'une chaîne. Le premier signal SL1 pourtant arrivé temporellement en second n'est pas sélectionné en tant que signal en sécurité SLS par le module d'arbitrage 50, car le point d1 est au-delà du point d0 distant de 5 cm du point d2.

- 30 Le graphe G9 représente le cas où la seconde chaîne 40 ne délivre aucun second signal de localisation SL2. Aucun signal de localisation en sécurité SLS n'est alors émis par le module d'arbitrage 50.

Ainsi, par la mise en œuvre du premier algorithme, le système 10 génère un signal de localisation en sécurité permettant de localiser le véhicule avec une précision de  $[- 2 \text{ cm} ; +7 \text{ cm}]$  par rapport au centre C de la balise avec une fiabilité de niveau SIL 4.

- 35 Pourtant, cette précision n'est pas assurée lorsque l'essieu sur lequel est montée la roue phonique du système d'odométrie est un essieu moteur et/ou freiné. Les

glissements, en traction ou en freinage, de cette roue de l'essieu engendrent une incertitude sur la distance réellement parcourue par le véhicule entre les instants d'émission des premiers et seconds signaux de localisation.

Les deux modes de réalisation suivants du système permettent avantageusement de répondre à ce problème en proposant des systèmes qui n'ont pas besoin de la donnée de distance parcourue délivrée par l'odométrie pour générer un signal de localisation en sécurité.

## SECONDE MODE DE REALISATION

Les figures 3, 4 et 5 sont relatives à un second mode de réalisation du système.

Un élément de la figure 3 qui est identique à un élément de la figure 1 est désigné sur la figure 3 par le chiffre de référence utilisé sur la figure 1 pour désigner cet élément correspondant.

Comme représenté sur la figure 3, le système 110 selon ce second mode de réalisation comprend une antenne 20 comportant des première et seconde boucles, respectivement simple 22 et en « 8 », 24, conforme à l'art antérieur.

Le système comporte, en plus de première et seconde chaînes de traitement 30 et 40, identiques à celles du premier mode de réalisation, une troisième chaîne électronique de traitement 80 des premier et second courants induits I1 et I2, respectivement par les première et seconde boucles de l'antenne, pour générer un troisième signal de localisation SL3.

La troisième chaîne de traitement 80 est indépendante des première et seconde chaînes 30 et 40.

La troisième chaîne de traitement 80 est identique à la première et à la seconde chaîne. En particulier, les circuits et les composants de la troisième chaîne de traitement sont identiques à ceux de la première et de la seconde chaîne. C'est la raison pour laquelle, les chiffres de référence utilisés pour désigner les composants des première et seconde chaînes ont été repris pour désigner les composants correspondants de la troisième chaîne.

Le système 110 comporte un module d'arbitrage 150 conçu pour générer un signal de localisation en sécurité SLS à partir, uniquement, des premier, second et troisième signaux de localisation SL1, SL2 et SL3 émis respectivement par chacune des trois chaînes 30, 40 et 80.

Le second algorithme mis en œuvre par le module d'arbitrage consiste à sélectionner, en tant que signal de localisation en sécurité SLS, le signal de localisation

arrivé temporellement en second parmi les signaux de localisation SL1, SL2, SL3 émis temporellement en premier par chacune des trois chaînes de traitement 30, 40, 80 respectivement.

Comme dans le premier mode de réalisation, ce second algorithme repose sur le fait qu'une chaîne qui fonctionne correctement fournit un signal de localisation à  $\pm 2$  cm du centre C de la balise, ceci étant garanti par les diagrammes de rayonnement différents des boucles 22 et 24 de l'antenne.

La figure 4 réunit plusieurs graphes illustrant le comportement du second algorithme mis en œuvre par le module 150.

Sur ces graphes, d1 représente le point au niveau duquel la première chaîne de traitement 30 émet pour la première fois un premier signal de localisation SL1 ; d2 représente le point au niveau duquel la seconde chaîne de traitement 40 émet pour la première fois un second signal de localisation SL2 ; et d3 représente le point au niveau duquel la troisième chaîne de traitement 80 émet pour la première fois un troisième signal de localisation SL3.

Le graphe F1 représente l'intervalle spatial à l'intérieur duquel l'antenne détecte la balise. Le centre géométrique de la balise est identifié par la référence C.

Le graphe F2, illustre un fonctionnement normal du système 110. Sur ce graphe, le premier signal SL1 arrive temporellement en premier, le second signal SL2 arrive temporellement en second et le troisième signal SL3 arrive temporellement en troisième. Le module 150 sélectionne, en tant que signal de localisation en sécurité SLS, le second signal SL2.

Pour les graphes suivants, la seconde chaîne 40 est défectueuse. Pourtant, cela n'a pas de conséquence car un signal de localisation en sécurité est délivré par le système 110. Ce signal de localisation en sécurité est acceptable au sens où il permet une localisation correcte dans l'intervalle de tolérance de  $\pm 2$  cm par rapport au centre C de la balise.

Le graphe F3 représente le cas où le second signal SL2 arrive trop tard par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque de  $\pm 2$  cm par rapport au point C. Le module 150 sélectionne alors le troisième signal de localisation SL3 qui est le signal arrivé temporellement en second. Le point d3 est à moins de 2 cm du point C.

Le graphe F4 représente le cas où le second signal SL2 arrive trop tôt par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque. Le module 150 sélectionne alors le premier signal SL1 qui est le signal arrivé temporellement en second. Le point d1 est à moins de 2 cm du point C.

Le graphe F5 représente le cas où le second signal SL2 est émis plusieurs fois, la première fois trop tôt par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque de +/- 2 cm par rapport au point C. Le premier signal SL1 est alors sélectionné en tant que signal en sécurité SLS par le module d'arbitrage 150, car il est effectivement le signal de localisation arrivé temporellement en second parmi les signaux de localisation émis temporellement en premier par chacune des trois chaînes. Le point d1 est à moins de 2 cm du point C.

Le graphe F6 représente le cas où la seconde chaîne 40 ne délivre aucun second signal de localisation. Pourtant, le module 150 sélectionne le troisième signal SL3 en tant que signal de localisation en sécurité SLS, car il s'agit du signal émis temporellement en second. Le point d3 est à moins de 2 cm du point C.

Une fois la localisation par rapport au point C effectuée, il est nécessaire d'identifier si une chaîne est défaillante afin de garantir le respect du niveau de sécurité SIL4. Le présent procédé possédant une tolérance à la panne d'une seule des trois chaînes, il repose donc sur l'identification d'une panne latente.

En particulier, les défaillances « trop tard » (graphe F3) ou « trop tôt » peuvent être détectées comme cela est illustré sur les figures 5A et 5B. On définit la distance « avant »  $Ad_i$ , comme la distance entre le point A de début de contact avec la balise (émission du signal SA) et le point  $di$  d'émission d'un signal de localisation  $SL_i$  par la  $i$ ème chaîne, et la distance « après »  $Bd_i$ , comme la distance entre le point  $di$  d'émission du signal de localisation  $SL_i$  et le point B de fin de contact avec la balise (émission du signal SB).

Contrairement à un fonctionnement normal (figure 5A), en fonctionnement défaillant (figure 5B), la chaîne défaillante présente une forte dissymétrie entre les distances « avant »  $Ad_i$  et « après »  $Bd_i$ , tandis que les deux autres chaînes qui fonctionnent correctement, présentent une plus ou moins grande symétrie entre ces deux distances.

Cela suppose que la vitesse du train soit stabilisée sur la balise. Ceci représente une majorité des cas étant donnée l'inertie d'un train et la petite taille d'une balise (50 cm environ).

Avantageusement, le module 150 comporte un moyen de détection de défaillance propre à calculer une grandeur relative à la dissymétrie à partir du signal de localisation en sécurité SLS, des signaux de début SA et de fin de contact SB avec la balise et des signaux de localisation  $SL_i$  émis temporellement en premier par chacune des chaînes. Ce moyen 151 génère un signal d'identification  $Sid$  de la chaîne défaillante dès que le rapport des distances « avant »  $Ad_i$  et « arrière »  $Bd_i$  de la chaîne

correspondante est par exemple hors d'un intervalle prédéfini autour de la valeur unité, de préférence [0,8 ; 1,2].

### TROISIEME MODE DE REALISATION

5

Les figures 6 et 7 sont relatives à un troisième mode de réalisation du système.

Un élément de la figure 6 qui est identique à un élément de la figure 1 est désigné sur la figure 6 par le chiffre de référence utilisé sur la figure 1 pour désigner cet élément correspondant.

10

Comme représenté sur la figure 6, le système 210 selon ce troisième mode de réalisation comprend une antenne 20 comportant deux boucles, respectivement simples 22 et en « 8 », 24.

Le système comporte une première chaîne 230 et une seconde chaîne 240 de traitement.

15

La première chaîne 230 comporte une partie analogique 260 et une première partie numérique 270.

La seconde chaîne 240 comporte, en tant que seconde partie analogique, la portion analogique 260 de la première chaîne 230, et une seconde partie numérique 370 indépendante de la partie numérique 270 de la première chaîne 230.

20

En d'autres termes, le système 210 comporte une partie analogique 260 commune aux première et seconde chaînes 230 et 240, une première partie numérique 270 associée spécifiquement à la première chaîne 230 et une seconde partie numérique 370 associée spécifiquement à la deuxième chaîne 240.

25

Les première et seconde parties numériques sont synchronisées entre elles par un moyen de synchronisation 280 adapté qui délivre le même signal d'horloge aux composants 67, 68, 230 et 240.

Les circuits et les composants de la partie analogique 260 sont identiques à ceux représentés sur la figure 1.

30

Les circuits et les composants des première et seconde parties numériques 270, 370 sont identiques entre eux et à ceux représentés sur la figure 1. Les chiffres de référence ont été réutilisés en conséquence.

Le système 210 comporte un module d'arbitrage 250 conçu pour générer un signal de localisation en sécurité SLS à partir, uniquement, des premier et second signaux de localisation SL1, SL2 émis respectivement par chacune des deux chaînes 230 et 240.

35

Un troisième algorithme, mis en œuvre par le module d'arbitrage 250, consiste à sélectionner, en tant que signal de localisation en sécurité SLS, le signal de localisation

arrivé temporellement en second parmi les signaux de localisation SL1, SL2 émis temporellement en premier par chacune des deux chaînes de traitement 230 et 240, à condition que la durée entre les instants d'émission des premier et second signaux SL1 et SL2 soit inférieure à une durée de référence T0. Cette durée de référence T0 est par exemple de 1  $\mu$ s. Ceci représente 0,1 mm à 500 km/h.

Comme dans le premier mode de réalisation, cet algorithme repose sur le fait qu'une chaîne qui fonctionne correctement fournit un signal de localisation à +/- 2 cm du centre C de la balise, ceci étant garanti par les diagrammes de rayonnement des boucles de l'antenne.

Ce troisième algorithme est fondé sur le fait que la différence de temps entre les instants d'émission d'un signal de localisation par deux chaînes indépendantes l'une de l'autre, dépend en fait exclusivement du gain et du rapport signal / bruit de la partie analogique de chacune de ces deux chaînes.

Dès lors, en utilisant une partie analogique commune aux deux chaînes et en réalisant un traitement synchrone dans les parties numériques, la durée séparant les instants d'émission des deux signaux de localisation provenant respectivement de chacune des deux chaînes est bornée.

Le temps de synchronisation entre les deux parties numériques réalisé par le moyen de synchronisation 280 définit la durée de référence T0.

La figure 7 réunit plusieurs graphes illustrant le comportement du troisième algorithme mis en œuvre par le module 250.

Sur ces graphes, d1 représente le point au niveau duquel la première chaîne de traitement 230 émet pour la première fois un premier signal de localisation SL1 ; d2 représente le point au niveau duquel la seconde chaîne de traitement 240 émet pour la première fois un second signal de localisation SL2.

Le graphe E1 représente l'intervalle spatial à l'intérieur duquel l'antenne détecte la balise. Le centre géométrique de la balise est identifié par la référence C.

Le graphe E2, illustre un fonctionnement normal du système 210. Sur ce graphe, le premier signal SL1 arrive temporellement en premier, le second signal SL2 arrive temporellement en second. La durée séparant les premier et second signaux de localisation est inférieure à la durée de référence T0. Le module 250 sélectionne, en tant que signal de localisation en sécurité SLS, le second signal SL2.

Pour les graphes suivants, la seconde chaîne 240 est défaillante. Aucun signal de localisation en sécurité SLS n'est alors délivré par le système 210.

Le graphe E3 représente le cas où le second signal SL2 arrive trop tard par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque de +/- 2 cm par rapport au point C. La

durée séparant les premier et second signaux de localisation SL1 et SL2 est supérieure à la durée de référence T0. Le module 250 ne sélectionne alors aucun des signaux de localisation.

5 Le graphe E4 représente le cas où le second signal SL2 arrive trop tôt par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque. La durée séparant les premier et second signaux de localisation SL1 et SL2 est supérieure à la durée de référence T0. Le module 250 ne sélectionne alors aucun des signaux de localisation.

10 Le graphe E5 représente le cas où le second signal de localisation SL2 est émis plusieurs fois, la première fois trop tôt par rapport à la précision fonctionnelle intrinsèque. La durée séparant les premier et second signaux de localisation SL1 et SL2 est supérieure à la durée de référence T0. Le module 250 ne sélectionne alors aucun des signaux de localisation.

15 Le graphe E6 représente le cas où la seconde chaîne 240 ne délivre aucun second signal de localisation. Le module 250 n'émet aucun signal de localisation en sécurité.

#### VARIANTE DE REALISATION (ANTENNE 3 BOUCLES)

20 En variante, les premier, second et troisième modes de réalisation sont adaptés pour un fonctionnement avec une antenne comportant trois boucles possédant des diagrammes de rayonnement différents les uns des autres, comme par exemple l'antenne décrite dans le document PCT/FR2010/050607. L'homme du métier saura comment adapter la partie analogique d'une chaîne de traitement afin qu'elle génère un signal de localisation qui tient compte des phases des premier, second et troisième courants induits dans chacune de ces trois boucles. En particulier, le signal délivré par la troisième boucle de l'antenne permet d'éviter à avoir à comparer le signal délivré par la première boucle par rapport à un seuil comme cela est réalisé dans les variantes du système où l'antenne possède deux boucles.

#### 30 ETUDE DES DEFAILLANCES POSSIBLES

Une analyse détaillée des défaillances possibles du système a été réalisée, de manière à estimer la probabilité de l'émission d'un signal de localisation en sécurité erroné, en vue de l'homologation du système.

35 Ces défaillances possibles sont de trois types :

- selon un premier type de défaillance, la perte de la génération d'un courant numérisé  $C_i$  en sortie du  $i$ ème circuit analogique se traduit par l'application d'un bruit blanc gaussien en entrée de la partie numérique de la chaîne.

5       - selon un second type de défaillance, la perte de la génération d'un courant numérisé  $C_i$  en sortie du  $i$ ème circuit analogique se traduit par une diaphonie, le  $i$ ème circuit recopiant le courant numérisé  $C_k$  généré par un autre circuit. Les courants  $C_i$  et  $C_k$  appliqués en entrée de la partie numérique de la chaîne sont alors fortement corrélés.

- selon un troisième type de défaillance, un retard systématique introduit par un circuit analogique dans la génération du courant numérisé  $C_i$  correspondant.

10       Pour traiter ces défaillances possibles, dans une première alternative du système, celui-ci comporte un moyen de test (non représenté sur les figures) conçu pour écarter ces défaillances possibles de la partie analogique.

Le moyen de test est conçu pour effectuer périodiquement un test consistant à appliquer, en entrée de chaque circuit, un courant de référence  $I_{iRef}$  à la place du courant  $I_i$  induit dans la boucle correspondante. Ce test consiste ensuite à analyser, à la sortie de  
15       chaque circuit, l'amplitude et le retard du courant numérisé  $C_{iRef}$  correspondant.

Pourtant, la réalisation périodique d'un test comporte deux désavantages :

20       - pour une défaillance du troisième type, le retard peut être significatif uniquement sur une bande de fréquences étroite qui ne serait pas détectable par le test à cause de la nature des premier et second courants de référence injectés ;

- le contact avec la balise peut être altéré si un test est réalisé alors que l'antenne passe au-dessus de la balise et empêchant la prise en compte des courants  $I_i$  générés par les antennes.

25       Pour ces raisons, une seconde alternative du système consiste à bloquer l'émission du signal de localisation en sécurité SLS généré, lorsque une ou plusieurs conditions supplémentaires ne sont pas vérifiées.

Pour éliminer les défaillances du premier type, une condition supplémentaire consiste à ne pas prendre en compte le signal de différence de phase filtré SDF lorsqu'il se situe dans un intervalle prédéfini centré sur la valeur 0.

30       En effet, si par exemple, le second courant numérisé  $C_2$  correspond à un bruit blanc gaussien, sa phase varie rapidement par rapport à celle du premier courant numérisé  $C_1$ , de sorte que la différence de phase  $SD_1$  ou  $SD_2$  vaut aussi souvent -1 que +1. Ainsi, la moyenne temporelle de la différence de phase entre les premier et second courants numérisés effectuée par le filtre 72 est proche de la valeur 0.

35       On montre que les bornes de cet intervalle dépendent non seulement du niveau de sécurité que l'on souhaite atteindre ( $10^{-9}$  pour le niveau SIL 4), mais également de la

fréquence d'échantillonnage du filtre 72 utilisé. Les valeurs de la bande de valeurs interdite du comparateur de seuil à hystérésis 73 sont adaptées en conséquence.

Par exemple, dans le cas du troisième mode de réalisation dans sa variante à deux boucles (Figure 6), aucun signal de localisation en sécurité n'est émis par le module 250, lorsque le signal de différence de phase filtré SDF1 ou SDF2 est compris entre  $-0,56$  et  $+0,56$  pour une fréquence d'environ 13 MHz, et entre  $-0,28$  et  $+0,28$  pour une fréquence d'environ 55 MHz.

En rejetant les situations dans lesquelles le signal de différence de phase filtré SDF1 ou SDF2 est proche de la valeur 0, les défaillances du premier type sont écartées.

Les défaillances du second type, pour les variantes du système où l'antenne comporte deux boucles, sont immédiatement détectées. En effet, elles conduisent à un signal de différence de phase filtrée SDF1 ou SDF2 égal à l'unité et ceci tout au long du contact de l'antenne avec la balise. Le comparateur 73 n'identifiant aucune variation de ce signal, il n'émet aucun signal. De la sorte, les défaillances du second type sont écartées.

Les défaillances du second type (un circuit analogique reproduit le signal le plus puissant parmi les signaux générés par les deux autres circuits analogiques, ou reproduit les deux signaux générés par les deux autres circuits analogiques) peut affecter les variantes du système où l'antenne comporte trois boucles. Pour écarter ce type de défaillance, le module d'arbitrage est adapté pour mettre en oeuvre une contrainte supplémentaire consistant, après avoir quitté le contact avec la balise, à vérifier qu'a effectivement été observée une séquence caractéristique des différences de phases entre les différentes paires de courants induits. A défaut, le signal de localisation de sécurité émis alors que l'antenne se trouvait au contact avec la balise, sera invalidé.

Cependant, pour écarter ce type de défaillance et afin d'éviter d'avoir à réaliser la vérification d'une contrainte après le passage de l'antenne au-dessus de la balise, cette vérification pouvant donc être réalisée plusieurs secondes après le passage du centre de l'antenne au-dessus du centre de la balise notamment dans le cas où la vitesse du train est faible, il est préférable de vérifier la contrainte selon laquelle les courants des première et troisième boucles de l'antenne ont moins de 20dB d'écart, qui peut être réalisée au moment où le centre de l'antenne se trouve à l'aplomb du centre de la balise. En cas de vérification positive, le signal de localisation en sécurité est émis.

Enfin, l'étude des causes du troisième type de défaillances montre que :

- l'amplificateur 65, 66 ne peut retarder un signal que de quelques microsecondes, ce qui conduit à une erreur de localisation de quelques millimètres acceptable compte tenu de la précision fonctionnelle intrinsèque de  $\pm 2$  cm par rapport au centre de la balise ;

- le convertisseur analogique/numérique 67, 68 ne peut pas retarder un signal au-delà de quelques cycles d'horloge, soit moins d'une microseconde ;
- le filtre 63, 64 peut seul retarder le signal de manière significative.

5 Mais, on montre qu'un retard préjudiciable compte tenu de la précision fonctionnelle intrinsèque, par exemple un retard de l'ordre de 350  $\mu$ s correspond à une distance de 5 cm à 500 km/h, ne peut être introduit que par un filtre présentant une structure particulière, caractérisée par une bande passante extrêmement étroite. Une telle bande passante nécessite l'utilisation de selfs et/ou de capacités dont l'impédance est soit très importante, soit très faible. Il suffit alors, en phase amont de conception du filtre 63,  
10 64 d'éviter ces impédances importantes ou faibles, pour garantir un retard suffisamment faible et de ce fait rejeter, par construction, les défaillances du troisième type.

En conclusion, l'invention proposée permet :

- d'obtenir une information de localisation avec un niveau de sécurité élevé, respectant le niveau SIL 4 ;
- 15 - d'obtenir une précision de ce signal de localisation en sécurité de +/- 2 cm avec une antenne à deux boucles et de +/- 2 cm avec une antenne comportant trois boucles ;
- de ne plus utiliser l'odométrie pour obtenir un signal de localisation en sécurité en SIL4, et ainsi de mieux s'adapter à une traction répartie (patinage et glissement des roues donnant de fausses valeurs d'odométrie) ;
- 20 - de détecter une panne latente de l'une des chaînes.

**REVENDEICATIONS**

1. Système (10 ; 110 ; 210) embarqué de génération d'un signal de localisation d'un véhicule ferroviaire, du type comportant :

5       - une antenne (20) comportant une première boucle (22) et une seconde boucle (24) ayant des diagrammes de rayonnement respectifs différents, les première et seconde boucles étant respectivement propres à générer des premier et second courants (I1, I2) lors du passage de l'antenne au-dessus d'une balise adaptée, située sur la voie en une position connue ; et,

10       - une chaîne électronique de traitement conçue pour générer un signal de localisation à partir desdits premier et second courants,

          caractérisé en ce que, ladite chaîne étant une première chaîne (30 ; 130 ; 230) conçue pour générer un premier signal de localisation (SL1), le système (10 ; 110 ; 210) comporte une seconde chaîne électronique de traitement (40 ; 140 ; 240) conçue pour  
15       générer un second signal de localisation (SL2) à partir desdits premier et second courants, et en ce que le système comporte en outre un moyen d'arbitrage (50 ; 150 ; 250) propre à générer un signal de localisation en sécurité (SLS) en fonction desdits premier et second signaux de localisation.

20       2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdites première et seconde chaînes (30, 40 ; 130, 140) sont indépendantes l'une de l'autre.

3. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdites première et seconde chaînes (30, 40 ; 130, 140) sont identiques l'une à l'autre.

25       4. Système (10) selon la revendication 3, caractérisé en ce que le moyen d'arbitrage (50) sélectionne, en tant que signal de localisation en sécurité (SLS), le signal arrivé temporellement en second parmi les premier et second signaux de localisation (SL1, SL2) émis temporellement en premier par chacune des première et seconde  
30       chaînes (30, 40).

5. Système (10) selon la revendication 3, caractérisé en ce que le moyen d'arbitrage (50) prend en entrée une distance (d) délivrée par un système odométrique équipant ledit véhicule, et en ce que le moyen d'arbitrage (50) sélectionne le signal arrivé  
35       temporellement en second s'il arrive en un point qui est à une distance du point

d'émission du signal émis temporellement le premier inférieure à une distance de référence (D0), notamment égale à 5 cm.

6. Système selon la revendication 5, caractérisé en ce que, l'antenne comportant une troisième boucle dont le diagramme de rayonnement est différent de celui de la seconde boucle et de celui de la première boucle, ledit signal de localisation en sécurité (SLS) permettant de localiser le véhicule par rapport à la position connue de la balise avec une précision de  $-2/+7$  cm.

7. Système (110) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comporte une troisième chaîne électronique de traitement (80) conçue pour générer un troisième signal de localisation (SL3) à partir desdits premier et second courants (I1, I2), et en ce que ledit moyen d'arbitrage (150) est conçu pour sélectionner, en tant que signal de localisation en sécurité (SLS), le signal de localisation émis temporellement en second parmi les premier, second et troisième signaux de localisation (SL1, SL2, SL3) émis temporellement en premier par chacune des première, seconde et troisième chaînes (30, 40, 80).

8. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que le moyen d'arbitrage (150) est conçu pour déterminer, pour chacune des chaînes (30, 40, 50), une durée « avant » séparant l'instant de début de détection de la balise (A) et l'instant d'émission du signal de localisation (SL1, SL2, SL3) émis temporellement en premier par la chaîne considérée, et une durée « après » séparant l'instant d'émission du signal de localisation (SL1, SL2, SL3) émis temporellement en premier par la chaîne considérée et l'instant de fin de détection de la balise (B), et en ce que le moyen d'arbitrage (250) comporte un moyen (151) propre à identifier la défaillance d'une chaîne si le rapport de la durée « avant » sur la durée « après » est hors d'un intervalle prédéterminée autour de la valeur unité.

9. Système (210) selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première chaîne (230) comporte une première partie analogique (260) et une première partie numérique (270), en ce que la seconde chaîne (240) comporte, en tant que seconde partie analogique, ladite première partie analogique de la première chaîne, et une seconde partie numérique (370) indépendante de ladite première partie numérique de la première chaîne.

10. Système (210) selon la revendication 9, caractérisé en ce que la seconde partie numérique (370) de la seconde chaîne (240) est identique à la première partie numérique (270) de la première chaîne (230).

5 11. Système (210) selon la revendication 9 ou la revendication 10, caractérisé en ce que le moyen d'arbitrage (250) sélectionne, en tant que signal de localisation en sécurité (SLS), le signal de localisation arrivé temporellement en second parmi lesdits premier et second signaux de localisation (SL1, SL2) émis temporellement en premier par chacune des première et seconde chaînes (230, 240), à condition que la durée séparant  
10 l'émission des signaux de localisation émis temporellement en premier par chacune des chaînes soit inférieure à une durée de référence (T0), notamment égale à 1,5  $\mu$ s.

12. Système (110 ; 210) selon l'une quelconque des revendications 7 à 11, caractérisé en ce que, l'antenne comportant une troisième boucle dont le diagramme de  
15 rayonnement est différent de celui de la seconde boucle et de celui de la première boucle, ledit signal de localisation en sécurité (SLS) permet de localiser le véhicule par rapport à la position connue de la balise avec une précision de +/-5 cm, de préférence +/- 2 cm.

13. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
20 caractérisé en ce que, chaque chaîne comportant une partie analogique et une partie numérique, le système comporte un moyen de test conçu pour appliquer un courant de référence sur une entrée d'une partie analogique et pour analyser des signaux de courant numérisés générés en sortie de ladite partie analogique ou d'une autre partie analogique.

25 14. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il respecte le niveau de sécurité SIL 4.

15. Véhicule ferroviaire comportant un système embarqué de génération d'un signal de localisation, caractérisé en ce que ledit système est un système (10, 110, 210)  
30 conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 14.

16. Procédé de génération d'un signal de localisation d'un véhicule ferroviaire, comportant les étapes consistant à :

- générer des premier et second courants (I1, I2) lors du passage d'une antenne  
35 au-dessus d'une balise adaptée, ladite antenne étant embarquée à bord du véhicule et comportant une première boucle et une seconde boucle ayant des diagrammes de

rayonnement respectifs différents, ladite balise étant située sur la voie en une position connue ;

- générer un signal de localisation à partir desdits premier et second courants ;

caractérisé en ce que, ledit signal de localisation étant un premier signal de localisation (SL1) émis par une première chaîne de traitement (30, 130, 230) des premier et seconds courants, le procédé consiste à :

- générer un second signal de localisation (SL2) à partir desdits premier et second courants (I1, I2) au moyen d'une seconde chaîne de traitement (40, 140, 240) ; et,

- générer un signal de localisation en sécurité (SLS) en fonction desdits premier et second signaux de localisation (SL1, SL2).

17.- Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que la génération d'un signal de localisation en sécurité consiste à sélectionner, en tant que signal de localisation en sécurité, le signal de localisation arrivé temporellement en second parmi les premier et second signaux de localisation émis temporellement en premier par chacune des première et seconde chaînes de traitement, à condition que la distance séparant le signal de localisation arrivé temporellement en second, du signal de localisation arrivé temporellement en premier, soit inférieure à une distance de référence (D0) prédéterminée.

18.- Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'il comporte l'étape consistant à générer un troisième signal de localisation (SL3) à partir desdits premier et second courants (I1, I2) au moyen d'une troisième chaîne de traitement (80) ; et en ce que la génération d'un signal de localisation en sécurité (SLS) consiste à sélectionner, en tant que signal de localisation en sécurité, le signal de localisation arrivé temporellement en second parmi les signaux de localisation (SL1, SL2, SL3) émis temporellement en premier par chacune des trois chaînes de traitement (30, 40, 80) respectivement.

19.- Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que, la première chaîne (230) comportant une première partie analogique (260) et une première partie numérique (270), la seconde chaîne (240) comportant, en tant que seconde partie analogique, ladite première partie analogique de la première chaîne, et une seconde partie numérique (370) indépendante de ladite première partie numérique de la première chaîne, la génération d'un signal de localisation en sécurité consiste à sélectionner, en tant que signal de localisation en sécurité (SLS), le signal de localisation arrivé temporellement en second parmi les signaux de localisation (SL1, SL2) émis

temporellement en premier par chacune des deux chaînes de traitement (230, 240), à condition que la durée entre les instants d'émission des premier et second signaux soit inférieure à une durée de référence (T0) prédéterminée.

- 5            20.- Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que le procédé comporte en outre la vérification d'au moins une condition supplémentaire permettant la détection d'une défaillance de la partie analogique (260) commune aux première et seconde chaînes de traitement (230, 240).