

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 046 222**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **15 63303**

⑤① Int Cl⁸ : **F 42 D 1/045 (2017.01)**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ MODULE PERIPHERIQUE D'ALIMENTATION POUR DETONATEUR ELECTRONIQUE.

②② Date de dépôt : 24.12.15.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 30.06.17 Bulletin 17/26.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 16.02.18 Bulletin 18/07.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES et
DAVEY BICKFORD Société en nom collectif — FR.

⑦② Inventeur(s) : BIARD LIONEL et DESPESE
GHISLAIN.

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES,
DAVEY BICKFORD Société en nom collectif.

⑦④ Mandataire(s) : SANTARELLI.

FR 3 046 222 - B1



5 La présente invention concerne un module périphérique d'alimentation pour détonateur électronique.

 Elle concerne également un système de détonation sans fil et un système d'initiation pyrotechnique mettant en œuvre un tel module périphérique d'alimentation, ainsi qu'un procédé d'activation d'un système de détonation
10 sans fil.

 La présente invention s'applique de manière générale dans le domaine de l'initiation pyrotechnique, dans tout secteur où un réseau de un ou plusieurs détonateurs électroniques doit traditionnellement être mis en œuvre. Des exemples typiques d'utilisation concernent l'exploitation des mines,
15 carrières, l'exploration sismique, ou encore le secteur du bâtiment et des travaux publics.

 En pratique, les détonateurs électroniques sont mis en place respectivement dans des trous de forage préalablement creusés et chargés en un matériau explosif. La mise à feu des détonateurs électroniques est réalisée
20 selon une séquence prédéterminée.

 Pour parvenir à ce résultat, un retard de mise à feu est associé individuellement à chaque détonateur électronique, et un ordre de tir commun est adressé à l'ensemble des détonateurs électroniques par une console de commande à distance. Cet ordre de tir permet de synchroniser le décompte du
25 retard de mise à feu pour l'ensemble des détonateurs électroniques. A partir de la réception de l'ordre de tir, les détonateurs électroniques gèrent en toute autonomie le décompte du retard spécifique qui leur est associé ainsi que leur propre mise à feu.

 Traditionnellement, la mise en place d'un réseau de détonateurs
30 électroniques nécessite une étape de câblage de tous les détonateurs électroniques du réseau à la console de commande à distance.

Ce câblage permet d'une part d'échanger des informations, des commandes et/ou des messages entre la console de commande à distance et les détonateurs électroniques, notamment pour transmettre l'ordre de tir. Ce moyen de communication est aussi couramment mis à profit pour échanger
5 d'autres types d'information, par exemple pour effectuer des tâches de diagnostic du réseau pour détecter d'éventuelles anomalies avant la mise à feu.

Le câblage permet d'autre part à la console de commande à distance de fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement et à la mise à feu de l'ensemble des détonateurs électroniques. Pour des questions de sécurité, les
10 détonateurs électroniques actuels ne comportent en effet pas de source d'énergie permanente. Celle-ci est fournie par la console de commande à distance et est stockée localement dans les détonateurs électroniques dans des moyens de stockage dédiés (typiquement dans une ou plusieurs capacités) en vue de leur mise à feu.

15 Toutefois, cette étape de câblage est délicate à mettre en œuvre pour assurer le fonctionnement du réseau de détonateurs électroniques en toute sécurité.

En outre, afin de garantir la sûreté du personnel et des équipements, il faut éliminer tout risque de départ inopiné des détonateurs électroniques, ainsi
20 que tout risque de non mise à feu après transmission de l'ordre de tir par la console de commande à distance.

On connaît par ailleurs dans l'état de la technique des solutions, appelées « *détonateurs sans fil* », permettant de s'affranchir du câblage entre les détonateurs électroniques et la console de commande à distance et de
25 réduire les risques de non mise à feu. Elles mettent en œuvre des moyens de communication sans fil, tout en remplissant les fonctions de communication avec la console de commande à distance et d'apport d'énergie au détonateur électronique, usuellement gérées au moyen du réseau de câbles.

Le document WO2006/096920 A1 décrit ainsi un détonateur
30 électronique comportant une amorce explosive, des modules de communication sans fil et de traitement, permettant de communiquer avec une console de commande à distance, et un élément de stockage d'énergie électrique. Le

détonateur électronique comporte en outre une source d'énergie embarquée, permettant d'alimenter les modules de communication et de traitement et de fournir de l'énergie à l'élément de stockage d'énergie, et un circuit de mise à feu connecté à l'élément de stockage d'énergie. Dans un mode de réalisation, 5 seule l'amorce explosive est placée au fond d'un trou de forage, la source d'énergie embarquée, les modules de communication sans fil et de traitement et l'élément de stockage d'énergie étant placés dans un boîtier disposé à la surface du sol afin de favoriser la communication sans fil avec la console de commande à distance.

10 Toutefois, la présence permanente d'une source d'énergie embarquée dans le boîtier, en coopération avec l'élément de stockage d'énergie pour la mise à feu du détonateur, présente inévitablement un risque de transfert accidentel d'énergie vers l'amorce explosive, et donc d'un départ inopiné du détonateur électronique.

15 D'autre part, la localisation en surface dans un boîtier de l'élément de stockage d'énergie pour la mise à feu de l'amorce explosive rend la mise à feu du détonateur électronique incertaine. En effet, la mise à feu d'un détonateur voisin dans le plan de tir présente un risque de destruction prématurée du boîtier disposé en surface. Si l'explosion du détonateur voisin vient arracher le 20 câble reliant l'élément de stockage d'énergie à l'amorce explosive située au fond du trou de forage, la mise à feu de l'amorce explosive ne peut plus avoir lieu. Le risque de non mise à feu du détonateur électronique après transmission de l'ordre de tir par la console de commande à distance est encore augmenté lorsqu'on considère un séquençement de la mise à feu et que le détonateur 25 voisin est programmé pour exploser avant le détonateur considéré.

Par ailleurs, lorsque seule l'amorce explosive est placée au fond d'un trou de forage et reliée par un câble au boîtier du détonateur électronique, le diagnostic du bon fonctionnement des éléments enterrés est incertain, voire impossible, réduisant la fiabilité du système. Il est en effet difficile de vérifier si 30 le câble enterré est toujours intact après avoir rempli le trou de forage d'un matériau de bourrage, et si le transfert d'énergie va permettre la mise à feu de l'amorce explosive.

5
Finalement, dans le détonateur électronique décrit dans le document WO2006/096920 A1, les modules de communication sans fil et de traitement sont alimentés en permanence par la source d'énergie embarquée. Ce type de montage n'est pas adapté à la mise en œuvre réelle des détonateurs électroniques, pour lesquels le délai entre la fabrication et l'utilisation peut être de plusieurs mois.

10
Par ailleurs, l'alimentation du module de communication sans fil présente un risque de mise en communication avec la console de commande à distance et la réception d'ordres ou de messages alors même que l'amorce explosive du détonateur électronique n'est pas positionnée dans le trou de forage, présentant un risque de déclenchement intempestif et prématuré du détonateur électronique.

15
La présente invention a pour but de résoudre tout ou partie des inconvénients précités et de proposer un détonateur électronique avec des moyens de communication sans fil de fonctionnement fiable et sécurisé.

20
A cet effet, la présente invention concerne, selon un premier aspect, un module périphérique d'alimentation pour détonateur électronique, comprenant une source d'énergie embarquée, des moyens de communication sans fil avec une console de commande à distance, des moyens de traitement et des moyens de communication filaire avec au moins un détonateur électronique.

25
Selon l'invention, des moyens formant interrupteur sont montés entre ladite source d'énergie embarquée d'une part, et lesdits moyens de communication sans fil, lesdits moyens de traitement et lesdits moyens de communication filaire d'autre part, ledit module périphérique d'alimentation comprenant en outre des moyens de détection de raccordement d'au moins un détonateur électronique, lesdits moyens de traitement étant dans un mode activé lorsqu'au moins un détonateur électronique est raccordé audit module périphérique d'alimentation, lesdits moyens de détection de raccordement étant
30 adaptés dans ledit mode activé à commander lesdits moyens formant interrupteur pour alimenter lesdits moyens de traitement par ladite source d'énergie embarquée

Ainsi, la source d'énergie embarquée est isolée par des moyens formant interrupteur des moyens de communication sans fil, des moyens de traitement et des moyens de communication filaire du module périphérique d'alimentation, et des moyens de détection de raccordement permettent
5 d'activer l'alimentation des moyens de traitement par la source d'énergie embarquée, lors du raccordement d'un détonateur électronique.

Cette structure permet de préserver la durée de vie de la source d'énergie embarquée avant l'utilisation concrète du module périphérique d'alimentation d'un détonateur électronique.

10 Par ailleurs, la source d'énergie embarquée du module périphérique d'alimentation est dissociée du détonateur électronique tant que celui-ci n'est pas raccordé au module périphérique d'alimentation, assurant une sécurité adéquate lors du transport et la manipulation des détonateurs électroniques.

Le module périphérique d'alimentation comprend des
15 caractéristiques et modes de réalisation suivants, qui peuvent être pris en combinaison ou isolément.

Selon un mode de réalisation, lesdits moyens de traitement dans ledit mode activé commandent l'alimentation desdits moyens de communication sans fil et desdits moyens de communication filaire par ladite source d'énergie
20 embarquée.

Alternativement, lesdits moyens de détection de raccordement sont adaptés à commander lesdits moyens formant interrupteur pour alimenter simultanément lesdits moyens de traitement, lesdits moyens de communication sans fil et lesdits moyens de communication filaire lorsqu'au moins un
25 détonateur électronique est raccordé audit module périphérique d'alimentation.

Avantageusement, lesdits moyens de traitement dans ledit mode activé communiquent avec ledit au moins un détonateur électronique.

Dans un mode de réalisation, le module périphérique d'alimentation comprend des moyens de connexion d'au moins un détonateur électronique,
30 les moyens de détection de raccordement détectant un changement d'impédance aux bornes desdits moyens de connexion.

Selon un exemple de réalisation, les moyens de détection de raccordement comprennent un dispositif de mesure de courant connecté électriquement à l'une desdites bornes des moyens de connexion, et un comparateur de courant adapté à comparer la valeur du courant mesuré par ledit dispositif de mesure de courant à une valeur prédéfinie.

En pratique, ladite valeur prédéfinie est sensiblement égale à la moitié du courant consommé par un détonateur électronique.

Dans un mode de réalisation, lesdits moyens de traitement sont adaptés à commander un interrupteur monté entre ladite source d'énergie embarquée et des moyens de connexion d'au moins un détonateur électronique au module périphérique d'alimentation.

En pratique, lesdits moyens de communication sans fil sont adaptés à recevoir des messages de ladite console de commande à distance et à émettre des messages à destination de ladite console de commande à distance, lesdits messages réceptionnés étant adressés auxdits moyens de traitement, et optionnellement audit au moins un détonateur électronique par les moyens de communication filaire.

Avantageusement, lesdits moyens de traitement sont adaptés à désactiver l'alimentation desdits moyens de communication sans fil et desdits moyens de communication filaire par ladite source d'énergie embarquée à réception d'un ordre de mise en veille émis par ladite console de commande à distance et/ou en l'absence de réception de messages de la console de commande à distance pendant une période de temps prédéterminée.

Selon un mode de réalisation, l'alimentation desdits moyens de communication sans fil, desdits moyens de traitement et desdits moyens de communication filaire par ladite source d'énergie embarquée est désactivée lorsqu'aucun détonateur électronique n'est raccordé audit module périphérique d'alimentation.

En pratique, ladite source d'énergie embarquée est une source d'énergie limitée en courant.

Selon un deuxième aspect, la présente invention concerne un système de détonation sans fil comprenant un module périphérique

d'alimentation conforme à l'invention et au moins un détonateur électronique, ledit au moins un détonateur électronique étant raccordé audit module périphérique d'alimentation par un connecteur monté à l'extrémité d'un câble d'alimentation dudit au moins un détonateur électronique.

5 En pratique, le détonateur électronique comprend, dans un boîtier, une amorce explosive, des moyens de communication filaire, des moyens de traitement, un premier élément de stockage d'énergie dédié à l'alimentation desdits moyens de communication filaire et desdits moyens de traitement, et un
10 second élément de stockage d'énergie dédié à la mise à feu de ladite amorce explosive, lesdits moyens de communication filaire et lesdits premier et second éléments de stockage d'énergie étant connectés audit câble d'alimentation dudit détonateur électronique.

 Selon un troisième aspect, la présente invention concerne un système d'initiation pyrotechnique comprenant une console de commande à
15 distance comportant des moyens de communication sans fil et un ou plusieurs systèmes de détonation sans fil conforme à l'invention.

 Selon un mode de réalisation, ladite console de commande à distance est connectée par un réseau de câbles à un premier sous-ensemble de détonateurs électroniques et en communication sans fil avec un second
20 sous-ensemble de détonateurs électroniques connectés à des modules périphériques d'alimentation.

 Selon un quatrième aspect, la présente invention concerne un procédé d'activation d'un système de détonation sans fil conforme à l'invention, comprenant les étapes suivantes successives :

25 - détection du raccordement d'au moins un détonateur électronique audit module périphérique d'alimentation ; et
 - activation des moyens de traitement dudit module périphérique d'alimentation, lesdits moyens de traitement étant alimentés par ladite source d'énergie embarquée.

30 En pratique, le procédé d'activation comprend en outre une étape de commande de l'alimentation desdits moyens de communication sans fil et/ou

desdits moyens de communication filaire par ladite source d'énergie embarquée.

Avantageusement, le procédé d'activation comprend en outre une étape de communication desdits moyens de traitement avec ledit au moins un
5 détonateur électronique.

En pratique, lors de l'étape de communication, un identifiant dudit au moins un détonateur électronique est lu par lesdits moyens de traitement et/ou un diagnostic de fonctionnement dudit au moins un détonateur électronique et/ou dudit câble d'alimentation est établi par lesdits moyens de traitement.

10 Le système de détonation sans fil, le système d'initiation pyrotechnique et le procédé d'activation présentent des caractéristiques et des avantages analogues à ceux décrits précédemment en relation avec le module périphérique d'alimentation.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront
15 encore dans la description ci-après.

Aux dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs :

- la figure 1 est un schéma bloc illustrant un système de détonation sans fil selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 est un schéma bloc illustrant un système de détonation
20 sans fil selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- les figures 3 à 7 sont des schémas bloc illustrant différents exemples de réalisation de moyens de détection de raccordement d'un détonateur électronique mis en œuvre dans un module périphérique d'alimentation d'un système de détonation sans fil ; et
- 25 - la figure 8 est un schéma bloc illustrant un système d'initiation pyrotechnique selon un exemple de réalisation de mise en œuvre de l'invention.

On va décrire tout d'abord en référence aux figures 1 et 2 un système de détonation sans fil selon deux modes de réalisation de l'invention.

Les éléments communs des figures 1 et 2 portent les mêmes
30 références numériques et sont décrits simultanément ci-après.

Dans son principe, un système de détonation sans fil 100 comprend au moins un détonateur électronique 110 raccordé à un module périphérique d'alimentation 150.

5 Dans les exemples des figures 1 et 2, un unique détonateur électronique 110 est illustré.

Toutefois, comme cela sera décrit ultérieurement, plusieurs détonateurs électroniques similaires 110 peuvent être raccordés à un même module périphérique d'alimentation 150.

10 Le détonateur électronique 110 est destiné à être placé dans un trou de forage chargé en matériau explosif.

De manière générale, le détonateur électronique 110 comporte un boîtier 111 schématisé aux figures 1 et 2 par un contour adapté à contenir les différents éléments fonctionnels du détonateur électronique 110.

15 Le détonateur électronique 110 comprend, dans le boîtier 111, une amorce explosive 112, des moyens de communication filaire 113 et des moyens de traitement 114.

Pour l'alimentation électrique du détonateur électronique 110, un câble d'alimentation 115 permet le raccordement du détonateur électronique 110 au module d'alimentation périphérique 150.

20 A titre d'exemple, le câble d'alimentation 115 est un câble bifilaire relié au boîtier 110. Le câble d'alimentation 115 a une longueur supérieure à la profondeur du trou de forage considéré.

25 Un connecteur 116 monté à l'extrémité du câble d'alimentation 115 est prévu pour raccorder le détonateur électronique 110 comme cela sera décrit ultérieurement.

30 Si le raccordement du détonateur électronique 110 doit se faire après positionnement du détonateur électronique 110 dans le trou de forage, la longueur du câble d'alimentation 115 doit être suffisante pour que le connecteur 116 soit disponible en sortie du trou de forage et permettre ainsi sa connexion au module d'alimentation périphérique 150.

Bien entendu, le raccordement du détonateur électronique 110 au module d'alimentation périphérique 150 peut être réalisé avant le

positionnement du détonateur électronique 110 au fond du trou de forage, de telle sorte qu'il n'est pas nécessaire que le connecteur 116 soit accessible en sortie du trou de forage.

Par ailleurs, le mode de réalisation décrit précédemment n'est pas limitatif, le connecteur 116 pouvant être intégré au détonateur électronique 110, directement sur le boîtier 111, ou intégré au module périphérique d'alimentation 150, ou encore disposé à tout endroit du câble d'alimentation 115.

Ainsi, le câble d'alimentation 115 peut également être solidaire du module périphérique d'alimentation 150 ou encore être un élément indépendant, pouvant être raccordé respectivement à deux connecteurs intégrés l'un au module périphérique d'alimentation 150, l'autre au détonateur électronique 110.

Les moyens de communication filaire 113 sont de préférence bidirectionnels. La modulation pour une communication à destination du détonateur électronique 110 est de préférence une modulation de tension. La modulation utilisée pour une communication à l'origine du détonateur électronique est de préférence une modulation de courant, réalisée à partir d'une commutation d'impédance.

Le détonateur électronique 110 comprend en outre un premier élément de stockage d'énergie 117 dédié à l'alimentation des moyens de communication filaire 113 et des moyens de traitement 114 et un second élément de stockage d'énergie 118 dédié à la mise à feu de l'amorce explosive 112.

Les moyens de communication filaire 113 et les premier et second éléments de stockage d'énergie 117, 118 sont connectés au câble d'alimentation 115 du détonateur électronique.

Par ailleurs, un dispositif de décharge 119 est prévu entre le second élément de stockage d'énergie 118 et l'amorce explosive 112.

Le dispositif de décharge 119 forme un mécanisme de sécurité permettant la décharge lente du second élément de stockage d'énergie 118 dédié à la mise à feu afin de revenir dans un état de sécurité, non chargé, du détonateur électronique en cas d'abandon d'un ordre de tir.

Le premier élément de stockage d'énergie 117 dédié à l'alimentation des moyens de communication filaire 113 et des moyens de traitement 114 est chargé à partir de l'énergie électrique fournie par le câble d'alimentation 115 du détonateur électronique 110.

5 A titre d'exemple non limitatif, le premier élément de stockage d'énergie 117 est constitué d'une capacité.

Le second élément de stockage d'énergie 118 dédié à la mise à feu de l'amorce explosive 112 est de préférence chargé à une tension inférieure à la tension requise pour la mise à feu de l'amorce explosive 112 et adapté à
10 restituer l'énergie à une tension plus élevée, permettant la mise à feu de l'amorce explosive 112.

Le second élément de stockage d'énergie 118 peut être constitué par exemple d'une ou plusieurs capacités et d'un ou plusieurs étages d'élévation de tension.

15 Un mécanisme d'isolation, illustré par un interrupteur K10, est monté en amont du second élément de stockage d'énergie 118 dédié à la mise à feu.

Le mécanisme d'isolation K10 permet d'activer ou désactiver l'apport d'énergie électrique fournie par le câble d'alimentation 115 à destination du second élément de stockage d'énergie 118.

20 De même, un mécanisme de mise à feu, schématisé par un interrupteur K11, permet de commander le transfert de l'énergie électrique du second élément de stockage d'énergie 118 à destination de l'amorce explosive 112 lors de la mise à feu.

Le mécanisme d'isolation K10 et le mécanisme de mise à feu K11
25 sont commandés par les moyens de traitement 114 en fonction des ordres reçus par le détonateur électronique 110.

Les moyens de traitement 114 permettent en particulier de traiter des messages reçus, ainsi que d'agir en fonction de la signification des messages. Ils peuvent comprendre un calculateur ou un microprocesseur associé à des registres ou mémoires. Ils permettent en particulier de manière connue :
30

- d'analyser des messages reçus par les moyens de communication filaire 113,

- d'agir en fonction de la signification des messages reçus, et par exemple, d'exécuter l'une des actions suivantes,

- de réaliser un diagnostic des fonctionnalités internes du détonateur électronique 110,

5 - d'initier un envoi de message par le détonateur électronique 110,
 - d'activer le stockage d'énergie pour la mise à feu,
 - de contrôler le second élément de stockage d'énergie 118 pour la mise à feu,

 - d'activer le dispositif de décharge 119,
10 - d'effectuer le décompte du retard de mise à feu,
 - d'activer le transfert d'énergie entre le second élément de stockage d'énergie 118 et l'amorce explosive 112 à l'issue du décompte, via le mécanisme de mise à feu K11, ...

Dans le système de détonation sans fil 100 illustré aux figures 1 et 2,
15 le détonateur électronique 110 est raccordé à un module périphérique d'alimentation 150 par le connecteur 116 monté à l'extrémité du câble d'alimentation 115 du détonateur électronique 110.

Bien entendu, le détonateur électronique 110 pourrait également être raccordé par le connecteur 116 à un câble réseau relié à une console de
20 commande à distance.

Cette alternative sera décrite plus en détails ci-après en référence à la figure 8.

On va décrire ci-après un exemple de réalisation d'un module périphérique d'alimentation 150.

25 De préférence, le module périphérique d'alimentation 150 comprend un boîtier, schématisé par le contour 151 aux figures 1 et 2.

Le boîtier est de préférence robuste et étanche et intègre l'ensemble des fonctionnalités du module périphérique d'alimentation 150 qui vont être décrites ci-après.

30 Le module périphérique d'alimentation 150 comprend des moyens de connexion d'un ou plusieurs détonateurs électroniques 110.

Les moyens de connexion sont prévus pour conserver au maximum le caractère étanche et rigide du boîtier 151 du module périphérique d'alimentation 150.

5 A titre d'exemple, les moyens de connexion peuvent être formés d'un simple câble bifilaire 152, de longueur limitée, connecté à l'intérieur du boîtier 151 du module périphérique d'alimentation et débouchant du boîtier 151 par un orifice de passage de câbles.

L'étanchéité au niveau de l'orifice de passage peut être réalisée de manière connue par un presse-étoupe.

10 Le câble bifilaire 152 permet ainsi une connexion simple d'un ou plusieurs détonateurs électroniques 110 grâce aux connecteurs 116 adaptés à raccorder un détonateur électronique 110 à un câble.

Le module périphérique d'alimentation 150 comprend en outre, dans le boîtier 151, des moyens de communication sans fil 153 de préférence bidirectionnels, permettant de recevoir et d'émettre des messages et informations.

De préférence, les moyens de communication sans fil 153 utilisent les ondes radios, et permettent une communication avec une console de commande à distance qui sera décrite ultérieurement.

20 Afin d'améliorer la qualité de la communication sans fil, le module périphérique d'alimentation 150 peut comporter une antenne extérieure 154 raccordée aux moyens de communication sans fil 153.

L'antenne extérieure 154 est de préférence omnidirectionnelle.

25 Le module périphérique d'alimentation 150 comprend en outre des moyens de communication filaire 155, de préférence bidirectionnels.

Les moyens de communication filaire 155 sont de préférence compatibles avec le format courant de modulation mis en œuvre par les détonateurs électroniques 110, afin de permettre une communication avec les détonateurs électroniques.

30 Selon le type de modulation utilisé (en tension ou en courant), l'interconnexion électrique des moyens de communication filaire 155 au sein du module périphérique d'alimentation 150 peut être adaptée.

Le module périphérique d'alimentation 150 comprend en outre des moyens de traitement 156, permettant la gestion du fonctionnement du module périphérique d'alimentation 150 et de ses différents éléments fonctionnels.

5 En particulier, les moyens de traitement 156 permettent de traiter des messages reçus par les moyens de communication sans fil 153 ou les moyens de communication filaire 155.

Les moyens de traitement 156 commandent alors différentes actions et/ou envois de message en fonction de la signification des messages réceptionnés.

10 En particulier, les moyens de traitement 156, de manière non limitative, permettent d'initier un envoi d'un message par les moyens de communication sans fil 153 et/ou par les moyens de communication filaire 155.

Les moyens de traitement 156 sont également adaptés à activer un transfert d'énergie électrique à destination du ou des détonateurs électroniques
15 110 raccordés au module périphérique d'alimentation 150 comme cela sera décrit plus en détails en référence aux figures 3 à 7.

Le module périphérique d'alimentation 150 comprend en outre une source d'énergie embarquée 157.

20 La source d'énergie embarquée 157 est de préférence limitée en courant.

La source d'énergie embarquée 157 est adaptée notamment à alimenter en courant électrique les moyens de communication sans fil 153, les moyens de communication filaire 155 et les moyens de traitement 156.

25 Elle permet également de transférer de l'énergie électrique à un ou plusieurs détonateurs électroniques 110 connecté au module périphérique d'alimentation 150.

30 Par ailleurs, des moyens formant interrupteur, schématisés à la figure 1 par l'interrupteur K_0 , sont montés entre la source d'énergie embarquée 157 d'une part et les moyens de communication sans fil 153, les moyens de traitement 156 et les moyens de communication filaire 155 d'autre part.

Les moyens formant interrupteur K_0 sont adaptés à contrôler l'alimentation en énergie électrique des différents éléments fonctionnels du module périphérique d'alimentation 150.

En particulier, grâce à la coupure, rendue possible par les moyens formant interrupteur K_0 , de l'alimentation par la source d'énergie embarquée 157 des moyens de communication sans fil 153, des moyens de traitement 156 et des moyens de communication filaire 155, la source d'énergie embarquée 157 peut être préservée à son niveau de charge initiale dans le module périphérique d'alimentation 150 lorsque celui-ci est stocké et avant son utilisation sur site.

Par conséquent, le module périphérique d'alimentation 150 reste dans un état inactif, avec une consommation de courant provenant de la source d'énergie embarquée 157 négligeable ou nulle avant son utilisation.

Le module périphérique d'alimentation 150 comprend en outre des moyens de détection de raccordement 158 adaptés à détecter le raccordement d'au moins un détonateur électronique 110.

Dans leur principe, les moyens de détection de raccordement 158 sont adaptés à détecter le raccordement d'un détonateur électronique 110 aux moyens de connexion 152.

Différents modes de réalisation des moyens de détection de raccordement 158 seront décrits ci-après en référence aux figures 3 à 7.

De manière générale, les moyens de détection de raccordement 158 sont adaptés à commander les moyens formant interrupteur K_0 pour alimenter au moins les moyens de traitement 156 par la source d'énergie embarquée 157, lorsqu'au moins un détonateur électronique 110 est raccordé au module périphérique d'alimentation 150. Le module périphérique d'alimentation 150 est alors dans un mode activé.

Dans le premier mode de réalisation illustré à la figure 1, les moyens formant interrupteur sont constitués d'un unique interrupteur K_0 placé entre la source d'énergie embarquée 157 et les moyens de communication sans fil 153, les moyens de traitement 156 et les moyens de communication filaire 155.

Ainsi, les moyens de détection du raccordement 158 sont adaptés à commander les moyens formant interrupteur K_0 pour alimenter simultanément les moyens de traitement 156, les moyens de communication sans fil 153, et les moyens de communication filaire 155 lorsqu'au moins un détonateur électronique 110 est raccordé au module périphérique d'alimentation 150.

Ainsi, dans ce mode de réalisation, un unique interrupteur K_0 commande l'alimentation électrique des moyens de traitement 156, des moyens de communication sans fil 153 et des moyens de communication filaire 155.

Dans un second mode de réalisation tel qu'illustré à la figure 2, les moyens formant interrupteur comprennent plusieurs interrupteurs K_0 , K_1 , K_2 montés respectivement entre la source d'énergie embarquée 157 d'une part, et les moyens de communication sans fil 153, les moyens de traitement 156 et les moyens de communication filaire 155 d'autre part.

Dans ce mode de réalisation, les moyens de détection de raccordement 158 sont adaptés à commander un premier interrupteur K_0 pour alimenter les moyens de traitement 156 par la source d'énergie embarquée 157.

Par ailleurs, les moyens de traitement 156 dans le mode activé commande l'alimentation des moyens de communication sans fil 153 et des moyens de communication filaire 155 par la source d'énergie embarquée 157.

Dans le mode de réalisation illustré à la figure 2, les moyens de traitement 156 sont adaptés ainsi à commander les deuxième et troisième interrupteurs K_1 , K_2 pour alimenter en énergie électrique les moyens de communication sans fil 153 et les moyens de communication filaire 155.

Le second mode de réalisation illustré à la figure 2 permet ainsi, lors du raccordement d'un détonateur électronique 110, de n'alimenter dans un premier temps que les moyens de traitement 156, les moyens de communication filaire 155 et les moyens de communication sans fil 153 étant raccordés ultérieurement à la source d'énergie embarquée 157.

Un tel montage tel qu'illustré à la figure 2 permet en outre une mise en veille du module périphérique d'alimentation 150 après que les moyens de

traitement 156 ont été dans un mode activé lorsqu'un détonateur électronique 110 a été raccordé au module périphérique d'alimentation 150.

En particulier, un premier mode de veille, appelé dans la suite veille superficielle, permet de préserver la source d'énergie embarquée 157 entre l'instant de raccordement d'un détonateur électronique 110 et la procédure de mise à feu proprement dite, qui peut survenir plusieurs heures, voire plusieurs jours plus tard.

Dans ce mode de veille superficielle, le module périphérique d'alimentation 150 est adapté, de manière autonome, à sortir du mode de veille superficielle pour être dans un mode activé, sans intervention d'un opérateur.

La mise en veille superficielle peut être réalisée en coupant l'alimentation électrique d'un maximum de fonctionnalité, afin de minimiser le courant consommé par le module périphérique d'alimentation 150.

Ainsi, les moyens de traitement 156 peuvent couper l'alimentation des moyens de communication sans fil 153 et des moyens de communication filaire 155 par la source d'énergie embarquée 157 en agissant sur les deuxième et troisième interrupteurs K_1 , K_2 .

Par ailleurs, des fonctionnalités intégrées aux moyens de traitement 156 peuvent être également mises en veille, selon une méthode classique dans un microprocesseur.

En particulier, seul un mécanisme d'horloge et d'incrémentatation peut rester activé dans le microprocesseur afin d'avoir la possibilité d'interrompre le mode de veille superficielle à l'expiration d'un délai prédéterminé, les fonctions de calculateur, de réception, d'émission et de traitement de messages intégrées aux moyens de traitement 156 étant suspendues.

Lors de l'interruption du mode de veille superficielle, le module périphérique d'alimentation 150 commande, via les moyens de traitement 156, l'alimentation des moyens de communication sans fil 153, en agissant sur le deuxième interrupteur K_1 , afin de réceptionner un éventuel message adressé par une console de commande à distance.

Par ailleurs, dans le mode de veille superficielle, l'alimentation électrique à destination des détonateurs électroniques 110 peut également être

désactivée grâce à un dispositif intégré aux moyens de détection de raccordement 158 qui sera décrit en détail ci-après, en référence notamment aux figures 4 et 6.

5 Il peut également être souhaitable de permettre au module périphérique d'alimentation 150 de revenir dans un second mode de veille, dit veille profonde, dans lequel la source d'énergie embarquée 157 est complètement isolée.

Ce mode de veille profonde permet une mise en sûreté élevée du système de détonation sans fil 100, par exemple en cas d'abandon d'un tir.

10 Comme illustré à la figure 2, les moyens de traitement 156 sont adaptés à commander les moyens de détection de raccordement 158 pour agir sur les moyens formant interrupteur K_0 , K_1 , K_2 , y compris sur le premier interrupteur K_0 pour couper l'alimentation des moyens de traitement 156 par la source d'énergie embarquée 157.

15 La source d'énergie embarquée 157 est alors préservée pendant toute la durée du mode de veille profonde.

Pour la mise dans un état de veille superficielle ou de veille profonde, les moyens de traitement 156 sont adaptés notamment à désactiver l'alimentation des moyens de communication sans fil 153 et des moyens de
20 communication filaire 155 par la source d'énergie embarquée 157 à réception d'un ordre de mise en veille émis par la console de commande à distance.

La mise en veille peut être également déclenchée en l'absence de réception de message de la console de commande à distance pendant une période de temps prédéterminée.

25 L'absence de réception de message traduit ainsi une inactivité prolongée d'une console de commande à distance ou encore une période prolongée de non-sollicitation de la part de la console de commande à distance.

Par ailleurs, l'alimentation des moyens de communication sans fil 153, des moyens de traitement 156 et des moyens de communication filaire
30 155 par la source d'énergie embarquée 157 est désactivée lorsqu'aucun détonateur électronique 110 est raccordé au module périphérique 150.

La mise en veille profonde est ainsi en particulier commandée en cas de déconnexion, accidentelle ou volontaire, d'un détonateur électronique 110.

La déconnexion d'un détonateur électronique 110 peut être détectée par les moyens de traitement 156, par exemple lorsqu'aucun détonateur électronique 110 ne répond à des messages initiés par les moyens de traitement 156 à destination d'un détonateur électronique 110.

Alternativement, la mise en veille profonde suite à la déconnexion d'un détonateur électronique 110 peut être effectuée sans intervention des moyens de traitement 156, dès lors que les moyens de détection de raccordement 158 sont configurés, comme décrit ultérieurement, pour commander l'ouverture d'un premier interrupteur K_0 lorsqu'aucun détonateur électronique 110 n'est raccordé au module périphérique d'alimentation 150.

Dans le mode de veille profonde, la réactivation du module périphérique d'alimentation 150, et notamment le basculement des moyens de traitement 156 dans un mode activé, requiert une action physique par un opérateur. Ce dernier doit raccorder un détonateur électronique 110, ou éventuellement déconnecter, puis raccorder de nouveau un détonateur électronique 110 lorsque la mise en veille profonde a été commandée par un ordre explicite de mise en veille profonde adressé par la console de commande à distance à destination du module périphérique d'alimentation 150.

On notera que le passage dans un mode de veille profonde est généralement réservé à un abandon de tir définitif ou, tout au moins, à une suspension prolongée du tir.

En effet, l'économie d'énergie électrique réalisée et le niveau de sûreté atteint lors de la mise en veille profonde doivent être mis en regard avec le temps nécessaire ensuite pour raccorder de nouveau chaque détonateur électronique 110 à un module périphérique d'alimentation 150 pour permettre l'activation du module périphérique d'alimentation 150 et sa sortie du mode de veille profonde.

On va décrire à présent en référence aux figures 3 à 7 différents modes de réalisation des moyens de détection de raccordement 158 du module périphérique d'alimentation 150.

Dans leur principe, les moyens de détection de raccordement 158 sont adaptés à détecter un changement d'impédance aux bornes des moyens de connexion, ici mis en œuvre par un câble bifilaire 152, lorsqu'un détonateur électronique est raccordé par un connecteur 116 au câble bifilaire 152.

5 Dans un premier exemple de réalisation tel qu'illustré à la figure 3, la détection de raccordement d'un détonateur électronique 110 est mise en œuvre à partir d'une mesure de courant.

A cet effet, les moyens de détection de raccordement 158 comprennent un dispositif de mesure de courant A connecté électriquement à
10 l'une des bornes des moyens de connexion 152.

Comme bien illustré à la figure 3, le dispositif de mesure de courant A est ici monté en série sur l'un des deux conducteurs du câble bifilaire 152.

Un comparateur de courant C est adapté à comparer la valeur du courant mesuré par le dispositif de mesure de courant A à une valeur
15 prédéterminée I_{REF} .

En effet, la valeur du courant mesuré est modifiée lors du raccordement d'un détonateur électronique 110.

Un tel détonateur électronique 110 équivaut à connecter sur les moyens de connexion 152 une impédance équivalente modifiant le circuit
20 électrique, et ainsi la valeur du courant circulant dans le dispositif de mesure de courant A.

Ainsi, la valeur du courant mesuré passe d'une valeur nulle à une valeur correspondant sensiblement à la consommation de courant par le détonateur électronique 110 augmentée d'éventuels courants de fuite sur le
25 câble bifilaire 152 et le câble d'alimentation 115.

Le comparateur C compare la valeur du courant mesuré à une valeur prédéfinie I_{REF} qui peut être sensiblement égale à la moitié du courant consommé par un détonateur électronique 110.

Le module périphérique d'alimentation 150 est ainsi paramétré à
30 l'aide d'une valeur prédéfinie I_{REF} , déterminée en fonction des détonateurs électroniques 110 prévus pour être utilisés avec le module périphérique d'alimentation 150.

La sortie du comparateur de courant C pilote les moyens formant interrupteur et, dans ce mode de réalisation, l'interrupteur K_0 permettant d'alimenter les moyens de traitement 156 par la source d'énergie embarquée 157.

5 Ainsi, lorsque la valeur du courant mesuré par le dispositif de mesure de courant A dépasse la valeur prédéfinie I_{REF} , les moyens de détection de raccordement 158 commande l'interrupteur K_0 pour alimenter les moyens de traitement 156 comme décrit précédemment en référence à la figure 1 ou 2.

10 Un système de filtrage peut éventuellement être intégré de manière à éviter que la communication filaire entre le module périphérique d'alimentation 150 et le détonateur 110, de type modulation de tension ou de courant, perturbe les moyens de détection de raccordement 158, entraînant la désactivation du module périphérique d'alimentation 150 par une ouverture de l'interrupteur K_0

15 Dans le mode de réalisation illustré à la figure 3, lorsque le détonateur électronique 110 est déconnecté, la valeur du courant mesuré par le dispositif de mesure de courant A chute de telle sorte que le comparateur C est adapté à piloter l'interrupteur K_0 pour couper l'alimentation des moyens de traitement 156 par la source d'énergie embarquée 157.

20 Ainsi, les moyens de détection de raccordement 158 permettent un retour en veille profonde automatique lors de la déconnexion d'un détonateur électronique 110.

25 Toutefois, dans ce mode de réalisation, il n'est pas possible de commander un mode de veille superficielle ou profonde à partir d'un message reçu de la console à distance.

La figure 4 illustre un mode de réalisation alternatif des moyens de détection de raccordement 158, permettant notamment une mise en veille à partir d'un ordre reçu par le module périphérique d'alimentation 150.

30 A cet effet, outre les éléments déjà mentionnés précédemment, les moyens de détection de raccordement 158 comprennent un élément mémoire, schématisé par une bascule RS à la figure 4.

La bascule RS est adaptée à mémoriser le changement d'état lié au raccordement d'un détonateur électronique 110.

Le contenu de la bascule RS peut être modifié par les moyens de traitement 156, via une entrée R de remise à zéro (entrée RESET), entraînant
5 une ouverture du premier interrupteur K_0 pour couper l'alimentation électrique des moyens de traitement 156 et passer ainsi en mode veille profonde.

En revanche, la présence de la bascule RS empêche la mise en veille profonde automatique du module périphérique d'alimentation 150 lors de la déconnexion du détonateur électronique 110.

10 Afin de conserver la possibilité de mettre en veille automatiquement le module périphérique d'alimentation 150 lors de la déconnexion d'un détonateur électronique 110, le dispositif de mesure de courant A est connecté aux moyens de traitement 156.

Dans un tel cas, les moyens de traitement 156 sont adaptés à
15 analyser la consommation de courant sur le connecteur des moyens de connexion 152 et à ordonner le passage en mode veille, en commandant comme indiqué précédemment la bascule RS, lorsque la valeur du courant mesuré par le dispositif de mesure de courant A chute.

Dans un mode de réalisation alternatif, il serait également possible
20 d'utiliser une sortie inversée du comparateur C et de câbler ce signal de sortie sur l'entrée RESET de la bascule RS au moyen d'une porte OU, de manière à utiliser soit le signal provenant de la sortie inversée du comparateur C, soit un signal provenant des moyens de traitement 156 pour changer l'état de la bascule RS.

25 Enfin, un interrupteur K20 est monté entre la source d'énergie embarquée 157 et les moyens de connexion 152 d'un détonateur électronique 110.

Les moyens de traitement 156 sont adaptés à commander
l'interrupteur K20 et ainsi l'alimentation du détonateur électronique 110 par la
30 source d'énergie embarquée 157.

En particulier, les moyens de traitement 156 sont adaptés à autoriser l'alimentation électrique du détonateur électronique 110, et la charge des

premier et second éléments de stockage d'énergie 117, 118 lorsque le module périphérique d'alimentation 150 est dans un mode activé.

A contrario, lorsque le module périphérique d'alimentation 150 est dans un mode de veille superficielle ou profonde, les moyens de traitement 156
5 sont adaptés à commander l'interrupteur K20 pour interrompre l'alimentation électrique du détonateur électronique 110.

Ainsi, une résistance R20 d'impédance élevée est montée en parallèle de l'interrupteur K20 afin de limiter au maximum le courant électrique à destination du détonateur électronique 110 lorsque l'interrupteur K20 est ouvert.

10 La résistance R20 permet en outre de limiter le courant circulant dans le dispositif de mesure de courant A et ainsi de détecter le raccordement d'un détonateur électronique 110 même dans un mode de veille superficielle.

On va décrire à présente en référence aux figures 5 et 6 d'autres exemples de réalisation des moyens de détection de raccordement 158 mettant
15 en œuvre un dispositif de mesure de tension.

La source d'énergie embarquée 157 fournit initialement une tension continue positive.

La tension mesurée au point V, sur l'un des connecteurs du câble bifilaire 152, correspond à une tension d'alimentation lorsqu'aucun détonateur
20 électronique n'est connecté au module périphérique d'alimentation 150.

Une résistance de forte impédance R_{30} (résistance de "*pull-up*") est montée sur l'un des connecteurs du câble bifilaire 152.

La valeur de la résistance de forte impédance R_{30} est par exemple dix fois supérieure à l'impédance moyenne présentée par un détonateur
25 électronique 110.

Par conséquent, lors de la connexion d'un détonateur électronique 110 aux moyens de connexion 152, la tension mesurée au point V diminue significativement.

Un comparateur C permet, comme précédemment, de comparer la
30 tension au point V avec une tension de référence V_{REF} .

Lorsque la tension V est inférieure à la tension V_{REF} , le comparateur agit sur l'interrupteur K_0 pour commander l'alimentation des moyens de traitement 156 par la source d'énergie embarquée 157.

5 Une fois les moyens de traitement 156 alimentés par la source d'énergie embarquée 157, les moyens de traitement 156 sont adaptés à commander un interrupteur K_{30} monté entre la source d'énergie embarquée 157 et les moyens de connexion 152 d'un détonateur électronique 110.

10 L'interrupteur K_{30} est monté en parallèle de la résistance de forte impédance R_{30} et permet ainsi de court-circuiter cette résistance pour fournir suffisamment de courant électrique sur le câble d'alimentation 115 permettant d'alimenter correctement le détonateur électronique 110.

Comme précédemment, un élément mémoire, tel qu'une bascule RS , est mis en œuvre entre le comparateur C et l'interrupteur K_0 , la bascule RS étant utilisée pour mémoriser le changement d'état de l'interrupteur K_0 .

15 On notera que sans la présence de l'élément mémoire constitué par la bascule RS , la fermeture de l'interrupteur K_{30} , provoquant une élévation de la tension au niveau du point V conduirait à une réouverture de l'interrupteur K_0 commandant l'alimentation des moyens de traitement 156 par la source d'énergie embarquée 157 et ainsi à une désactivation du module périphérique d'alimentation 150 par une mise en veille profonde.

20 L'interrupteur K_{30} , monté en parallèle avec la résistance d'impédance élevée R_{30} et piloté par les moyens de traitement 156, permet une mise en veille superficielle du module périphérique d'alimentation 150.

25 Toutefois, l'exemple de réalisation illustré à la figure 5 ne permet pas une mise en mode de veille profonde du module périphérique d'alimentation, notamment lorsqu'aucun détonateur électronique 110 n'est raccordé au module périphérique d'alimentation 150.

30 Afin d'autoriser ce mode de veille profonde, comme illustré à la figure 6, une commande provenant des moyens de traitement 156 permet d'agir sur l'élément mémoire.

Comme décrit précédemment en référence à la figure 4, les moyens de traitement 156 sont connectés à l'entrée R (RESET) de la bascule RS afin

de réinitialiser cet élément mémoire et permettre l'ouverture du premier interrupteur K_0 et la désactivation des moyens de traitement 156.

5 Finalement, on a illustré à la figure 7 un autre mode de réalisation des moyens de détection de raccordement 158 dans lequel les moyens de traitement 156 sont mis en œuvre au sein d'un microcontrôleur ou microprocesseur 159.

Le microprocesseur 159 intègre plusieurs fonctions des moyens de traitement 156 décrits précédemment mais remplace également différents éléments matériels.

10 Le microprocesseur 159 permet en outre, dans le mode de réalisation illustré à la figure 7, de gérer les modes de veille profonde et superficielle du module périphérique d'alimentation 150.

15 Quel que soit le changement d'impédance détecté aux bornes des moyens de connexion 152, le signal issu d'une mesure de courant ou d'une tension (ici tension V à la figure 7) peut être directement raccordé à un port d'entrée du microprocesseur 159.

20 Dans ce mode de réalisation fonctionnant à partir d'une chute de tension détectée lors du raccordement d'un détonateur électronique 110, l'interruption doit être déclenchée sur un fond descendant de manière à ce que la détection du raccordement d'un module électronique ne soit pas perturbée par le fonctionnement nominal de l'ensemble et que le système puisse également se réactiver lors de la déconnexion puis la reconnexion d'un détonateur électronique 110.

25 Les moyens de traitement 156 étant mis en œuvre au sein d'un microprocesseur, le passage en mode de veille superficielle correspond à un passage du microprocesseur en mode veille, dans lequel seuls des moyens d'horloge 160 sont maintenus actifs.

30 Dans ce mode de réalisation, le microprocesseur permet de réaliser les fonctionnalités des moyens de traitement 156 telles que décrites précédemment, mais également du premier interrupteur K_0 , permettant de commander l'alimentation des moyens formant traitement 156 par la source

d'énergie embarquée 157, du comparateur C ainsi que de l'élément mémoire constitué par la bascule RS.

Quel que soit le mode de réalisation des moyens de détection de raccordement 158, les moyens de traitement 156 sont activés dès lors qu'au
5 moins un détonateur électronique 110 est raccordé au module périphérique d'alimentation 150.

Comme cela sera décrit ultérieurement en référence à un procédé d'activation d'un système de détonation sans fil, les moyens de traitement 156 sont alors adaptés, dans le mode activé, à communiquer avec le détonateur
10 électronique 110.

On va décrire à présent en référence à la figure 8 un système d'initiation pyrotechnique adapté à mettre en œuvre un système de détonation sans fil 100 tel que décrit précédemment.

Un système d'initiation pyrotechnique comprend une console de
15 commande de tir 200 destiné à former une console de commande à distance des détonateurs électroniques 110.

La console de commande à distance 200 possède généralement son alimentation propre (typiquement une batterie) et un moyen de communication sans fil de préférence bidirectionnel, schématisé à la figure 8 par une antenne
20 201.

L'antenne 201 peut être par exemple omnidirectionnelle.

Alternativement, l'antenne 201 peut être directive, permettant d'améliorer les performances de la communication sans fil en direction des détonateurs électroniques d'un plan de tir, et limiter ainsi l'impact des
25 perturbations. Dans ce cas, l'antenne 201 de la console de commande à distance 200 doit être orientée en direction du plan de tir.

Les moyens de communication sans fil 201 sont adaptés à communiquer avec les moyens de communication sans fil 153 des modules périphériques d'alimentation 150 décrits précédemment.

30 De manière classique, la console de commande à distance 200 comprend toutes les ressources matérielles et logiciels nécessaires pour

contrôler l'ensemble des étapes de mise à feu d'un réseau de détonateurs électroniques.

Une telle console de commande à distance 200 est connue et n'a pas besoin d'être décrite en détail ici.

5 La console de commande à distance 200 peut communiquer, par les moyens de communication sans fil 201, avec plusieurs modules périphériques d'alimentation 150 raccordés chacun à un ou plusieurs détonateurs électroniques 110.

10 On a illustré ainsi à la figure 8 deux modules périphériques d'alimentation 150A et 150B adaptés à communiquer avec la console de commande à distance 200.

 Ainsi, les moyens de communication sans fil 153 de chaque module périphérique d'alimentation 150A, 150B sont adaptés à recevoir des messages de la console de commande à distance 200 et à émettre des messages à destination de la console de commande à distance 200.

 Les messages réceptionnés par les moyens de communication sans fil 153 des modules périphériques d'alimentation 150A, 150B sont adressés aux moyens de traitement 156, et optionnellement à un ou plusieurs détonateurs électroniques 110 par les moyens de communication filaire 155.

20 Comme illustré à titre d'exemple à la figure 8, un premier module périphérique d'alimentation 150A est associé à deux détonateurs électroniques 110A₁, 110A₂.

 Ainsi, deux détonateurs électroniques 110A₁, 110A₂ sont raccordés à un même module périphérique d'alimentation 150A.

25 Bien entendu, le nombre de détonateurs électroniques 110 raccordés à un même module périphérique d'alimentation 150 peut être variable, les moyens de détection de raccordement 158 étant adaptés à détecter le raccordement d'au moins un détonateur électronique 110 aux moyens de connexion 152.

30 Comme illustré à la figure 8, le second module périphérique d'alimentation 150B est raccordé à un unique détonateur électronique 110B.

Par ailleurs, et de manière non limitative, le système d'initiation pyrotechnique illustré à la figure 8 est en outre adapté à mettre en œuvre un système de communication filaire avec des détonateurs électroniques.

A cet effet, la console de commande à distance 200 est connectée
5 par un réseau de câbles 202 à des détonateurs électroniques 110C, 110D.

Ces derniers sont raccordés directement au réseau de câbles 202, et ne sont pas raccordés à un module périphérique d'alimentation 150.

Ainsi, le mode de réalisation illustré à la figure 8 met en œuvre des moyens de communication mixtes : la console de commande à distance 200 est
10 connectée par le réseau de câbles 202 à un premier sous-ensemble de détonateurs électroniques 110C, 110D et en communication sans fil avec un second sous-ensemble de détonateurs électroniques 110A₁, 110A₂, 110B connectés à des modules périphériques d'alimentation 150A, 150B.

Un tel système d'initiation pyrotechnique offre une grande flexibilité
15 dans le déploiement d'un réseau de détonateurs électroniques 110. La console de commande à distance 200 doit, bien entendu, envoyer des ordres de tirs synchronisés via les moyens de communication sans fil et les moyens de communication filaire afin d'assurer la réception simultanée d'un message de mise à feu par les détonateurs électroniques 110 connectés à la console de
20 commande à distance 200 par des moyens de communication différents.

La synchronisation doit en outre tenir compte de la latence de traitement inhérente à chaque moyen de communication, filaire ou sans fil.

On notera qu'un tel système d'initiation pyrotechnique permet d'effectuer des tirs multiples (en terminologie anglo-saxonne "*multi-blast*") sur
25 plusieurs zones de tirs éloignées les uns des autres, à l'aide d'une unique console de commande à distance 200.

Ainsi, les zones les plus proches de la console de commande à distance 200 peuvent être câblées par un réseau de câbles 202, les autres zones de tir, plus éloignées, pouvant être raccordées par des moyens de
30 communication sans fil comme décrits précédemment.

Par ailleurs, il est possible, au cas par cas, pour chaque détonateur électronique 110, de décider de raccorder celui-ci sur le réseau de câbles 202

ou de raccorder celui-ci à un module périphérique d'alimentation 150 ayant des moyens de communication sans fil 153 pour communiquer avec la console de commande à distance 200.

5 Ainsi, après introduction d'un détonateur électronique 110 dans un trou de forage, le câble d'alimentation 115 étant positionné dans le trou de forage et le connecteur 116 débouchant du trou de forage, il est possible de raccorder le détonateur électronique 110 à un module périphérique d'alimentation 150 ou directement au réseau de câbles 202 en fonction de la qualité de la communication filaire avec le détonateur électronique 110 placé
10 dans le trou de forage.

On peut également évaluer la qualité de communication avec un sous-ensemble de détonateurs électroniques 110C, 110D connectés par le réseau de câbles 202 à la console de commande à distance 200.

En cas de liaison filaire défectueuse, il est possible de déconnecter un (ou plusieurs) détonateur électronique 110C, 110D et de raccorder celui-ci à un module périphérique d'alimentation 150 pour permettre une communication sans fil avec la console de commande à distance 200.
15

Ainsi, un système d'initiation pyrotechnique mettant en œuvre un réseau mixte tel que décrit à la figure 8 permet d'accélérer la mise en place d'un réseau de détonateurs électroniques 110 et de réduire le risque de non-fonctionnement.
20

Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée à un tel système d'initiation pyrotechnique mais s'applique également à un système d'initiation pyrotechnique mettant en œuvre une console de commande à distance 200 associée uniquement à des systèmes de détonation sans fil 100 et ne mettant pas en œuvre de communication filaire avec les détonateurs électroniques 110.
25

On va décrire à présent un procédé d'activation d'un système de détonation sans fil 100, tel que décrit précédemment, notamment en référence aux figures 1 et 2.

30 Le procédé d'activation comporte tout d'abord une étape de détection du raccordement d'au moins un détonateur électronique 110 à un module périphérique d'alimentation 150.

Comme décrit précédemment, la détection d'un tel raccordement entraîne l'activation des moyens de traitement 156 du module périphérique d'alimentation 150, les moyens de traitement 156 étant alors alimentés par la source d'énergie embarquée 157.

5 Dès que les moyens de traitement 156 sont activés, le procédé d'activation comprend une étape de communication des moyens de traitement 156 avec le détonateur électronique 110.

10 Les moyens de traitement 156 communiquent avec le détonateur électronique 110 par l'intermédiaire des moyens de communication filaire 155, préalablement activés, soit par les moyens de détection de raccordement 158 dans le mode de réalisation de la figure 1, soit par l'actionnement du deuxième interrupteur K2 par les moyens de traitement 156 dans le mode de réalisation illustré de la figure 2.

15 Ainsi, les moyens de traitement 156 dans le mode activé communiquent avec le ou les détonateurs électroniques 110 raccordés au module périphérique d'alimentation 150.

Lors de cette étape de communication, un identifiant du ou des détonateurs électroniques 110 peut être lu par les moyens de traitement 156.

20 L'identifiant communiqué par le détonateur électronique 110 peut, à son tour, être communiqué par le module périphérique d'alimentation 150 à un opérateur et/ou transféré à une console de programmation.

25 La console de programmation peut être raccordée physiquement au module périphérique d'alimentation 150, par exemple sur le câble bifilaire 152, ou encore être une console de programmation sans fil avec laquelle le module périphérique d'alimentation 150 peut communiquer grâce aux moyens de communication sans fil 153.

30 Une telle console de programmation est utilisée de manière connue dans un réseau filaire pour programmer un détonateur électronique et par exemple lui assigner un retard pour la mise à feu selon un plan de tir prédéterminé.

Par ailleurs, un diagnostic de fonctionnement du détonateur électronique 110 et/ou de son câble d'alimentation 115 peut être établi par les moyens de traitement 156.

5 Ainsi, le module périphérique de traitement 150 peut mettre en œuvre un certain nombre de pré-diagnostic avec le détonateur électronique 110 dès son activation, avant même l'activation des moyens de communication sans fil 153 et l'échange de messages ou de données avec la console de commande à distance 200.

10 Le module périphérique d'alimentation 150 est adapté à échanger des informations et des messages avec le détonateur électronique 110 de manière indépendante par rapport à la console de commande à distance 200 et peut connaître à tout moment l'état du ou des détonateurs électroniques 110 qui lui sont raccordés.

15 Bien entendu, lorsque les moyens de communication sans fil 153 du module périphérique d'alimentation 150 sont alimentés par la source d'énergie embarquée 157, les moyens de traitement 156 sont adaptés à recevoir des messages adressés par la console de commande à distance 200 via le réseau de communication sans fil.

20 En particulier, la console de commande à distance 200 peut adresser une commande au module périphérique d'alimentation 150 pour initier un échange de messages avec le ou les détonateurs électroniques 110 raccordés.

25 En outre, les commandes adressées par la console de commande à distance 200 concernent les ordres de mise à feu ainsi qu'éventuellement l'affectation de retards de mise à feu à chaque détonateur électronique 110, ou encore un ordre de charge du second élément de stockage d'énergie 118 dédié à la mise à feu du détonateur électronique 110.

30 Ainsi, les échanges entre le module périphérique d'alimentation 150 et le détonateur électronique 110 peuvent être initiés soit à l'initiative du module périphérique d'alimentation 150 dès que les moyens de traitement 156 sont activés, soit à réception d'un ordre provenant de la console de commande à distance 200, dès que les moyens de communication sans fil 153 sont alimentés par la source d'énergie embarquée 157.

Les étapes de raccordement, de communication d'identifiant de chaque détonateur électronique 110 et de diagnostic du fonctionnement de chaque système de détonation sans fil 100 peuvent être réalisées en local, sans intervention de la console de commande à distance 200.

5 La mise en communication sans fil avec la console de commande à distance 200 peut être établie ultérieurement, au moment de la procédure de mise à feu des détonateurs électroniques 110.

Dans ce cas, il peut s'écouler plusieurs heures, voire plusieurs jours avant le déclenchement de la procédure de mise à feu par la console de
10 commande à distance 200.

Ainsi, la mise en veille profonde ou superficielle décrite précédemment pour le module périphérique d'alimentation 150 est particulièrement bien adaptée à préserver les fonctionnalités du module périphérique d'alimentation 150, et notamment la source d'énergie embarquée
15 157, dans l'attente de la procédure de mise à feu.

Par conséquent, tant que du personnel est présent sur la zone de tir, et dans l'attente de la procédure de mise à feu proprement dite, il est possible de limiter au strict nécessaire l'alimentation du système de détonation sans fil
100.

20 Le système de détonation sans fil 100 et le système d'initiation pyrotechnique décrits précédemment offrent de nombreux avantages.

Ils permettent de minimiser le risque d'initiation accidentel d'un détonateur électronique 110 pendant toute sa durée de vie, le risque de non-fonctionnement du système de détonation sans fil 100 ou encore le risque de
25 non-mise à feu du détonateur électronique 110.

En effet, tant que les détonateurs électroniques 110 ne sont pas raccordés au module périphérique d'alimentation 150, le risque d'initiation accidentel est minimisé.

Le risque de non-mise à feu est également minimisé dès lors que
30 toutes les fonctionnalités requises pour la mise à feu du détonateur électronique 110 sont intégrées dans le boîtier 111 du détonateur électronique 110 placé en fond de trou de forage.

Ainsi, l'explosion d'un détonateur électronique voisin n'a pas de conséquences sur le fonctionnement du détonateur électronique 110. En effet, après réception de l'ordre de mise à feu et chargement du second élément de stockage énergie 118, le fonctionnement du détonateur électronique 110 est
5 indépendant, celui-ci pouvant être mis à feu même en cas de destruction ou déconnexion du module périphérique d'alimentation 150.

Par ailleurs, comme explicité notamment en référence à la figure 8, le système d'initiation pyrotechnique offre une grande flexibilité de mise en œuvre.

10 On notera que les modules périphériques d'alimentation 150 sont considérés comme du matériel consommable tout comme le sont les détonateurs électroniques 110.

Grâce à la mise en œuvre d'une communication sans fil, seuls les câbles d'alimentation 115 des détonateurs électroniques 110 sont conservés et
15 enterrés dans les trous de forage.

Les câbles d'alimentation 115 étant de longueur limitée et n'étant pas interconnectés entre eux, la fiabilité de la communication et de l'apport d'énergie électrique entre le module périphérique d'alimentation 150 et des détonateurs électroniques 110 enfouis est optimisée, réduisant le risque de
20 non-fonctionnement du système de détonation sans fil 100.

L'utilisation d'un mode de communication sans fil permet ainsi de supprimer la majorité des aléas de fonctionnement liés aux liaisons filaires, d'augmenter les dimensions et le nombre de détonateurs électroniques d'un plan de tir, d'augmenter potentiellement le débit de communication, de réduire
25 le nombre de messages échangés entre la console de commande à distance 200 et les modules périphériques d'alimentation 150, et ainsi de diminuer la durée de la procédure de mise à feu.

REVENDEICATIONS

1. Module périphérique d'alimentation pour détonateur électronique (110), comprenant une source d'énergie embarquée (157), des moyens de communication sans fil (153) avec une console de commande à distance (200), des moyens de traitement (156) et des moyens de communication filaire (155) avec au moins un détonateur électronique (110), caractérisé en ce que des moyens formant interrupteur (K_0 , K_1 , K_2) sont montés entre ladite source d'énergie embarquée (157) d'une part, et lesdits moyens de communication sans fil (153), lesdits moyens de traitement (156) et lesdits moyens de communication filaire (155) d'autre part, ledit module périphérique d'alimentation (150) comprenant en outre des moyens de détection de raccordement (158) d'au moins un détonateur électronique (110), lesdits moyens de traitement (156) étant dans un mode activé lorsqu'au moins un détonateur électronique (110) est raccordé audit module périphérique d'alimentation (150), lesdits moyens de détection de raccordement (158) étant adaptés dans ledit mode activé à commander lesdits moyens formant interrupteur (K_0) pour alimenter lesdits moyens de traitement (156) par ladite source d'énergie embarquée (157).

2. Module périphérique d'alimentation conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (156) dans ledit mode activé commandent l'alimentation desdits moyens de communication sans fil (153) et desdits moyens de communication filaire (155) par ladite source d'énergie embarquée (157).

3. Module périphérique d'alimentation conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de détection de raccordement (158) sont adaptés à commander lesdits moyens formant interrupteur (K_0 , K_1 , K_2) pour alimenter simultanément lesdits moyens de traitement (156), lesdits moyens de communication sans fil (153) et lesdits moyens de communication filaire (155) lorsqu'au moins un détonateur électronique (110) est raccordé audit module périphérique d'alimentation (150).

4. Module périphérique d'alimentation conforme à l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (156) dans ledit mode activé communiquent avec ledit au moins un détonateur électronique (110).

5 5. Module périphérique d'alimentation conforme à l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de connexion (116) d'au moins un détonateur électronique (110), les moyens de détection de raccordement (158) détectant un changement d'impédance aux bornes desdits moyens de connexion (116).

10 6. Module périphérique d'alimentation conforme à la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens de détection de raccordement (158) comprennent un dispositif de mesure de courant (A) connecté électriquement à l'une desdites bornes des moyens de connexion (116), et un comparateur de courant (C) adapté à comparer la valeur du courant mesuré par ledit dispositif
15 de mesure de courant (A) à une valeur prédéfinie.

7. Module périphérique d'alimentation conforme à la revendication 6, caractérisé en ce que ladite valeur prédéfinie est sensiblement égale à la moitié du courant consommé par un détonateur électronique (110).

20 8. Module périphérique d'alimentation conforme à l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (156) sont adaptés à commander un interrupteur (K20) monté entre ladite source d'énergie embarquée (157) et des moyens de connexion (116) d'au moins un détonateur électronique (110) au module périphérique d'alimentation (150).

25 9. Module périphérique d'alimentation conforme à l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que lesdits moyens de communication sans fil (153) sont adaptés à recevoir des messages de ladite console de commande à distance (200) et à émettre des messages à destination de ladite console de commande à distance (200), lesdits messages réceptionnés étant adressés auxdits moyens de traitement (156), et optionnellement audit au
30 moins un détonateur électronique (110) par les moyens de communication filaire (155).

10. Module périphérique d'alimentation conforme à l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (156) sont adaptés à désactiver l'alimentation desdits moyens de communication sans fil (153) et desdits moyens de communication filaire (155) par ladite source d'énergie embarquée (157) à réception d'un ordre de mise en veille émis par ladite console de commande à distance (200) et/ou en l'absence de réception de messages de la console de commande à distance (200) pendant une période de temps prédéterminée.

11. Module périphérique d'alimentation conforme à l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que l'alimentation desdits moyens de communication sans fil (153), desdits moyens de traitement (156) et desdits moyens de communication filaire (155) par ladite source d'énergie embarquée (157) est désactivée lorsqu'aucun détonateur électronique (110) n'est raccordé audit module périphérique d'alimentation (150).

12. Module périphérique d'alimentation conforme à l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ladite source d'énergie embarquée (157) est une source d'énergie limitée en courant.

13. Système de détonation sans fil comprenant un module périphérique d'alimentation (150) conforme à l'une des revendications 1 à 12 et au moins un détonateur électronique (110), ledit au moins un détonateur électronique (110) étant raccordé audit module périphérique d'alimentation (150) par un connecteur (116) monté à l'extrémité d'un câble d'alimentation (115) dudit au moins un détonateur électronique (110).

14. Système de détonation sans fil conforme à la revendication 13, caractérisé en ce que le détonateur électronique (110) comprend, dans un boîtier (111), une amorce explosive (112), des moyens de communication filaire (113), des moyens de traitement (114), un premier élément de stockage d'énergie (117) dédié à l'alimentation desdits moyens de communication filaire (113) et desdits moyens de traitement (114), et un second élément de stockage d'énergie (118) dédié à la mise à feu de ladite amorce explosive (112), lesdits moyens de communication filaire (113) et lesdits premier et second éléments de

stockage d'énergie (117, 118) étant connectés audit câble d'alimentation (115) dudit détonateur électronique (110).

15. Système d'initiation pyrotechnique comprenant une console de commande à distance (200) comportant des moyens de communication sans fil (201) et un ou plusieurs systèmes de détonation sans fil (100) conforme à l'une des revendications 13 ou 14.

16. Système d'initiation pyrotechnique conforme à la revendication 15, caractérisé en ce que ladite console de commande à distance (200) est connectée par un réseau de câbles (202) à un premier sous-ensemble de détonateurs électroniques (110C, 110D) et en communication sans fil avec un second sous-ensemble de détonateurs électroniques (110A₁, 110A₂, 110B) connectés à des modules périphériques d'alimentation (150A, 150B).

17. Procédé d'activation d'un système de détonation sans fil (100) conforme à l'une des revendications 13 ou 14, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes successives :

- détection du raccordement d'au moins un détonateur électronique (110) audit module périphérique d'alimentation (150) ; et

- activation des moyens de traitement (156) dudit module périphérique d'alimentation (150), lesdits moyens de traitement (156) étant alimentés par ladite source d'énergie embarquée (157).

18. Procédé d'activation conforme à la revendication 17, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de commande de l'alimentation desdits moyens de communication sans fil (153) et/ou desdits moyens de communication filaire (155) par ladite source d'énergie embarquée (157) dudit module périphérique d'alimentation (150).

19. Procédé d'activation conforme à l'une des revendications 17 ou 18, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de communication desdits moyens de traitement (156) dudit module périphérique d'alimentation (150) avec ledit au moins un détonateur électronique (110).

20. Procédé d'activation conforme à la revendication 19, caractérisé en ce que lors de l'étape de communication, un identifiant dudit au moins un détonateur électronique (110) est lu par lesdits moyens de traitement (156)

dudit module périphérique d'alimentation (150) et/ou un diagnostic de fonctionnement dudit au moins un détonateur électronique (110) et/ou dudit câble d'alimentation (115) est établi par lesdits moyens de traitement (156) dudit module périphérique d'alimentation (150).

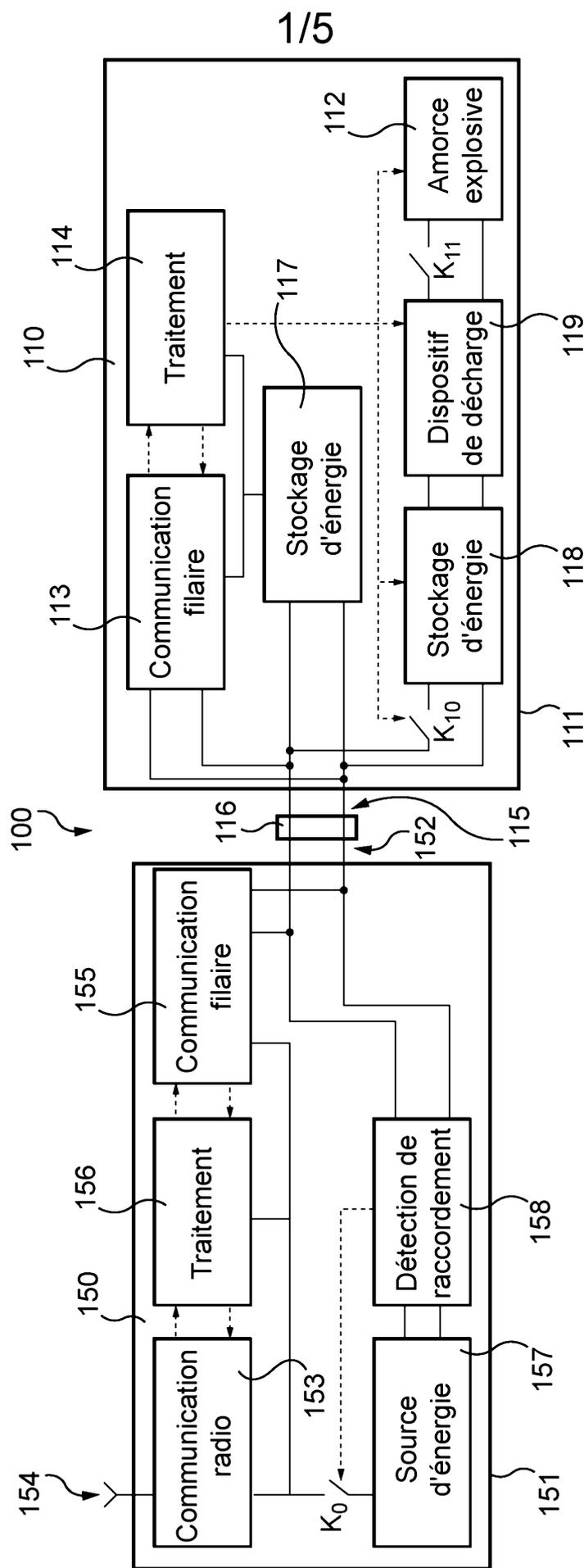


Fig. 1

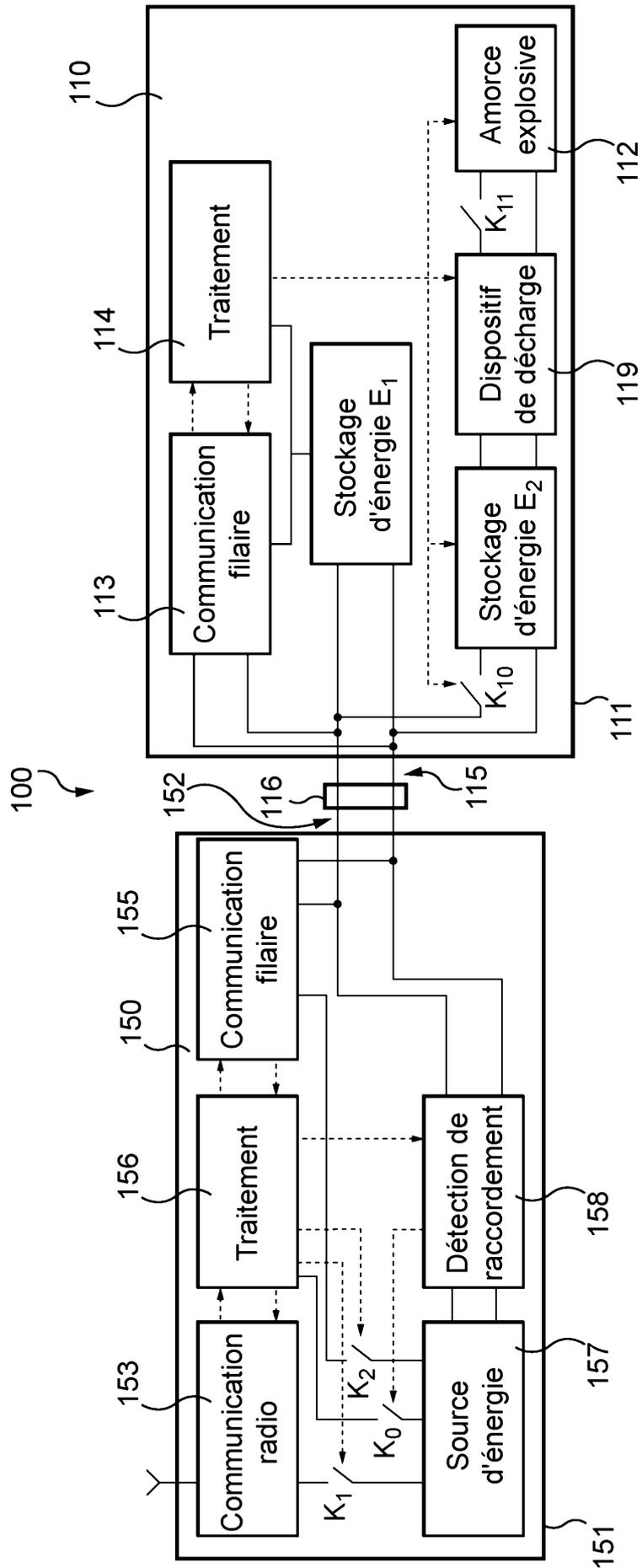
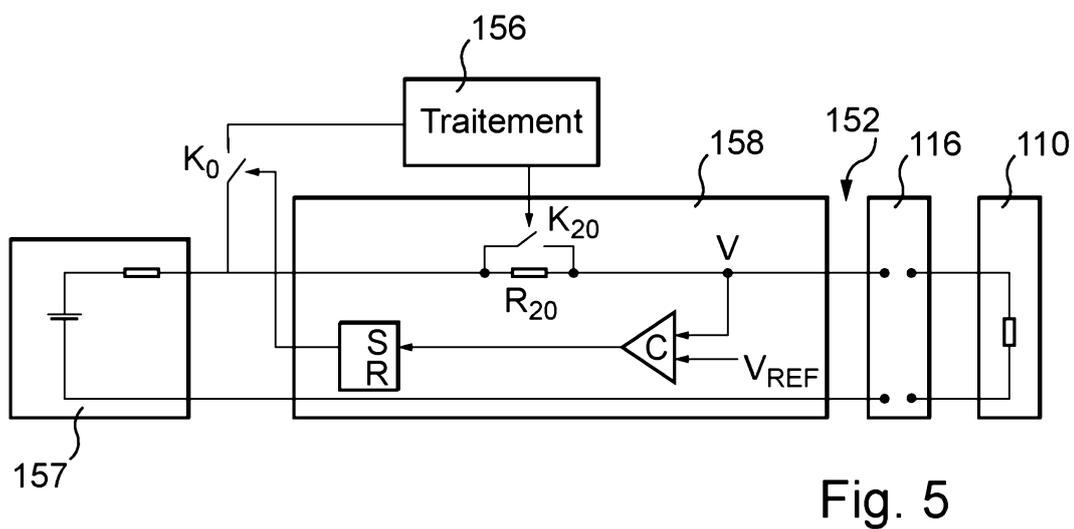
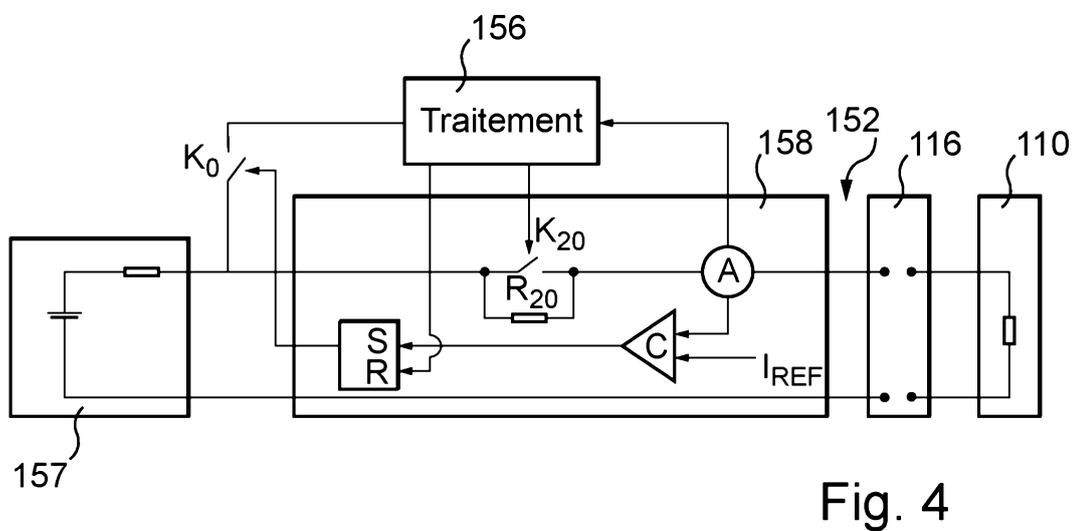
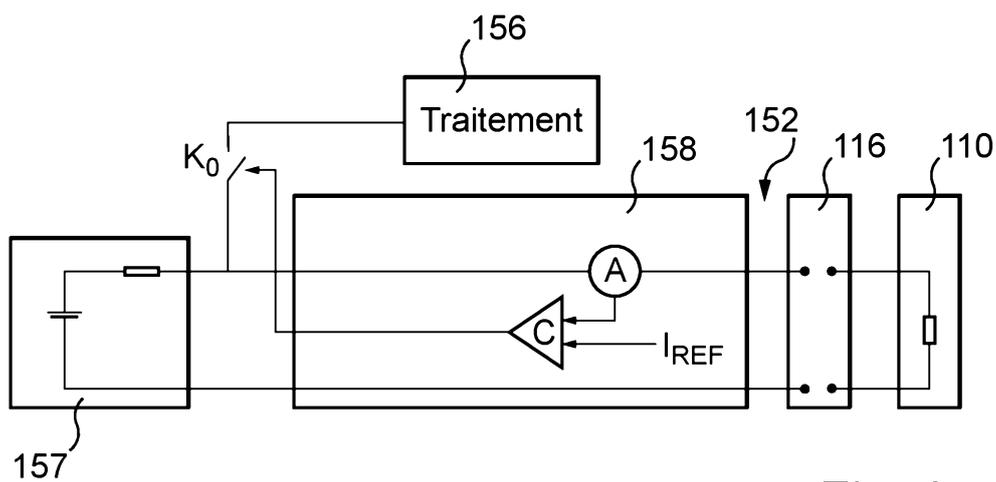


Fig. 2

3/5



4/5

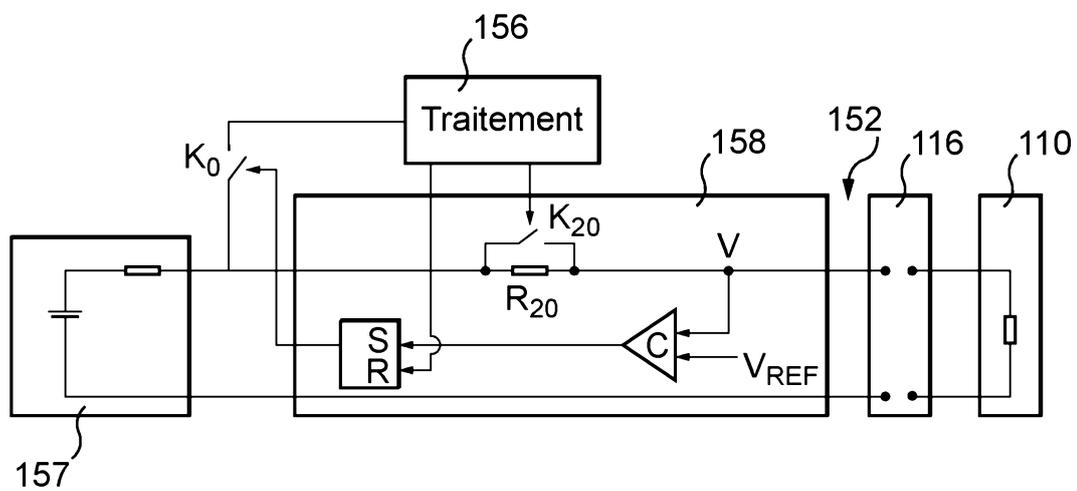


Fig. 6

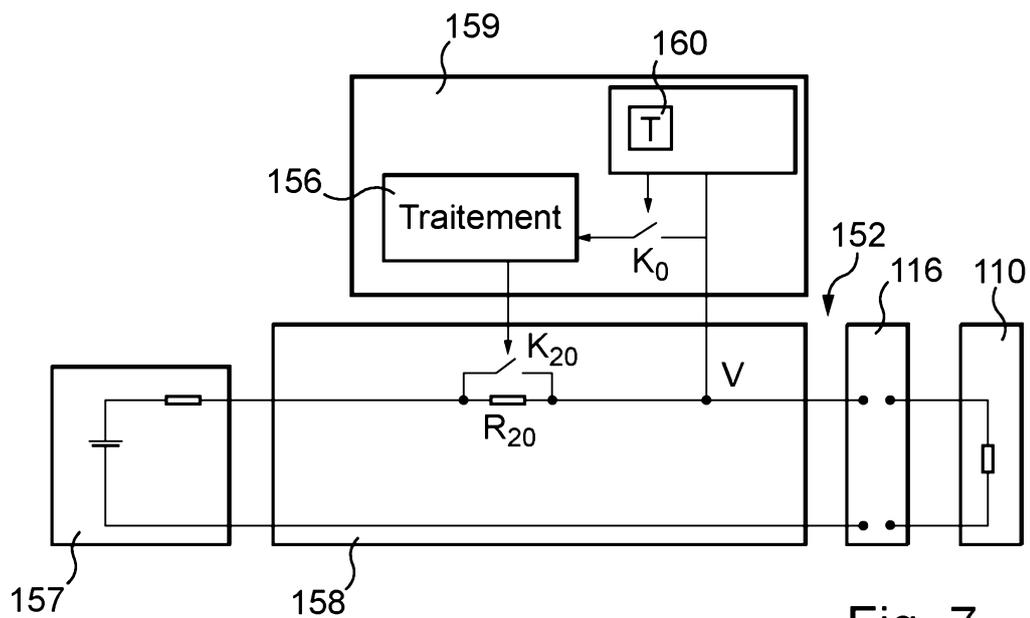


Fig. 7

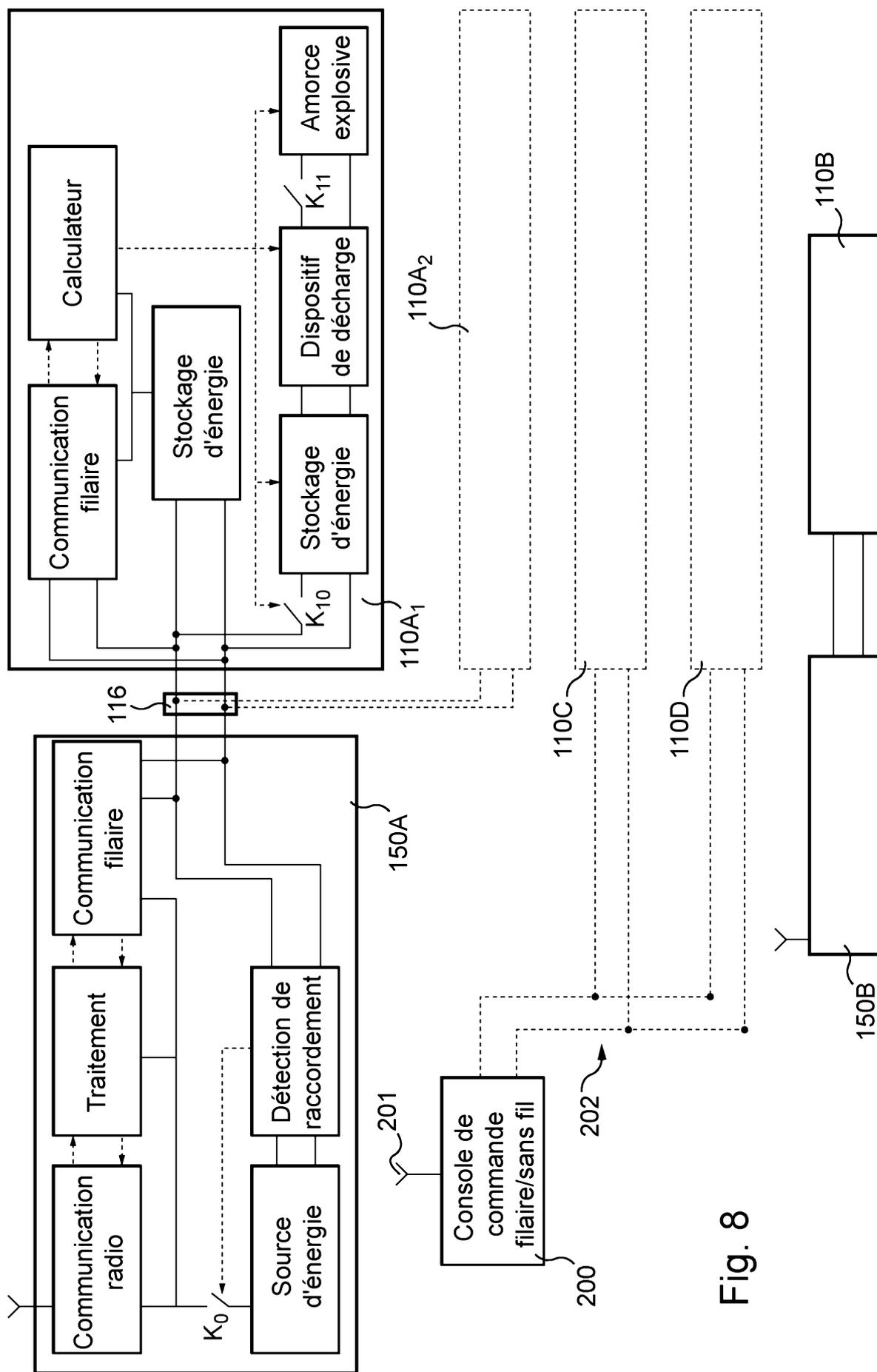


Fig. 8

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

WO 2006/096920 A1 (ORICA EXPLOSIVES TECH PTY LTD [AU]; HUMMEL DIRK [DE]; MCCANN MICHAEL J)
21 septembre 2006 (2006-09-21)

WO 2012/034138 A1 (AEL MINING SERVICES LTD [ZA]; MULLER ELMAR [ZA]; ROWE ANTHONY TONY [ZA])
15 mars 2012 (2012-03-15)

US 2007/125256 A1 (FRICKEY STEVEN J [US] ET AL)
7 juin 2007 (2007-06-07)

WO 2015/034882 A1 (AUSTIN STAR DETONATOR COMPANY [US])
12 mars 2015 (2015-03-12)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT