

## DESCRIPTION

### **Titre de l'invention : Procédé d'installation d'un ensemble de détonateurs électroniques et procédé de mise à feu associé**

5           La présente invention concerne un procédé d'installation d'un ensemble de détonateurs électroniques en front de taille.

Elle concerne également un procédé de mise à feu d'un ensemble de détonateurs électroniques installé en front de taille selon le procédé d'installation conforme à l'invention.

10           La présente invention concerne en outre un dispositif mobile de test pour la mise en œuvre du procédé d'installation conforme à l'invention ainsi qu'un système de mise à feu d'un ensemble de détonateurs électroniques installé en front de taille selon le procédé d'installation conforme à l'invention.

15           D'une manière générale, la présente invention s'applique au domaine des mines et carrières et aux chantiers de travaux publics mettant en œuvre des détonateurs électroniques programmables et mis à feu à distance selon un plan de tir prédéterminé.

20           Le plan de tir définit en front de taille la localisation de trous de mine destinés à recevoir chacun un détonateur électronique associé à un explosif, ainsi que la séquence de mise à feu, c'est-à-dire le retard associé à chaque détonateur électronique, selon sa localisation dans chaque trou de mine du front de taille.

25           La mise à feu des détonateurs électroniques selon un plan de tir est traditionnellement mise en œuvre selon deux grandes étapes, l'une au front de taille, l'autre à distance du front de taille.

En premier lieu, les détonateurs électroniques sont chargés dans les trous de mine définis par le plan de tir, puis identifiés un par un au moyen d'un dispositif mobile de test, au front de taille.

30           Le dispositif mobile de test est généralement conçu pour lire, adresser, tester, programmer un ou plusieurs détonateurs électroniques, simultanément ou individuellement, avec ou sans contact.

L'étape d'identification consiste en la lecture d'un identifiant unique associé à chaque détonateur électronique par le dispositif mobile de test au fur et à mesure de la connexion, filaire ou sans fil, de chaque détonateur électronique au dispositif mobile de test. Un retard est alors associé à chaque détonateur

5 électronique selon le plan de tir choisi, qui associe un retard prédéfini à chaque trou de mine selon sa localisation dans le front de taille. Ce retard associé à chaque détonateur électronique est mémorisé dans le dispositif mobile de test.

Dans certaines applications, il est prévu à ce stade de programmer et mémoriser, dans chaque détonateur électronique, le retard de mise à feu qui lui

10 est associé selon le plan de tir choisi.

Usuellement, le dispositif mobile de test procède à un test des détonateurs électroniques connectés à la ligne bus afin de vérifier la bonne connexion de l'ensemble des détonateurs électroniques identifiés individuellement.

15 Une fois réalisée l'étape précédente, la ligne bus sur laquelle sont connectés les détonateurs électroniques est connectée à une ligne de mise à feu et cette dernière est elle-même connectée à un dispositif de mise à feu distant.

L'étape de mise à feu à distance peut alors être mise en œuvre.

Cette étape de mise à feu peut être lancée plusieurs jours, voire

20 semaines, après l'étape d'installation des détonateurs électroniques en front de taille.

Le dispositif de mise à feu distant procède, avant la mise à feu proprement dite, à une étape de test afin de vérifier que l'ensemble des détonateurs électroniques du plan de tir sont bien connectés à la ligne de mise à

25 feu et que les conditions de mise à feu des détonateurs électroniques au front de taille sont toujours satisfaisantes pour pouvoir déclencher le tir.

Pour ce faire, le dispositif de mise à feu distant compare les informations d'identification individuelle que lui adresse chaque détonateur électronique avec les données enregistrées par le dispositif mobile de test lors

30 de l'étape d'installation et de test des détonateurs électroniques au front de taille.

Ainsi, les données enregistrées par le dispositif mobile de test lors de l'étape d'installation, c'est-à-dire le nombre de détonateurs électroniques placés

au front de taille et connectés à la ligne bus, l'identification unique associée à chaque détonateur électronique ainsi que le retard associé à chaque détonateur électronique (éventuellement programmé dans chaque détonateur électronique), sont transférées du dispositif mobile de test au dispositif de mise à feu distant et

5 mémorisées pour permettre la mise en œuvre du test avant mise à feu.

Ce transfert de données peut être réalisé en utilisant un support de mémorisation tel qu'une clé USB ou éventuellement par une transmission selon un protocole de communication sans fil entre le dispositif mobile de test et le dispositif de mise à feu distant.

10 En pratique, il est nécessaire alors de déplacer le dispositif mobile de test et/ou le support de mémorisation sur une longue distance, entre le front de taille et le dispositif de mise à feu distant.

La présente invention a pour but de résoudre au moins l'un des inconvénients précités et de proposer une installation simplifiée d'un ensemble

15 des détonateurs électroniques, puis leur mise à feu selon un plan de tir prédéfini.

A cet effet, la présente invention concerne, selon un premier aspect, un procédé d'installation d'un ensemble de détonateurs électroniques dans des trous de mine d'un front de taille.

Le procédé d'installation comprend les étapes suivantes :

20 - connexion des détonateurs électroniques chargés dans les trous de mine à un dispositif mobile de test ;

- réception par le dispositif mobile de test d'un message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques;

- détermination par le dispositif mobile de test à partir dudit message

25 adressé par chaque détonateur d'un ensemble de valeurs représentatif du nombre total de détonateurs électroniques connectés au dispositif mobile de test ;

- envoi par ledit dispositif mobile de test à un ou plusieurs détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques, d'un ensemble de données à

30 mémoriser comprenant ledit ensemble de valeurs représentatif du nombre total de détonateurs électroniques connectés au dispositif mobile de test ; et

- mémorisation dudit ensemble de données dans des moyens d'enregistrement d'un ou plusieurs détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques.

5 Ainsi, au moins un détonateur de l'ensemble de détonateurs électroniques mémorise au moins une partie d'un ensemble de valeurs représentatif du nombre total de détonateurs électroniques connectés au dispositif mobile de test lors de l'installation des détonateurs au front de taille.

10 Ces informations peuvent ainsi être transmises par au moins un détonateur une fois les détonateurs électroniques connectés à un dispositif de mise à feu distant pour permettre la validation de l'ensemble de l'installation et de la connexion correcte, et notamment vérifier qu'il n'existe pas de fuites de courant sur la ligne de connexion des détonateurs électroniques au dispositif de mise à feu distant.

15 La mémorisation d'informations utiles au test de validation dans au moins un détonateur électronique permet de s'affranchir du transfert de données entre le dispositif mobile de test et un dispositif de mise à feu distant.

Par conséquent, il n'est pas nécessaire de transférer physiquement les données, obtenues au moment de l'installation des détonateurs électroniques au front de taille, au dispositif de mise à feu distant.

20 Selon un mode de réalisation, à l'étape d'envoi, ledit ensemble de données à mémoriser est envoyé à tous les détonateurs de l'ensemble de détonateurs électroniques, ledit ensemble de données étant mémorisé dans des moyens d'enregistrement de chaque détonateur de l'ensemble de détonateurs électroniques.

25 La mémorisation de l'ensemble de données de manière redondante dans tous les détonateurs électroniques permet de garantir le transfert de cet ensemble de données ultérieurement à un dispositif de mise à feu distant, même en cas de défaillance de l'un ou l'autre des détonateurs ou de sa connexion au dispositif de mise à feu distant.

30 Avantagusement, ledit ensemble de données à mémoriser comprend en outre une référence du front de taille.

Ainsi lorsque plusieurs tirs sont envisagés sur une même période de temps, la référence du front de taille permet de s'assurer de l'attribution correcte d'un ensemble de données mémorisé à un front de taille particulier.

Dans un mode de réalisation pratique, ledit ensemble de valeurs  
5 comprend le nombre total de détonateurs électroniques connectés au dispositif mobile de test.

Le nombre total de détonateurs électroniques connectés lors du procédé d'installation au front de taille permet ultérieurement de vérifier que le nombre correct de détonateurs électroniques est connecté au dispositif de mise  
10 à feu distant, avant le déclenchement du tir.

Dans un mode de réalisation particulier, chaque détonateur comprend des moyens de mémorisation d'au moins une référence de catégorie de retard choisie parmi un ensemble prédéfini de catégories de retard.

Dans un mode de réalisation, le procédé d'installation comprend en  
15 outre, pour chaque catégorie de retard, une étape d'émission d'une commande de test par ledit dispositif mobile de test à destination d'un sous-ensemble de détonateurs électroniques comprenant une même référence de catégorie de retard mémorisée et, à l'étape de détermination, ledit ensemble de valeurs comprend, pour chaque catégorie de retard, le nombre de détonateurs  
20 électroniques comprenant cette même référence de catégorie de retard mémorisée.

Cette information sur le nombre de détonateurs électroniques de chaque catégorie de retard permet ultérieurement de vérifier que le nombre correct de détonateurs électroniques, de chaque catégorie de retard selon le plan  
25 de tir choisi, est connecté au dispositif de mise à feu distant, avant le déclenchement du tir.

Dans un autre mode de réalisation, en complément ou en alternatif au précédent mode de réalisation, à l'étape de réception par ledit dispositif mobile de test d'un message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de  
30 détonateurs électroniques, ledit message comprend au moins la référence de catégorie de retard mémorisée dans lesdits moyens de mémorisation dudit détonateur, et à l'étape de détermination, ledit ensemble de valeurs comprend,

pour chaque catégorie de retard, le nombre de détonateurs électroniques comprenant cette même référence de catégorie de retard mémorisée.

De préférence, afin de vérifier que les détonateurs de toutes les catégories de retard mises en œuvre lors de l'installation au front de taille sont bien connectés, l'ensemble de données à mémoriser comprend le nombre de catégories de retard dudit ensemble prédéfini de catégories de retard.

En pratique, à l'étape de mémorisation, le nombre de détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard enregistrée est mémorisé respectivement dans les moyens d'enregistrement d'au moins un détonateur électronique comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée.

Dans un mode de réalisation, le procédé d'installation comprend en outre les étapes suivantes :

- sélection dans le dispositif mobile de test d'un modèle d'associations de chaque catégorie de retard à un retard prédéfini selon un plan de tir prédéterminé ; et

- programmation d'un retard de mise à feu dans chaque détonateur de l'ensemble de détonateurs électroniques à partir dudit modèle d'associations et de la référence de catégorie de retard mémorisée dans les moyens de mémorisation dudit détonateur.

Cette programmation du retard au niveau du dispositif mobile de test est simplifiée grâce à l'utilisation d'un modèle d'associations. Le retard de mise à feu peut être programmé automatiquement en fonction de la catégorie de retard mémorisée au niveau de chaque détonateur. Tous les détonateurs peuvent être programmés simultanément et non un par un.

La présente invention concerne également, selon un deuxième aspect, un procédé de mise à feu d'un ensemble de détonateurs électroniques installé au front de taille selon le procédé d'installation décrit précédemment, mis en œuvre dans un dispositif de mise à feu.

Le procédé de mise à feu comprend les étapes suivantes :

- connexion dudit ensemble de détonateurs électroniques au dispositif de mise à feu ;

- réception d'un message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques ;
  - réception dudit ensemble de données mémorisé dans lesdits moyens d'enregistrement d'un ou plusieurs détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques ;
  - extraction dudit ensemble de données mémorisé dudit ensemble de valeurs représentatif du nombre total de détonateurs électroniques connectés au dispositif mobile de test lors de l'installation dudit ensemble de détonateurs électroniques au front de taille ;
  - détermination du nombre courant de détonateurs électroniques dudit ensemble de détonateurs électroniques connecté au dispositif de mise à feu à partir du message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques ;
  - comparaison dudit nombre courant avec ledit ensemble de valeurs représentatif du nombre total de détonateurs électroniques connectés au dispositif mobile de test ; et
  - émission d'un message de validation d'un test si ledit nombre courant est en concordance avec ledit ensemble de valeurs représentatif du nombre total et d'un message de non-validation si ledit nombre courant n'est pas en concordance avec ledit ensemble de valeurs représentatif du nombre total.
- La vérification de connexion correcte de l'ensemble de détonateurs peut ainsi être réalisée à partir de l'ensemble de données transmis par un ou plusieurs détonateurs électroniques au dispositif de mise à feu distant et ne nécessite pas le transfert de données entre le dispositif de test mobile utilisé lors de l'installation des détonateurs au front de taille et le dispositif de mise à feu, distant du front de taille.
- Selon un mode de réalisation, le procédé de mise à feu d'un ensemble de détonateurs électroniques installé au front de taille comprend les étapes suivantes :
- connexion dudit ensemble de détonateurs électroniques au dispositif de mise à feu ;

- réception d'un message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques, ledit message comprenant au moins la référence de catégorie de retard mémorisée dans lesdits moyens de mémorisation dudit détonateur ;
- 5           - réception dudit ensemble de données mémorisé dans lesdits moyens d'enregistrement d'un ou plusieurs détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques ;
- extraction à partir dudit ensemble de données mémorisé dudit ensemble de valeurs comprenant, pour chaque catégorie de retard, le nombre
- 10 de détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée ;
- détermination, pour chaque catégorie de retard, du nombre courant de détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée, à partir dudit message adressé par chaque détonateur dudit
- 15 ensemble de détonateurs électroniques ;
- comparaison, pour chaque catégorie de retard, dudit nombre courant avec ledit nombre de détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée ; et
- émission d'un message de validation d'un test si ledit nombre courant
- 20 est égal audit nombre de détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée pour toutes les catégories de retard, et d'un message de non-validation si ledit nombre courant est différent dudit nombre de détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée pour au moins une catégorie de retard.
- 25           Le procédé de mise à feu permet ainsi de valider ou non l'installation des détonateurs électroniques et leur connexion avant la mise à feu, à partir de la connaissance du nombre de détonateurs électroniques de chaque catégorie de retard.
- Selon un autre mode de réalisation, le procédé de mise à feu d'un
- 30 ensemble de détonateurs électroniques installé au front de taille comprend les étapes suivantes :

- connexion dudit ensemble de détonateurs électroniques au dispositif de mise à feu ;
- envoi, pour chaque catégorie de retard, d'une commande de test par ledit dispositif de mise à feu à destination d'un sous-ensemble de détonateurs électroniques comprenant une même référence de catégorie de retard mémorisée ;
- réception, pour chaque catégorie de retard, d'un message adressé par chaque détonateur dudit sous-ensemble de détonateurs électroniques comprenant ladite même catégorie de retard mémorisée ;
- réception dudit ensemble de données mémorisé dans lesdits moyens d'enregistrement d'un ou plusieurs détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques ;
- extraction à partir dudit ensemble de données mémorisé dudit ensemble de valeurs comprenant, pour chaque catégorie de retard, le nombre de détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée ;
- détermination, pour chaque catégorie de retard, du nombre courant de détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée, à partir dudit message adressé par chaque détonateur dudit sous-ensemble de détonateurs électroniques comprenant ladite même catégorie de retard mémorisée ;
- comparaison, pour chaque catégorie de retard, dudit nombre courant avec ledit nombre de détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée ; et
- émission d'un message de validation d'un test si ledit nombre courant est égal audit nombre de détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée pour toutes les catégories de retard, et d'un message de non-validation si ledit nombre courant est différent dudit nombre de détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée pour au moins une catégorie de retard.

En pratique, à l'étape d'émission d'un message de non-validation, la ou les catégories de retard dont le nombre courant est différent dudit nombre de

détonateurs électroniques comprenant ladite référence de catégorie de retard mémorisée est ou sont identifiées.

L'opérateur peut ainsi identifier les détonateurs défectueux parmi l'ensemble de détonateurs électroniques, et décider selon la catégorie de retard  
5 concernée de suspendre le tir ou de le déclencher.

Dans un mode de réalisation avantageux, le procédé de mise à feu comprend en outre les étapes suivantes :

- sélection d'un modèle d'associations de chaque catégorie de retard à un retard prédéfini selon un plan de tir prédéterminé ; et
- 10 - programmation d'un retard de mise à feu dans chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques à partir dudit modèle d'associations et de la référence de catégorie de retard mémorisée dans les moyens de mémorisation dudit détonateur.

La programmation du retard peut ainsi être réalisée à partir du  
15 dispositif de mise à feu distant, et est simplifiée grâce à l'utilisation d'un modèle d'associations. Le retard de mise à feu peut être programmé automatiquement en fonction de la catégorie de retard mémorisée au niveau de chaque détonateur. Tous les détonateurs peuvent être programmés simultanément et non un par un.

La présente invention concerne également selon un troisième aspect,  
20 un dispositif mobile de test pour la mise en œuvre du procédé d'installation décrit ci-dessus.

Le dispositif mobile de test comprend :

- des moyens de réception d'un message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques chargés dans des trous  
25 de mine;
- des moyens de détermination à partir dudit message adressé par chaque détonateur d'un ensemble de valeurs représentatif du nombre total de détonateurs électroniques connectés audit dispositif mobile de test ; et
- des moyens d'envoi à un ou plusieurs détonateurs dudit ensemble  
30 de détonateurs électroniques d'un ensemble de données à mémoriser comprenant ledit ensemble de valeurs représentatif du nombre total de détonateurs électroniques connectés audit dispositif mobile de test.

Le dispositif mobile de test présente des caractéristiques et avantages analogues au procédé d'installation qu'il met en œuvre.

La présente invention concerne finalement, selon un quatrième aspect, un système de mise à feu d'un ensemble de détonateurs électroniques  
5 installé au front de taille selon le procédé d'installation décrit ci-dessus.

Le système de mise à feu comprend un dispositif mobile de test adapté à être connecté à une ligne bus, les détonateurs électroniques étant connectés à ladite ligne bus, et un dispositif de mise à feu adapté à être connecté à distance via une ligne de mise à feu à ladite ligne bus.

10 En pratique, chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques comprend des moyens de mémorisation d'une référence de catégorie de retard choisie parmi un ensemble prédéfini de catégories de retard, chaque catégorie de retard étant identifiée par une combinaison prédéfinie d'un code numérique et d'un code couleur, ledit code numérique étant mémorisé  
15 comme référence de catégorie de retard dans lesdits moyens de mémorisation de chaque détonateur.

Avantageusement, ledit code numérique et ledit code couleur de chaque combinaison prédéfinie sont visibles sur au moins un emplacement choisi parmi un câble de connexion du détonateur électronique ou un connecteur dudit  
20 détonateur électronique à la ligne bus.

La combinaison d'un nombre et d'une couleur permet de définir simplement et visuellement la catégorie de retard à laquelle appartient le détonateur électronique et de faciliter ainsi son installation au front de taille.

En pratique, ledit ensemble prédéfini de catégories de retard  
25 comprend entre 16 et 32, voire 64 catégories de retard différentes.

Le système de mise à feu présente des caractéristiques et avantages analogues au procédé de mise à feu décrit précédemment.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront encore dans la description ci-après en référence aux dessins annexés, donnés à titre  
30 d'exemples non limitatifs :

[Fig. 1] la figure 1 est une vue schématique d'un système de mise à feu conforme à un mode de réalisation de l'invention ;

[Fig. 2] la figure 2 est un schéma illustrant la programmation d'un plan de tir pour un système de mise à feu de la figure 1 ;

[Fig. 3] la figure 3 est un schéma illustrant un modèle d'associations de catégories de retard à des retards prédéfinis selon l'exemple du plan de tir de la figure 2 ;

[Fig. 4] la figure 4 est un algorithme d'un procédé d'installation d'un ensemble de détonateurs électroniques selon un mode de réalisation de l'invention ; et

[Fig.5] la figure 5 est un algorithme d'un procédé de mise à feu d'un ensemble de détonateurs électroniques selon un mode de réalisation de l'invention.

On va décrire tout d'abord en référence à la figure 1 un système de mise à feu d'un ensemble de détonateurs électroniques installés au front de taille.

Le système de mise à feu comprend plusieurs détonateurs électroniques 10 destinés à être installés chacun dans un trou de mine au front de taille (appelé "*face*" en terminologie anglo-saxonne).

De manière usuelle, chaque détonateur électronique 10 est placé avec une quantité prédéterminé d'explosif dans un trou de mine foré dans une paroi.

L'ensemble des détonateurs électroniques 10 ainsi installés au front de taille sont destinés ensuite à être mis à feu en une seule volée.

Un tel système de mise à feu est utilisé notamment dans les applications mines et carrières et chantiers de travaux publics.

Dans ce mode de réalisation, le système de mise à feu comprend un dispositif mobile de test 20 adapté à être connecté à une ligne bus L1.

Les détonateurs électroniques 10 sont également connectés à la ligne bus L1 et ainsi reliés au dispositif mobile de test 20.

Le dispositif mobile de test 20 peut ainsi communiquer avec un ou plusieurs détonateurs électroniques 10, simultanément ou individuellement, afin de lire des informations ou données mémorisées par les détonateurs électroniques 10, adresser des informations à ces détonateurs électroniques 10 et tester leur connexion et leur état de fonctionnement.

Dans certains modes de réalisation, le dispositif mobile de test 20 est également conçu pour programmer les détonateurs électroniques 10, et par exemple programmer un retard de mise à feu (*delay* en terminologie anglo-saxonne) comme cela sera décrit plus en détail ultérieurement.

5 Le dispositif mobile de test 20 comprend de manière classique des moyens de réception 21 et d'envoi 22 permettant de communiquer avec les détonateurs électroniques 10, simultanément ou individuellement.

Les moyens de réception 21 sont adaptés notamment à recevoir un message adressé par chaque détonateur électronique 10, simultanément ou  
10 individuellement. Les moyens d'envoi 22 sont adaptés à adresser des messages et/ou des informations à mémoriser ou programmer dans chaque détonateur électronique 10.

Les moyens de réception 21 et d'envoi 22 peuvent être formés d'un émetteur/récepteur bidirectionnel, connus de l'homme du métier dans le domaine  
15 de la communication des réseaux filaires.

Bien que dans l'exemple de réalisation illustré à la figure 1, les détonateurs électroniques 10 et le dispositif mobile de test 20 sont connectés par une liaison filaire au moyen de la ligne bus L1, l'invention n'est pas limitée à ce type de connexion.

20 En particulier, le dispositif mobile de test 20 et les détonateurs électroniques 10 pourraient communiquer par une liaison sans fil, notamment par liaison radio. Les moyens de réception 21 et d'envoi 22 peuvent alors être formés d'une antenne émettrice/réceptrice bidirectionnelle, connue de l'homme du métier dans le domaine de la communication des réseaux sans fil.

25 Le dispositif mobile de test 20 comprend en outre un microprocesseur 23 permettant de mettre en œuvre différents traitements de données, calculs et paramétrages comme cela sera décrit ultérieurement en référence au procédé d'installation des détonateurs électroniques au front de taille.

Le dispositif mobile de test 20 comprend également une mémoire 24  
30 du type mémoire inscriptible EEPROM (acronyme de la terminologie anglo-saxonne "*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*").

Le rôle et le fonctionnement du dispositif mobile de test 20 sera décrit plus en détail en référence au procédé d'installation des détonateurs électroniques 10 au front de taille.

Le système de mise à feu comprend par ailleurs un dispositif de mise à feu 30 destiné à être connecté à distance des détonateurs électroniques 10.

Comme illustré à la figure 1, le dispositif de mise à feu 30 est connecté via une ligne de mise à feu L2, elle-même reliée à la ligne bus L1.

Le dispositif de mise à feu 30 est destiné à être placé à longue distance du front de taille pour permettre le déclenchement du tir en toute sécurité pour l'opérateur commandant le tir à partir du dispositif de mise à feu 30.

Le dispositif de mise à feu 30 comprend des moyens de réception 31 et des moyens d'envoi 32 permettant une communication bidirectionnelle entre les détonateurs électroniques 10 et le dispositif de mise à feu 30, simultanément ou individuellement.

Les moyens de réception 31 et d'envoi 32 sont similaires à ceux décrits précédemment en lien avec le dispositif mobile de test 20.

Le dispositif de mise à feu 30 comprend en outre un microprocesseur 33 permettant de mettre en œuvre différents traitements de données, calculs et paramétrages comme cela sera décrit ultérieurement en référence au procédé de mise à feu tel que décrit ultérieurement.

Une mémoire programmable 34 du type mémoire EEPROM est également prévue dans le dispositif de mise à feu 30.

Un écran d'affichage 35 peut également équiper le dispositif de mise à feu 30 pour communiquer avec l'opérateur.

Le rôle et le fonctionnement du dispositif de mise à feu 30 sera décrit plus en détail en référence avec le procédé de mise à feu.

Chaque détonateur électronique 10 comprend des moyens de communication bidirectionnelle 13 adaptés à la communication du détonateur électronique 10 avec le dispositif mobile de test 20 et/ou le dispositif de mise à feu 30. Les moyens de communication bidirectionnelle 13 des détonateurs électroniques sont similaires aux moyens de réception 21 et d'envoi 22 décrits précédemment en lien avec le dispositif mobile de test 20.

Par ailleurs, chaque détonateur électronique 10 comprend des moyens de mémorisation 11 adaptés à mémoriser des informations d'identification propre à chaque détonateur électronique 10.

Ces moyens de mémorisation 11 sont formés par exemple d'une  
5 mémoire morte (en terminologie anglo-saxonne *ROM* ou *Read Only Memory*) ou d'une mémoire inscriptible du type mémoire EEPROM.

En particulier, chaque détonateur électronique 10 est associé à un identifiant unique ID paramétré dans le détonateur électronique 10 au moment de sa fabrication.

10 La valeur IDY de cet identifiant ID est comprise ici, à titre purement illustratif, entre ID1 et IDN, N correspondant au nombre total de détonateurs électroniques 10 installés au front de taille pour la mise en œuvre d'un tir.

Dans le mode de réalisation illustré, et de manière non limitative, chaque détonateur électronique 10 comprend également une référence x de  
15 catégorie de retard Cx enregistrée dans les moyens de mémorisation 11.

Dans son principe, la mise en œuvre d'une catégorie de retard Cx consiste à pré-catégoriser les détonateurs électroniques 10 en fonction de leur catégorie de retard Cx, tous les détonateurs électroniques 10 associés à la même catégorie de retard Cx étant ensuite programmés avec un même retard de mise  
20 à feu (*delay*) selon un plan de tir prédéterminé.

Chaque catégorie de retard Cx est de préférence identifiée par une combinaison prédéfinie d'un code numérique x et d'un code couleur.

Le code numérique ou nombre x est mémorisé comme référence de catégorie de retard Cx dans les moyens de mémorisation 11 de chaque  
25 détonateur électronique 10.

Afin de faciliter l'installation des détonateurs électroniques 10 dans les trous de mine au front de taille, la catégorie de retard Cx à laquelle est associé le détonateur électronique est apparente visuellement sur chaque détonateur électronique 10.

30 L'utilisation d'un code numérique ou nombre x et d'un code couleur permet de faciliter, en combinaison, l'identification par l'opérateur au front de taille de chaque détonateur électronique 10 à installer.

De préférence, le nombre  $x$  et la couleur associée de chaque combinaison sont visibles sur le détonateur électronique 10.

Le nombre  $x$  et/ou le code couleur peuvent être visibles par exemple sur le câble de connexion du détonateur électronique 10 à la ligne bus L1.

5           On a illustré ce mode de réalisation à la figure 1 où une étiquette de couleur différente, portant le nombre 1,  $x$ , ...,  $n$ , est attachée au câble de connexion de chaque détonateur électronique 10.

          Bien entendu, d'autres types d'emplacement pourraient être choisis pour rendre visible la catégorie de retard  $C_x$  à laquelle est associé le détonateur  
10 électronique 10.

Par exemple, la combinaison du code numérique et du code couleur identifiant chaque catégorie de retard  $C_x$  pourrait également être visible sur un connecteur (non représenté) reliant le détonateur électronique 10 à la ligne bus L1.

15           Par ailleurs, une étiquette du type RFID peut être fixée sur une face externe du boîtier du détonateur électronique 10. Cette étiquette peut ainsi comporter non seulement le code couleur et le code numérique  $x$  de la catégorie de retard  $C_x$  mais également l'identifiant IDY du détonateur électronique 10.

          L'intérêt de la catégorisation des détonateurs électroniques 10  
20 apparaîtra plus en détail ci-après, en référence au procédé d'installation et de mise à feu des détonateurs électroniques.

Finalement, chaque détonateur électronique 10 comprend en outre des moyens d'enregistrement 12 formés d'une mémoire inscriptible du type mémoire EEPROM.

25           En pratique, les moyens d'enregistrement 12 peuvent être distincts des moyens de mémorisation 11 de chaque détonateur électronique 10 ou être formés d'une même mémoire EEPROM avec des registres séparés pour la mémorisation des différentes données.

          Comme cela apparaîtra dans la description ci-après, les moyens  
30 d'enregistrement 12 permettent de mémoriser localement, au niveau de chaque ou certains des détonateurs électroniques 10, des données en liaison avec le plan de tir dans lequel sont mis en œuvre ces détonateurs électroniques 10.

On a ainsi illustré à la figure 2 un exemple de plan de tir associé à un front de taille identifié par une référence FZ.

Lors de la définition d'un plan de tir, le programmeur définit au front de taille l'emplacement des différents détonateurs électroniques 10, illustrés schématiquement par des points à la figure 2 et leur associe un retard de mise à feu.

Un modèle d'associations T (ou *template* en terminologie anglo-saxonne) tel qu'illustré à la figure 3, est alors défini en parallèle, permettant d'associer à chaque catégorie de retard Cx un retard de mise à feu (en milliseconde).

A titre d'exemple non limitatif, les figures 2 et 3 illustrent la mise en œuvre de six catégories de retard C1, C2, C3, C4, C5, C6 associées respectivement à 0, 250, 500, 750, 1000, 1250 ms de retard de mise à feu.

Bien entendu, cet exemple de réalisation est purement illustratif.

En pratique, l'ensemble prédéfini de catégories de retard Cx comprend entre 16 et 32 catégories de retard différentes pour la réalisation d'un plan de tir classique. Ce nombre peut être porté à 64 pour des plans de tir plus grands. Typiquement, l'utilisation de 20 à 25 catégories de retard différentes permet de réaliser un plan de tir pour un front de taille FZ donné.

L'utilisation d'un modèle d'associations T évite d'avoir à connaître la valeur du retard de mise à feu au niveau du plan de tir tel qu'illustré à la figure 2.

En effet, le plan de tir peut être réalisé en localisant les détonateurs électroniques 10 ayant le même retard de mise à feu et en leur attribuant une catégorie de retard Cx, et ce pour chaque retard de mise à feu différent du plan de tir. Le modèle d'associations T permet ensuite de définir le retard de mise à feu pour chaque catégorie de retard Cx.

Au niveau de plan de tir tel qu'illustré à la figure 2, chaque détonateur électronique 10 peut ainsi être visualisé par un point de couleur et un nombre x, correspondant au code couleur et au code numérique caractérisant sa catégorie de retard Cx.

On va décrire à présent en référence à la figure 4 un procédé d'installation d'un ensemble de détonateurs électroniques 10 selon un mode de réalisation de l'invention.

Comme décrit précédemment en référence à la figure 1, chaque  
5 détonateur électronique 10 est placé dans un trou de mine d'un front de taille.

Ce placement des détonateurs électroniques est réalisé selon le plan de tir tel que celui donné en exemple à la figure 2.

L'installateur peut à cet effet disposer d'une carte de chargement, disponible par exemple sur le dispositif mobile de test 20, et permettant  
10 d'identifier la localisation de chaque détonateur électronique et sa catégorie de retard Cx, visualisée par le code couleur et le code numérique x associés.

Cette carte de chargement simplifie le placement de chaque détonateur électronique 10 dans le trou de mine dédié.

L'installateur peut, pour un front de taille donné FZ, se fournir du  
15 nombre nécessaire de détonateurs électroniques 10 de chaque catégorie de retard Cx, puis les disposer au front de taille FZ en respectant uniquement le code couleur et/ou le code numérique de la carte de chargement.

Le procédé d'installation comprend ensuite une étape de connexion S41 des détonateurs électroniques 10 au dispositif mobile de test 20.

20 Dans l'exemple de réalisation décrit en référence à la figure 1, et de manière non limitative, la connexion des détonateurs électroniques 10 est réalisée via la ligne bus L1, elle-même connectée au dispositif mobile de test 20.

Le procédé d'installation comporte ensuite une étape de réception S42 par le dispositif mobile de test 20 d'un message adressé par chaque détonateur  
25 électronique 10.

L'émission d'un message par chaque détonateur électronique 10 peut être réalisée de manière spontanée.

Par exemple, l'émission d'un message par chaque détonateur peut avoir lieu dès sa connexion à la ligne bus L1, elle-même reliée au dispositif mobile  
30 de test 20.

Chaque détonateur électronique 10 est ainsi adapté à émettre un message à destination du dispositif mobile de test 20 dès sa mise sous tension.

Les messages à l'étape de réception S42 sont ainsi réceptionnés les uns après les autres, au fur et à mesure de la connexion des détonateurs électroniques à la ligne bus L1.

Alternativement, dans un autre mode de réalisation, le dispositif mobile de test 20 adresse, dans une étape d'émission, une commande de test à destination de l'ensemble des détonateurs électroniques 10, après leur connexion à la ligne bus L1.

L'étape de réception S42 permet alors de réceptionner, simultanément ou individuellement, un message en réponse, adressé par chaque détonateur électronique 10 au dispositif mobile de test 20.

L'étape de réception S42 est mise en œuvre par les moyens de réception 21 du dispositif mobile de test 20.

Le procédé d'installation comporte ensuite une étape de détermination S43, à partir du message adressé par chaque détonateur électronique 10, d'un ensemble de valeurs V représentatif du nombre total de détonateurs électroniques 10 connectés au dispositif mobile de test 20.

L'étape de détermination S43 est mise en œuvre par des moyens de détermination formés par le microprocesseur 23, à partir des messages réceptionnés à l'étape de réception S42.

En particulier, cet ensemble de valeurs V déterminé par le dispositif mobile de test 20 peut comprendre le nombre total N de détonateurs électroniques 10 connectés au dispositif mobile de test 20.

Le nombre total N de détonateurs électroniques 10 peut être déterminé à partir du nombre de messages reçus à l'étape de réception S42.

Plus particulièrement, dans le mode de réalisation illustré à la figure 1, dans lequel chaque détonateur électronique 10 est associé à une catégorie de retard Cx, à l'étape de détermination S43, l'ensemble de valeurs V comprend, pour chaque catégorie de retard Cx, le nombre Nx de détonateurs électroniques 10 comprenant la référence x de catégorie de retard Cx mémorisée dans les moyens de mémorisation 11.

L'ensemble des nombres  $N_x$  de détonateurs électroniques associés à chaque catégorie de retard  $C_x$  forme ainsi un ensemble de valeurs  $V$  représentatif du nombre total  $N$  de détonateurs électroniques 10 au front de taille.

Dans un tel mode de réalisation, l'étape de détermination S43 peut également permettre de déterminer spécifiquement le nombre total  $N$  de détonateurs électroniques 10 par le calcul suivant :

$$N = \sum_{x=1}^n N_x(C_x)$$

où  $n$  est le nombre de catégories de retard utilisées dans le plan de tir mis en œuvre.

10 Afin de permettre la détermination du nombre  $N_x$  de détonateurs électroniques 10 associés à la catégorie de retard  $C_x$ , à l'étape de réception S42, le message comprend au moins la référence  $x$  de catégorie de retard  $C_x$  mémorisée dans les moyens de mémorisation 11 du détonateur électronique 10, et ce pour chaque détonateur électronique 10 connecté au dispositif mobile de  
15 test 20.

Dans un tel mode de réalisation, le nombre  $n$  de catégories de retard  $C_x$  de l'ensemble prédéfini de catégories de retard utilisées dans le front de taille FZ peut alors également être déterminé à partir de l'ensemble des messages reçus. Par exemple, le microprocesseur 23 est adapté à calculer la somme des  
20 différentes références  $x$  de catégorie de retard  $C_x$  extraites des messages reçus.

Le nombre  $n$  de catégories de retard  $C_x$  est utile pour vérifier ultérieurement, lors d'un test avant déclenchement du tir comme décrit ci-après, que les détonateurs électroniques 10 de chaque catégorie de retard  $C_x$  de l'ensemble prédéfini de catégorie de retard  $C_x$  mis en œuvre dans le plan de tir  
25 sont bien présents.

Alternativement, le message adressé par chaque détonateur électronique 10 peut ne pas comporter d'information sur la catégorie de retard  $C_x$  à laquelle chaque détonateur électronique est associé.

Dans ce cas, le dispositif mobile de test 20 interroge les détonateurs  
30 électroniques 10, catégorie de retard par catégorie de retard, seuls les détonateurs électroniques 10 associés à la même catégorie de retard  $C_x$

émettant simultanément un message à destination du dispositif mobile de test 20. Ce dernier peut ainsi déterminer, à l'étape de détermination S43, le nombre Nx de détonateurs électroniques 10 associés à la catégorie de retard Cx.

5 Dans un tel mode de réalisation, les catégories de retard Cx utilisées pour le front de taille FZ doivent être mémorisées au niveau du dispositif mobile de test 20 pour permettre l'interrogation des détonateurs électroniques 10, catégorie de retard par catégorie de retard.

A l'étape de détermination S43, l'ensemble de valeurs V comprend ainsi le nombre total N de détonateurs électroniques au front de taille, déterminé  
10 directement à partir du nombre de messages reçus et/ou déterminé indirectement à partir du nombre Nx de détonateurs électroniques de chaque catégorie de retard Cx.

Ces informations déterminées lors de la mise en œuvre du procédé d'installation des détonateurs électroniques 10 au front de taille sont utiles pour  
15 vérifier le bon fonctionnement et la connexion correcte de chaque détonateur électronique 10 au moment du déclenchement du tir, qui peut intervenir plusieurs jours, voire plusieurs semaines, après l'installation des détonateurs électroniques 10 au front de taille.

A cette fin, le procédé d'installation comprend une étape d'envoi S44  
20 par le dispositif mobile de test 20 à au moins un détonateur électronique 10 d'un ensemble de données D à mémoriser.

L'étape d'envoi S44 est mise en œuvre par les moyens d'envoi 22 du dispositif mobile de test 20. L'ensemble de données D est réceptionné par les  
25 moyens de communication bidirectionnelle 13 du ou des détonateurs électroniques 13.

L'ensemble de données D est destiné à être mémorisé dans les moyens d'enregistrement 12 d'un détonateur électronique 10.

Le détonateur électronique 10 qui mémorise l'ensemble de données D peut être sélectionné de manière aléatoire par le dispositif mobile de test 20  
30 parmi l'ensemble de détonateurs électroniques 10, ou bien être sélectionné en fonction de la puissance du message adressé par chaque détonateur

électronique 10. Dans ce dernier cas, le détonateur électronique 10 ayant un signal de réponse de plus forte amplitude peut être sélectionné.

L'ensemble de données D à mémoriser comprend l'ensemble de valeurs V représentatif du nombre total N de détonateurs électroniques 10  
5 connectés au dispositif mobile de test 20.

Le procédé d'installation comprend ainsi une étape de mémorisation S45 de l'ensemble de données D dans une mémoire inscriptible d'au moins un détonateur électronique 10.

L'information telle que le nombre total N de détonateurs électroniques  
10 10 connectés au dispositif mobile de test 20 peut ainsi être mémorisée au niveau d'un ou plusieurs détonateurs électroniques connectés à la ligne bus L1.

Dans un mode de réalisation, à l'étape d'envoi S44, l'ensemble de données D à mémoriser est envoyé à tous les détonateurs électroniques 10 de l'ensemble de détonateurs électroniques connectés à la ligne bus L1.

15 Par conséquent, l'ensemble de données D est mémorisé dans les moyens d'enregistrement 12 de chaque détonateur électronique 10 de l'ensemble de détonateurs électroniques.

L'information ainsi mémorisée est ensuite disponible au niveau de n'importe lequel des détonateurs électroniques 10.

20 Par conséquent, en cas de défaillance de l'un ou l'autre des détonateurs électroniques 10, la mémorisation redondante de l'ensemble de données D permet de sécuriser la disponibilité de cette information au niveau de l'ensemble des détonateurs électroniques 10.

Alternativement, à l'étape de mémorisation S44, le nombre Nx de  
25 détonateurs électroniques 10 associés à la catégorie de retard Cx est mémorisée dans les moyens d'enregistrement 12 d'au moins un détonateur électronique 10 qui comprend cette référence de catégorie de retard Cx mémorisée dans les moyens de mémorisation 11.

Ainsi, la mémorisation du nombre Nx de détonateurs électroniques 10  
30 associés à chaque catégorie de retard Cx est répartie parmi les détonateurs électroniques 10 de chaque catégorie de retard Cx.

Pour des raisons de redondance, le nombre  $N_x$  de détonateurs électroniques 10 associés à la catégorie de retard  $C_x$  peut être mémorisé dans les moyens d'enregistrement 12 de tous les détonateurs électroniques 10 qui comprennent cette référence de catégorie de retard  $C_x$  mémorisée dans leurs  
5    moyens de mémorisation 11.

Outre le nombre total  $N$  de détonateurs électroniques et/ou le nombre  $N_x$  de détonateurs électroniques 10 de chaque catégorie de retard  $C_x$ , l'ensemble de données  $D$  à mémoriser peut également comprendre une référence  $FZ$  du front de taille parmi un ensemble de fronts de taille.

10        Dans le cadre d'une planification de tirs multiples, la référence  $FZ$  du front de taille, telle qu'associée au plan de tir lors de sa programmation comme explicité précédemment en référence à la figure 2, permet de vérifier ultérieurement, notamment avant la programmation des retards de chaque détonateur électronique, la concordance du plan de tir utilisé avec le front de taille  
15     $FZ$  à programmer.

L'ensemble de données  $D$  à mémoriser peut également comprendre le nombre  $n$  de catégories de retard  $C_x$  utilisées dans le front de taille  $FZ$ .

Le procédé d'installation des détonateurs électroniques 10 et leur lecture et programmation par le dispositif mobile de test 20 peut être terminé à  
20    ce stade.

Toutefois, il est également possible de prévoir la programmation par le dispositif mobile de test 20 du retard prédéfini associé à chaque détonateur électronique 10 selon le plan de tir.

Dans ce cas, le procédé d'installation comprend en outre une étape  
25    de sélection  $S46$  d'un modèle d'associations  $T$  tel qu'illustré à la figure 3, associant chaque catégorie de retard  $C_x$  à un retard prédéfini selon un plan de tir prédéterminé.

La sélection d'un modèle d'associations  $T$  est réalisée par un opérateur, à partir de modèles d'associations  $T$  mémorisés dans la mémoire 24  
30    du dispositif mobile de test 20.

A partir de ce modèle d'associations  $T$ , une étape de programmation  $S47$  est mise en œuvre par le dispositif mobile de test 20 : le retard prédéfini est

adressé à chaque détonateur électronique 10 selon la catégorie de retard Cx qui lui est associée. Le retard prédéfini est alors mémorisé dans les moyens d'enregistrement 12 de chaque détonateur électronique 10.

5 L'étape de programmation S47 est ainsi mise en œuvre à partir du modèle d'associations T et de la référence de catégorie de retard Cx mémorisée dans les moyens de mémorisation 12 de chaque détonateur électronique 10.

L'utilisation d'un modèle d'associations T permet de programmer simultanément le retard prédéfini dans l'ensemble des détonateurs électroniques à partir de la référence de catégorie de retard Cx mémorisée.

10 La programmation du retard dans chaque détonateur électronique 10 selon un plan de tir est ainsi facilitée.

On va décrire à présent en référence à la figure 5 le procédé de mise à feu d'un ensemble de détonateurs électroniques installés au front de taille.

15 Le procédé de mise à feu est mis en œuvre dans le dispositif de mise à feu 33 tel qu'illustré à la figure 1, qui peut être placé à longue distance du front de taille FZ et des détonateurs électroniques 10.

Par ailleurs, le procédé de mise à feu de l'ensemble des détonateurs électroniques 10 peut être mis en œuvre longtemps après l'étape d'installation des détonateurs électroniques 10 dans les trous de mines.

20 Il est donc primordial de tester, avant le déclenchement du tir, que l'ensemble des détonateurs électroniques 10 sont bien en état de fonctionnement et connectés au dispositif de mise à feu 30 pour recevoir l'ordre de mise à feu.

A cet effet, le procédé de mise à feu comprend tout d'abord une étape de connexion S51 de l'ensemble de détonateurs électroniques 10 au dispositif  
25 de mise à feu 30.

En pratique, la connexion peut être réalisée par une ligne de mise à feu L2 connectée à la ligne bus L1 à laquelle ont été connectés les détonateurs électroniques 10 au moment de l'installation au front de taille.

30 Le procédé de mise à feu comprend ensuite une étape de réception S52 d'un message adressé par chaque détonateur électronique 10.

Le dispositif de mise à feu 30 reçoit ainsi, au niveau des moyens de réception 31, un nombre N' de messages adressés par l'ensemble des détonateurs électroniques 10 connectés au dispositif de mise à feu 30.

5 L'émission des messages par les détonateurs électroniques 10 peut être spontanée, dès la mise sous tension des détonateurs électroniques 10 lors de la connexion et/ou de la mise sous tension du dispositif de mise à feu 30.

Dans un mode de réalisation alternatif, le dispositif de mise à feu 30 peut être adapté à mettre en œuvre une étape d'envoi par les moyens d'envoi 32 d'une commande de test à l'ensemble des détonateurs électroniques 10.

10 L'étape de réception S52 est alors adaptée à recevoir en réponse les messages adressés par chaque détonateur électronique 10.

Le procédé de mise à feu comprend également une étape de réception S53 de l'ensemble de données D mémorisé dans les moyens d'enregistrement 12 d'au moins un détonateur électronique 10.

15 Comme indiqué précédemment, l'ensemble des données D peut être mémorisé dans un, plusieurs ou tous les détonateurs électroniques 10 de l'ensemble de détonateurs électroniques installés au front de taille.

20 Plus particulièrement, et de manière non limitative, dans la mise en œuvre illustrée à la figure 1 pour laquelle chaque détonateur électronique 10 est associé à une catégorie de retard Cx, à l'étape de réception S52 d'un message adressé par chaque détonateur électronique 10, le message comprend en outre au moins la référence de catégorie de retard Cx mémorisée dans les moyens de mémorisation 11 du détonateur électronique 10.

25 Alternativement, le dispositif de mise à feu 30 peut être adapté à mettre en œuvre une étape d'envoi, pour chaque catégorie de retard Cx, d'une commande de test à destination du sous-ensemble de détonateurs électroniques 10 comprenant la même référence de catégorie de retard mémorisée Cx.

30 Le nombre de messages reçus correspond ainsi directement au nombre courant de détonateurs électroniques 10 associés à cette catégorie de retard Cx.

Le procédé de mise à feu comporte ensuite une étape d'extraction S54 de l'ensemble de données D d'un ensemble de valeurs V représentatif du nombre

total N de détonateurs électroniques 10 connectés au dispositif mobile de test 20 lors de l'installation de l'ensemble de détonateurs électroniques 10 au front de taille.

5 L'étape d'extraction S54 est mise en œuvre par le microprocesseur 33 du dispositif de mise à feu 30.

L'ensemble de valeurs représentatif du nombre total de détonateurs électroniques peut correspondre, comme indiqué précédemment, au nombre total N de détonateurs électroniques 10 connectés à la ligne bus L1 et/ou aux nombres Nx de détonateurs électroniques 10 associés à chaque catégorie de retard Cx, et ce pour l'ensemble prédéfini {1, ..., x, ..., n} de catégories de retard Cx.

15 A l'étape d'extraction S54, il est également possible d'extraire de l'ensemble de données D la référence FZ du front de taille concerné ainsi que le nombre n de catégories de retard Cx utilisées dans le front de taille au moment de l'installation des détonateurs électroniques 10.

Le procédé de mise à feu comprend en outre une étape de détermination S55, à partir de l'étape de réception S52 des messages adressés par chaque détonateur électronique 10, du nombre courant N' de détonateurs électroniques 10 connectés au dispositif de mise à feu 30.

20 L'étape de détermination S55 est mise en œuvre par un calculateur du microprocesseur 33 du dispositif de mise à feu 30.

Le nombre courant N' peut ainsi être calculé à partir de la somme des messages reçus à l'étape de réception S52.

25 Dans le mode de réalisation dans lequel le message réceptionné à l'étape de réception S52 comprend la référence de catégorie de retard Cx mémorisée dans chaque détonateur électronique 10, l'étape de détermination S55 est adaptée à déterminer, pour chaque catégorie de retard Cx, le nombre courant N'x de détonateurs électroniques 10 associés à cette catégorie de retard Cx.

30 Dans le mode de réalisation dans lequel les détonateurs électroniques 10 sont interrogés catégorie de retard par catégorie de retard par le dispositif de mise à feu 30, le nombre de messages reçus en réponse à chaque envoi d'une

commande de test correspond au nombre courant N'x de détonateurs électroniques 10 associés à cette catégorie de retard Cx.

Le nombre courant N'x de détonateurs électroniques 10 associés à chaque catégorie de retard Cx permet également de déterminer alternativement, par calcul de la somme, le nombre courant N' de détonateurs électroniques connectés au dispositif de mise à feu 30.

On notera ainsi qu'à partir de l'ensemble de données D transmis par les détonateurs électroniques 10, il est possible de connaître, au niveau du dispositif de mise à feu 30, les conditions d'installation des détonateurs électroniques 10 au front de taille, et notamment le nombre total N de détonateurs électroniques connectés à ligne bus L1, ainsi que le nombre Nx de détonateurs électroniques 10 associés à chaque catégorie de retard Cx.

Ces informations peuvent ainsi être transmises directement, à partir d'un ou plusieurs détonateurs électroniques 10 au dispositif de mise à feu 30 et évite tout transfert d'information par le dispositif mobile de test 20 ou tout autre support d'information.

A partir des étapes d'extraction S54 et de détermination S55, une étape de comparaison S56 est mise en œuvre par le microprocesseur 33 du dispositif de mise à feu 30.

A cette étape de comparaison S56, le nombre courant N' de détonateurs électroniques 10 connectés au dispositif de mise à feu 30 est comparé avec l'ensemble de valeurs représentatif du nombre total N de détonateurs électroniques connectés au dispositif mobile de test 20 au moment de l'installation des détonateurs électroniques 10.

Comme indiqué précédemment, le nombre courant N' est calculé à partir du nombre de messages réceptionnés à l'étape de réception S52.

A l'étape de comparaison S56, le nombre courant N' est comparé avec le nombre total N de détonateurs électroniques 10 ou avec la somme du nombre Nx de détonateurs électroniques 10 associés à chaque catégorie de retard Cx.

En pratique, le nombre courant N' est en concordance avec l'ensemble de valeurs V représentatif du nombre total N lorsque

$$N' = N$$

ou

$$N' = \sum_{x=1}^n N_x(Cx)$$

où n est le nombre de catégories de retard de l'ensemble prédéfini au moment de l'installation au front de taille des détonateurs électroniques.

5 Dans le mode de réalisation dans lequel chaque détonateur électronique 10 est associé à une catégorie de retard Cx, l'étape de comparaison S56 comprend également une comparaison, pour chaque catégorie de retard Cx, x appartenant à {1, ..., n} du nombre courant N'x de détonateurs électroniques 10 connectés au dispositif de mise à feu 30 avec le nombre Nx de détonateurs  
10 électroniques 10 associés à la catégorie de retard Cx.

En pratique, le nombre courant N'x de détonateurs électroniques 10 connectés au dispositif de mise à feu 30 est en concordance avec le nombre Nx de détonateurs électroniques 10 associés à la catégorie de retard Cx lorsque

$$N'x = Nx,$$

15 et ce pour toute catégorie de retard Cx, x appartenant à {1, ..., n}.

En fonction du résultat de la ou des comparaisons, une étape d'émission S57 d'un message de validation VAL-OK est mise en œuvre si le nombre courant N' est en concordance avec l'ensemble de valeurs représentatif du nombre total N de détonateurs électroniques connectés au dispositif mobile  
20 de test 20 au moment de l'installation, et si, pour toute les catégories de retard Cx, le nombre courant N'x est en concordance avec le nombre Nx de détonateurs électroniques 10 associés à la catégorie de retard Cx au moment de l'installation des détonateurs électroniques 10, lorsque des détonateurs électroniques associés à une catégorie de retard Cx sont mis en œuvre.

25 Cette étape d'émission S57 d'un message peut être réalisée par l'émission d'un message sonore ou d'une information ou alerte affichée sur l'écran d'affichage 35 du dispositif de mise à feu 30.

Comme indiqué précédemment, la programmation du retard prédéfini associé à chaque détonateur électronique 10 peut être mise en œuvre par le  
30 dispositif de mise à feu 30.

Dans ce cas, le procédé de mise à feu comprend une étape de sélection S58 d'un modèle d'associations T tel qu'illustré à la figure 3, associant pour chaque catégorie de retard Cx un retard prédéfini selon un plan de tir prédéterminé. La sélection du modèle d'associations T peut être mise en œuvre à partir de modèles d'associations enregistrés dans la mémoire programmable 34 du dispositif de mise à feu 30.

Lorsque plusieurs tirs sont programmés et doivent être mis en œuvre par le dispositif de mise à feu 30, la référence FZ du front de taille permet de sélectionner le modèle d'associations T correspondant au plan de tir sélectionné.

Grace au modèle d'associations T, le retard prédéfini peut être programmé simultanément dans tous les détonateurs électroniques 10, lors d'une unique étape de programmation S59.

L'étape de programmation S59 est ainsi mise en œuvre à partir du modèle d'associations T et de la référence de catégorie de retard Cx mémorisée dans les moyens de mémorisation 11 de chaque détonateur électronique 10.

En pratique, un message global, comprenant selon le modèle d'associations T, un retard prédéfini associé à chaque catégorie de retard Cx, peut être adressé à l'ensemble des détonateurs électroniques 10, la programmation de chaque retard prédéfini étant mise en œuvre en fonction de la référence de catégorie de retard Cx mémorisée dans les moyens de mémorisation 11 de chaque détonateur électronique 10.

La programmation du retard dans chaque détonateur électronique 10 selon un plan de tir est ainsi facilitée.

Après cette procédure de test et validation de la connexion de l'ensemble des détonateurs électroniques 10 par le dispositif de mise à feu 30, et éventuellement la programmation du retard associé à chaque détonateur électronique 10, une étape d'envoi S60 d'un ordre de mise à feu peut être mise en œuvre en toute sécurité pour le déclenchement du tir.

A contrario, si à l'issue de l'étape de comparaison S56, le nombre courant N' de détonateurs électroniques 10 n'est pas en concordance avec l'ensemble de valeurs V représentatif du nombre total N de détonateurs électroniques connectés au dispositif mobile de test 20 au moment de

l'installation, une étape d'émission S61 d'un message de non validation VAL-NOK est mise en œuvre.

5 Ce message VAL-NOK est adressé à l'opérateur et évite le déclenchement du tir lorsque les détonateurs électroniques 10 ne sont pas tous connectés, sont défectueux ou bien sont en nombre supérieur à ceux chargés dans les trous de mine au moment de l'installation. Ce message VAL-NOK peut également être une alerte sonore ou un message affiché sur l'écran 35 du dispositif de mise à feu 30.

10 Dans le mode de réalisation dans lequel chaque détonateur électronique 10 est associé à une catégorie de retard Cx, l'étape de comparaison S56 comprend également la comparaison pour chaque catégorie de retard Cx du nombre courant N'x de détonateurs électroniques avec le nombre Nx de détonateurs électroniques 10 associés à la catégorie de retard Cx.

15 Si le nombre courant N'x est différent du nombre Nx pour au moins une catégorie de retard Cx, l'étape d'émission S61 d'un message de non validation VAL-NOK est mise en œuvre.

20 Une étape d'identification S62 est mise en œuvre afin d'identifier la ou les catégories de retard Cf pour lesquelles le nombre courant N'f est différent du nombre Nf de détonateurs électroniques 10 comprenant la référence de catégorie de retard Cf mémorisée.

L'étape d'identification S62 permet ainsi d'indiquer à l'opérateur la ou les catégories de retard Cf pour lesquelles il existe un ou plusieurs détonateurs électroniques supplémentaires par exemple, ou un ou plusieurs détonateurs électroniques 10 défectueux, ou non connectés au dispositif de mise à feu 30.

25 En fonction de l'importance de ces détonateurs électroniques 10 défectueux dans le déroulé du tir, l'opérateur peut décider d'interrompre ou de déclencher le tir.

30 L'étape d'identification S62 permet ainsi une gestion améliorée de la mise à feu à distance, évitant d'intervenir au front de taille grâce à l'identification des détonateurs électroniques 10 défectueux dans le plan de tir.

Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits et illustrés.

En particulier, le procédé d'installation et de mise à feu peuvent être mis en œuvre en utilisant des détonateurs électroniques qui ne sont pas catégorisés en fonction d'un retard à programmer ultérieurement.

## REVENDICATIONS

1. Procédé d'installation d'un ensemble de détonateurs électroniques (10) dans des trous de mine d'un front de taille (FZ), caractérisé en ce qu'il
- 5 comprend les étapes suivantes :
- connexion (S41) desdits détonateurs électroniques (10) chargés dans les trous de mine à un dispositif mobile de test (20) ;
  - réception (S42) par ledit dispositif mobile de test (20) d'un message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) ;
  - 10 - détermination (S43) par ledit dispositif mobile de test (20) à partir dudit message adressé par chaque détonateur (10) d'un ensemble de valeurs (V) représentatif du nombre total (N) de détonateurs électroniques (10) connectés au dispositif mobile de test (20) ;
  - envoi (S44) par ledit dispositif mobile de test (20) à un ou plusieurs
  - 15 détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques (10), d'un ensemble de données (D) à mémoriser comprenant ledit ensemble de valeurs (V) représentatif du nombre total (N) de détonateurs électroniques (10) connectés au dispositif mobile de test (20) ; et
  - mémorisation (S45) dudit ensemble de données (D) dans des moyens
  - 20 d'enregistrement (12) d'un ou plusieurs détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques (10).
2. Procédé d'installation conforme à la revendication 1, caractérisé en ce qu'à l'étape d'envoi (S44), ledit ensemble de données (D) à mémoriser est
- 25 envoyé à tous les détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques (10), ledit ensemble de données (D) étant mémorisé dans des moyens d'enregistrement (12) de chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques (10).
- 30 3. Procédé d'installation conforme à l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que ledit ensemble de données (D) à mémoriser comprend en outre une référence (FZ) dudit front de taille.

4. Procédé d'installation conforme à l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit ensemble de valeurs (V) comprend le nombre total (N) de détonateurs électroniques (10) connectés au dispositif mobile de test (20).

5

5. Procédé d'installation conforme à l'une des revendications 1 à 4, chaque détonateur (10) comprenant des moyens de mémorisation (11) d'au moins une référence de catégorie de retard (Cx) choisie parmi un ensemble prédéfini de catégories de retard, caractérisé en ce que ledit procédé d'installation comprend en outre, pour chaque catégorie de retard (Cx), une étape d'émission d'une commande de test par ledit dispositif mobile de test (20) à destination d'un sous-ensemble de détonateurs électroniques (10) comprenant une même référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée et en ce qu'à l'étape de détermination (S43), ledit ensemble de valeurs (V) comprend, pour chaque catégorie de retard (Cx), le nombre (Nx) de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite même référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée.

6. Procédé d'installation conforme à l'une des revendications 1 à 5, chaque détonateur (10) comprenant des moyens de mémorisation (11) d'au moins une référence de catégorie de retard (Cx) choisie parmi un ensemble prédéfini de catégories de retard, caractérisé en ce qu'à l'étape de réception (S42) par ledit dispositif mobile de test (20) d'un message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques (10), ledit message comprend au moins la référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée dans lesdits moyens de mémorisation (11) dudit détonateur et en ce qu'à l'étape de détermination (S43), ledit ensemble de valeurs (V) comprend, pour chaque catégorie de retard (Cx), le nombre (Nx) de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite même référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée.

7. Procédé d'installation conforme à l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que ledit ensemble de données (D) à mémoriser comprend le nombre (n) de catégories de retard (Cx) dudit ensemble prédéfini de catégories de retard.

8. Procédé d'installation conforme l'une des revendications 5 à 7, caractérisé en ce qu'à ladite étape de mémorisation (S45), le nombre (Nx) de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée est mémorisé respectivement dans les moyens d'enregistrement (12) d'au moins un détonateur électronique (10) comprenant ladite référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée.

9. Procédé d'installation conforme à l'une des revendications 5 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes suivantes :

- sélection (S46) dans le dispositif mobile de test (20) d'un modèle d'associations (T) de chaque catégorie de retard (Cx) à un retard prédéfini selon un plan de tir prédéterminé ; et
- programmation (S47) d'un retard de mise à feu dans chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) à partir dudit modèle d'associations (T) et de la référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée dans les moyens de mémorisation (11) dudit détonateur (10).

10. Procédé de mise à feu d'un ensemble de détonateurs électroniques (10) installé au front de taille selon le procédé d'installation conforme à l'une des revendications 1 à 9, mis en œuvre dans un dispositif de mise à feu (30), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- connexion (S51) dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) au dispositif de mise à feu (30) ;
- réception (S52) d'un message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) ;
- réception (S53) dudit ensemble de données (D) mémorisé dans lesdits moyens d'enregistrement (12) d'un ou plusieurs détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) ;
- extraction (S54) dudit ensemble de données (D) mémorisé dudit ensemble de valeurs (V) représentatif du nombre total (N) de détonateurs électroniques (10) connectés au dispositif mobile de test (20) lors de l'installation dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) au front de taille (FZ) ;

- détermination (S55) du nombre courant (N') de détonateurs électroniques dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) connecté au dispositif de mise à feu (30) à partir du message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) ;
  - 5    - comparaison (S56) dudit nombre courant (N') avec ledit ensemble de valeurs (V) représentatif du nombre total (N) de détonateurs électroniques (10) connectés au dispositif mobile de test (20) ; et
  - émission (S57, S61) d'un message de validation d'un test si ledit nombre courant (N') est en concordance avec ledit ensemble de valeurs (V)
  - 10    représentatif du nombre total (N) et d'un message de non-validation si ledit nombre courant (N') n'est pas en concordance avec ledit ensemble de valeurs (V) représentatif du nombre total (N).
11.        Procédé de mise à feu d'un ensemble de détonateurs
- 15    électroniques (10) installé au front de taille (FZ) selon le procédé d'installation conforme à l'une des revendications 5 à 9, mis en œuvre dans un dispositif de mise à feu (30), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
- connexion (S51) dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) au dispositif de mise à feu (30) ;
- 20    - réception (S52) d'un message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques (10), ledit message comprenant au moins la référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée dans lesdits moyens de mémorisation (11) dudit détonateur (10) ;
- réception (S53) dudit ensemble de données (D) mémorisé dans lesdits
- 25    moyens d'enregistrement (12) d'un ou plusieurs détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) ;
- extraction (S54) à partir dudit ensemble de données (D) mémorisé dudit ensemble de valeurs (V) comprenant, pour chaque catégorie de retard (Cx), le nombre (Nx) de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite référence de
- 30    catégorie de retard (Cx) mémorisée;
- détermination (S55), pour chaque catégorie de retard (Cx), du nombre courant (N'x) de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite référence de

- catégorie de retard (Cx) mémorisée, à partir dudit message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) ;
- comparaison (S56), pour chaque catégorie de retard (Cx), dudit nombre courant (N'x) avec ledit nombre (Nx) de détonateurs électroniques (10)
- 5    comprenant ladite référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée ; et
- émission (S57, S61) d'un message de validation d'un test si ledit nombre courant (N'x) est égal audit nombre (Nx) de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée pour toutes les catégories de retard, et d'un message de non-validation si ledit nombre
- 10   courant (N'x) est différent dudit nombre (Nx) de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée pour au moins une catégorie de retard.

12.        Procédé de mise à feu d'un ensemble de détonateurs
- 15    électroniques (10) installé au front de taille (FZ) selon le procédé d'installation conforme à l'une des revendications 5 à 9, mis en œuvre dans un dispositif de mise à feu (30), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
- connexion (S51) dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) au dispositif de mise à feu (30) ;
- 20    - envoi, pour chaque catégorie de retard (Cx), d'une commande de test par ledit dispositif de mise à feu (30) à destination d'un sous-ensemble de détonateurs électroniques (10) comprenant une même référence de catégorie de retard mémorisée (Cx) ;
- réception (S52), pour chaque catégorie de retard, d'un message adressé par
- 25    chaque détonateur dudit sous-ensemble de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite même catégorie de retard (Cx) mémorisée ;
- réception (S53) dudit ensemble de données (D) mémorisé dans lesdits moyens d'enregistrement (12) d'un ou plusieurs détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) ;
- 30    - extraction (S54) à partir dudit ensemble de données (D) mémorisé dudit ensemble de valeurs (V) comprenant, pour chaque catégorie de retard (Cx), le nombre de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite référence de

- catégorie de retard (Cx) mémorisée ;
- détermination (S55), pour chaque catégorie de retard (Cx), du nombre courant (Nx) de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée, à partir dudit message adressé par chaque
  - 5 détonateur dudit sous-ensemble de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite même catégorie de retard (Cx) mémorisée ;
  - comparaison (S56), pour chaque catégorie de retard (Cx), dudit nombre courant (N'x) avec ledit nombre (Nx) de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée ; et
  - 10 - émission (S57, S61) d'un message de validation (d'un test si ledit nombre courant (N'x) est égal audit nombre (Nx) de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée pour toutes les catégories de retard, et d'un message de non-validation si ledit nombre courant (N'x) est différent dudit nombre (Nx) de détonateurs électroniques
  - 15 comprenant ladite référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée pour au moins une catégorie de retard.

13. Procédé de mise à feu conforme à l'une des revendications 11 ou 12, caractérisé en ce qu'à l'étape d'émission d'un message de non-validation (S61), la ou les catégories de retard (Cf) dont le nombre courant (N'f)
- 20 est différent dudit nombre (Nf) de détonateurs électroniques (10) comprenant ladite référence de catégorie de retard (Cf) mémorisée est ou sont identifiées.

14. Procédé de mise à feu conforme à l'une des revendications 11 à 13, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes suivantes :
- 25 - sélection (S58) d'un modèle d'associations (T) de chaque catégorie de retard (Cx) à un retard prédéfini selon un plan de tir prédéterminé ; et
  - programmation (S59) d'un retard de mise à feu dans chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) à partir dudit modèle
  - 30 d'associations (T) et de la référence de catégorie de retard (Cx) mémorisée dans les moyens de mémorisation (11) dudit détonateur (10).

15. Dispositif mobile de test pour la mise en œuvre du procédé d'installation conforme à l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend :
- des moyens de réception (21) d'un message adressé par chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) chargés dans des trous de mine ;
  - des moyens de détermination (23) à partir dudit message adressé par chaque détonateur (10) d'un ensemble de valeurs (V) représentatif du nombre total (N) de détonateurs électroniques (10) connectés audit dispositif mobile de test (20) ; et
  - des moyens d'envoi (22) à un ou plusieurs détonateurs dudit ensemble de détonateurs électroniques (10), d'un ensemble de données (D) à mémoriser comprenant ledit ensemble de valeurs (V) représentatif du nombre total (N) de détonateurs électroniques (10) connectés audit dispositif mobile de test (20).

16. Système de mise à feu d'un ensemble de détonateurs électroniques (10) installé au front de taille (FZ) selon le procédé d'installation conforme à l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif mobile de test (20) adapté à être connecté à une ligne bus (L1), les détonateurs électroniques (10) étant connectés à ladite ligne bus (L1), et un dispositif de mise à feu (30) adapté à être connecté à distance via une ligne de mise à feu (L2) à ladite ligne bus (L1).

17. Système de mise à feu conforme à la revendication 16, chaque détonateur dudit ensemble de détonateurs électroniques (10) comprenant des moyens de mémorisation (11) d'une référence de catégorie de retard (Cx) choisie parmi un ensemble prédéfini de catégories de retard, caractérisé en ce que chaque catégorie de retard (Cx) est identifiée par une combinaison prédéfinie d'un code numérique (x) et d'un code couleur, ledit code numérique (x) étant mémorisé comme référence de catégorie de retard (Cx) dans lesdits moyens de mémorisation (11) de chaque détonateur électronique (10).

18.       Système de mise à feu conforme à la revendication 17, caractérisé en ce que ledit code numérique (x) et ledit code couleur de chaque combinaison prédéfinie sont visibles sur au moins un emplacement choisi parmi un câble de connexion dudit détonateur électronique (10) ou un connecteur dudit
- 5   détonateur électronique à la ligne bus (L1).