

Machines de forage en service

Sécurisation des éléments
mobiles de travail

ED 6446

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée en 1947 sous l'égide de la Caisse nationale d'assurance maladie, administrée par un Conseil paritaire (employeurs et salariés).

De l'acquisition de connaissances jusqu'à leur diffusion, en passant par leur transformation en solutions pratiques, l'Institut met à profit ses ressources pluridisciplinaires pour diffuser une culture de prévention dans les entreprises et proposer des outils adaptés à la diversité des risques professionnels à tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, services de santé au travail, instances représentatives du personnel, salariés... Toutes les publications de l'INRS sont disponibles en téléchargement sur le site de l'INRS : www.inrs.fr

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS) de l'Assurance maladie - Risques professionnels, disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé notamment d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ces professionnels sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Les caisses assurent aussi la diffusion des publications éditées par l'INRS auprès des entreprises.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2021

Édition : Emmanuelle Chalaux (INRS)

Conception graphique : Julie&Gilles

Mise en pages : Valérie Latchague Causse

Illustrations : Jean-André Deledda

Moyens de prévention
Équipements | Outils de travail

Machines de forage en service

Sécurisation des éléments mobiles de travail

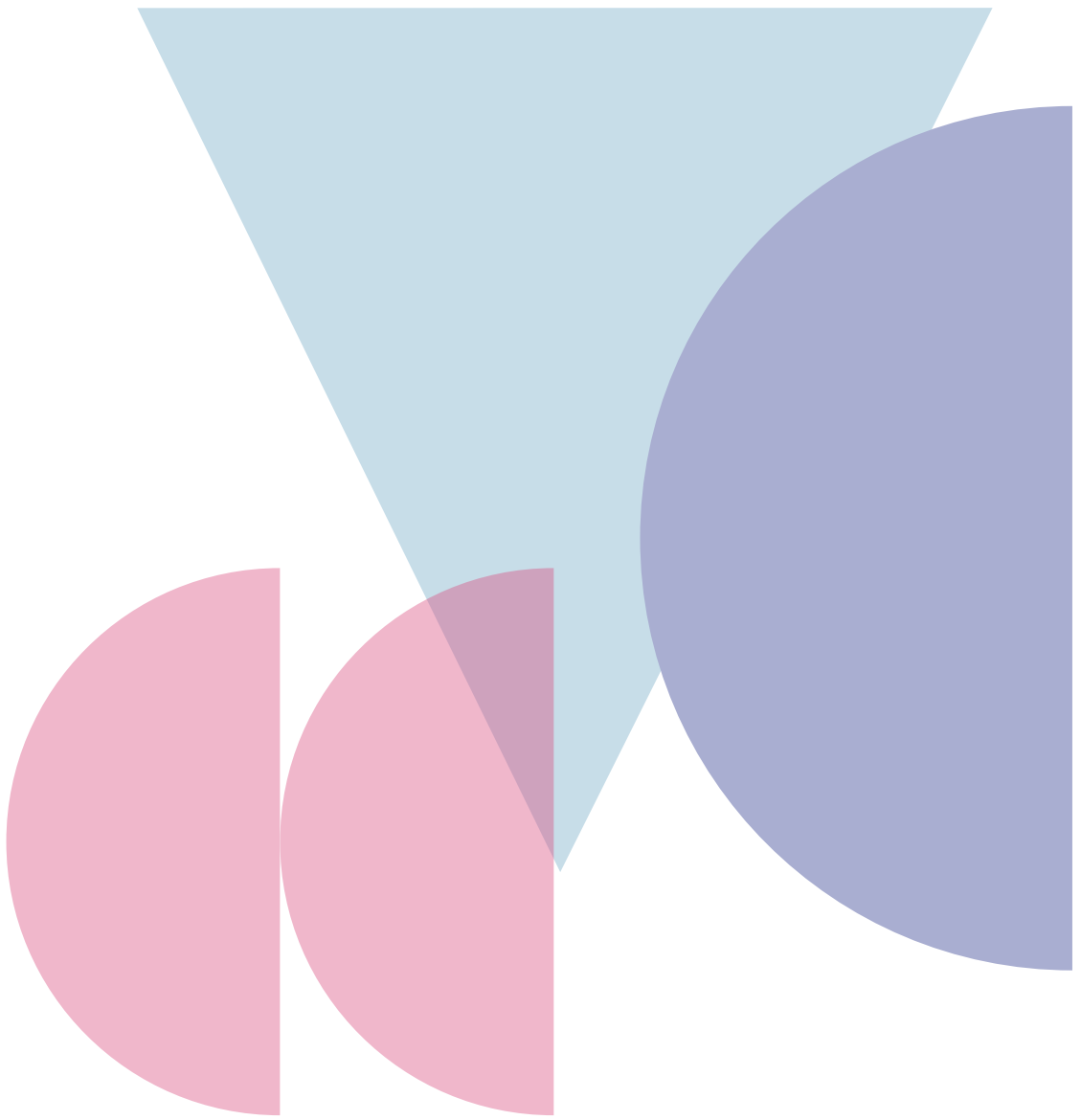
ED 6446 |
Septembre 2021

Brochure INRS élaborée par un groupe de travail piloté par J.-P. Bello et composé de représentants de la profession : OPPBTP, Soffons, UMTM, USG, de la Cramif, de la DGT et de la DRIEETS.

Sommaire

Avant-propos	5
1 Champ d'application du document	6
1.1 Types de travaux et machines	6
1.2 Risques couverts	7
2 Rappel général de la réglementation applicable à l'utilisation des machines de forage en service	8
2.1 Règles d'utilisation applicables	8
2.2 Note technique « foreuses » du 15 mai 2013	9
2.3 Modification des machines	10
3 Sécurisation des éléments mobiles de travail	11
3.1 Mouvements de rotation et d'avance du train de tiges	11
3.2 Mouvements des dispositifs de serrage	13
3.3 Mouvements des dispositifs de manutention des tiges de forage	13
4 Mise en œuvre du mode de fonctionnement « normal »	14
4.1 Généralités	14
4.2 Protecteurs	14
4.3 Dispositifs de protection	19
5 Mode de fonctionnement réduit	23
5.1 Sélection	23
5.2 Mise en œuvre	23
6 Mode de protection spéciale	25
6.1 Sélection	25
6.2 Mise en œuvre	25
6.3 Performances d'arrêt	26
6.4 Dispositifs de détection par ondes radios	27

7	Dispositifs d'arrêt supplémentaires	29
7.1	Règles générales	29
7.2	Conception	29
7.3	Implantation	30
8	Arrêts d'urgence	33
8.1	Choix et implantation	33
8.2	Mise en œuvre	33
9	Organes de commande	35
9.1	Règles générales	35
9.2	Commandes à action maintenue	35
10	Règles générales de choix des composants électriques	36
11	Circuit de commande hydraulique d'arrêt des mouvements dangereux	37
12	Mise en œuvre des fonctions de sécurité	38
13	Autres recommandations	39
14	Résumé des principales solutions techniques de prévention	40
	Annexe	
	Conditions d'essai des performances d'arrêt de la rotation de la tête de forage	42
	Bibliographie	44



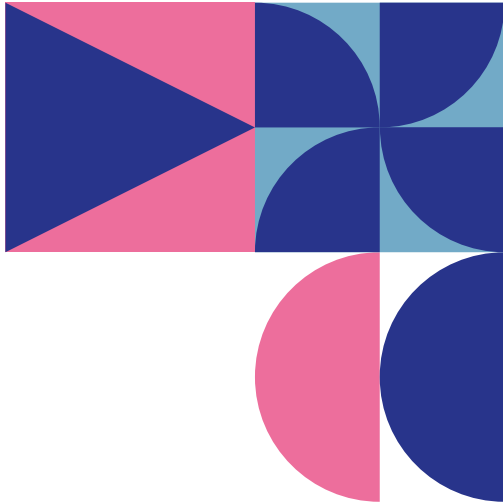
Avant-propos

Les machines de forage, principalement celles utilisées avec des outils de faible diamètre et nécessitant des interventions manuelles dans la zone de forage, peuvent présenter d'importants risques de happement des vêtements ou d'une partie du corps. Ces risques sont dus à la présence fréquente des opérateurs à proximité des éléments mobiles de travail que constituent l'outil de forage et le train de tiges.

De nombreuses améliorations relatives à la sécurité ont déjà été apportées sur une partie de ces machines consécutivement aux publications d'une note technique du ministère chargé du travail, relative aux machines de sondage géotechnique et d'un nouveau référentiel normatif relatif à la conception de toutes les machines de forage.

Cette démarche de progrès doit se poursuivre de manière à améliorer la sécurité de tous les opérateurs sur machines de forage, en ciblant notamment l'ensemble des machines réalisant des forages de faible diamètre, quelle que soit la nature des travaux effectués.

Ce document est destiné à aider les utilisateurs de machines de forage à mettre en sécurité ou à améliorer la sécurité de leurs équipements de travail.



1. Champ d'application du document

1.1 Types de travaux et machines

Le champ d'application de ce document couvre les machines de forage conçues et mises sur le marché à l'état neuf avant la mise en application de la série de normes NF EN 16228 : 2014 [15], et qui sont destinées à effectuer différents types de travaux nécessitant des outils de faible diamètre, généralement inférieur à 300 mm, tels que :

- mise en place de micropieux ;
- mise en place de tirants, clous ;
- traitement de sol ;
- jet grouting ;
- forage d'eau, géothermie ;
- forage géotechnique, sondage ;
- travaux d'accès difficile.

Le processus de forage implique généralement l'ajout de tiges de forage, de tubes ou de tarières, au fur et à mesure que le trou de forage progresse en profondeur.

Parmi ces machines, décrites dans la brochure INRS ED 6428 [7], on trouve principalement :

- des machines automotrices de forage exclusivement vertical (+/- 15° par rapport à la verticale) ;
- des machines automotrices de forage multidirectionnel ;

- des machines de forage montées sur porteur mobile (par exemple : camion, 4 x 4, etc.) ;
- des mâts de forage (équipements interchangeables) pouvant être fixées sur le bras d'un engin de chantier (pelle, chariot élévateur, etc.) ;
- des machines de forage sur châssis ou traîneaux (skid), avec centrale hydraulique intégrée ou séparée ;
- des machines de forage destinées aux travaux d'accès difficiles (TAD).

Remarque : Ces machines de forage correspondent à celles décrites dans le champ d'application de la partie 2 de la norme NF EN 16228 : 2014 et des amendements en cours de validation dans les instances de normalisation. Leur conception suit les prescriptions des parties 1, 2 et éventuellement 7 (équipements interchangeables) de cette norme.

Les machines suivantes, ne rentrent pas dans le champ d'application de ce document :

- les machines de fondation ayant un couple de rotation de la tête de forage supérieur à 35 kNm, ne nécessitant pas d'ajout/retrait des tiges/tubes/tarières pendant le processus de forage, et destinées uniquement au forage vertical (+/- 15°), comme les machines de pieux ; elles correspondent aux machines décrites dans la partie 4 de la norme ;
- les machines de forage conçues et utilisées exclusivement dans les mines et carrières.



1.2 Risques couverts

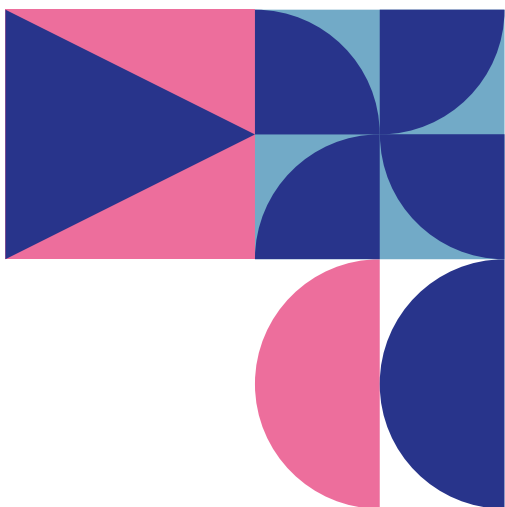
Les solutions techniques de prévention décrites dans ce document sont destinées à couvrir les risques mécaniques liés aux principaux éléments mobiles de travail des machines de forage que sont la rotation et l'avance du train de tiges, les dispositifs de serrages des tiges et, éventuellement, les systèmes mécanisés intégrés ou d'aide à la manutention des tiges. Sur ces machines, les puissances sont telles qu'elles provoquent des dommages corporels très graves à l'opérateur (voire son décès) en cas de happement.

Ces solutions, bien qu'elles s'inspirent de certaines prescriptions de la norme NF EN 16228, ne sont pas destinées à la conception des machines neuves.

Cette brochure ne s'attache pas à décrire les solutions de prévention liées aux autres facteurs de risque tels que les éléments mobiles de transmission, la mobilité de l'engin supportant l'équipement de forage, l'énergie électrique, l'énergie hydraulique...

De même, elle ne rappelle pas les obligations en termes de formation des utilisateurs, de vérifications générales périodiques de l'équipement de travail ou de port des équipements de protection individuelle (EPI) qui sont décrits dans le manuel de sécurité sur les machines de forage INRS ED 6108 [1].

Les solutions d'organisation du chantier et de prise en compte des situations spécifiques au forage sont décrites dans la brochure INRS ED 6428 [7].



2. Rappel général de la réglementation applicable à l'utilisation des machines de forage en service

2.1 Règles d'utilisation applicables

En application des articles L. 4321-1 et 2 du Code du travail, l'employeur doit s'assurer de la conformité des machines utilisées par les travailleurs sur les lieux de travail.

Sa responsabilité est engagée tout au long de la durée d'utilisation de la machine, y compris en cas de modification, et quelle que soit l'importance de cette modification.

Dans ce cadre, l'employeur doit répondre aux obligations suivantes :

- 1.** maintenir en état de conformité avec la réglementation applicable à la machine au moment de sa mise sur le marché conformément à l'article R. 4322-1 du Code du travail (disposition issue de l'article 4 de la directive 2009/104/CE relative à l'utilisation des équipements de travail) :
 - pour une machine soumise au marquage CE au sens de la directive « Machines », les règles techniques de conception contenues dans l'annexe

I introduite par la directive « Machines » dans la version en vigueur lors de la première mise sur le marché dans l'Union européenne,

- pour une machine non soumise au marquage CE (mise en service antérieure à 1995) les prescriptions techniques communes prévues aux articles R. 4324-1 et suivants du Code du travail, notamment les dispositions de la sous-section 1 relatives aux protecteurs et dispositifs de protection ;

Article 4 de la directive du 16 septembre 2009

Règles concernant les équipements de travail

1. Sans préjudice de l'article 3, l'employeur se procure ou utilise :

- a) des équipements de travail qui, mis pour la première fois à la disposition des travailleurs dans l'entreprise ou l'établissement après le 31 décembre 1992, satisfont :*
 - i) aux dispositions de toute directive communautaire pertinente applicable,*
 - ii) aux prescriptions minimales prévues à l'annexe I, dans la mesure où aucune autre directive communautaire n'est applicable, ou ne l'est que partiellement ;*
- b) des équipements de travail qui, déjà mis à la disposition des travailleurs dans l'entreprise ou l'établissement le 31 décembre 1992, satisfont au plus tard quatre ans après cette date aux prescriptions minimales prévues à l'annexe I.*

2. prendre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs conformément aux dispositions de l'article L. 4121-1 du Code du travail. L'employeur doit veiller à l'adaptation de ces mesures pour tenir compte du changement des circonstances et tendre à l'amélioration des situations existantes. Il met en œuvre ces mesures sur le fondement des principes généraux de prévention énoncés à l'article L. 4121-2 du Code du travail. Il doit notamment :

- éviter les risques ;
- évaluer les risques ;
- tenir compte de l'état de l'évolution de la technique ;
- remplacer ce qui dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux.

Concernant les machines de forage, l'évaluation des risques doit notamment permettre à l'employeur d'identifier les machines susceptibles de présenter un risque de contact avec les éléments mobiles pouvant entraîner un dommage corporel et de prendre des mesures de prévention adaptées pour supprimer ou réduire ce risque.

Remarque: Le marquage CE et l'application d'une norme harmonisée référencée au Journal officiel de l'Union européenne (JOUE) établissent une présomption de conformité de la machine conformément à l'article 7 de la directive machines 2006/42/CE. Conformément aux articles L. 4321-1 et 2 du Code du travail, l'employeur est responsable des machines mises en service et reste responsable tout au long de leur utilisation lorsque des risques subsistent et sont susceptibles d'occasionner des accidents du travail. Le marquage CE et l'application d'une norme harmonisée ne dispensent pas l'employeur d'organiser une évaluation des risques, de manière à réduire les risques susceptibles d'occasionner des accidents du travail. Les résultats de cette évaluation sont retranscrits dans le document unique.

Article L. 4321-1

Les équipements de travail et les moyens de protection mis en service ou utilisés dans les établissements destinés à recevoir des travailleurs sont équipés, installés, utilisés, réglés et maintenus de manière à préserver la santé et la sécurité des travailleurs, y compris en cas de modification de ces équipements de travail et de ces moyens de protection.

Article L. 4321-2

Il est interdit de mettre en service ou d'utiliser des équipements de travail et des moyens de protection qui ne

répondent pas aux règles techniques de conception du chapitre II et aux procédures de certification du chapitre III du titre I^{er}.

La mise en sécurité d'une machine constitue une opération de modification. L'employeur tient compte de l'évolution de la technologie, et, si cela est techniquement adapté, il peut utiliser les spécifications techniques contenues dans la version de la norme harmonisée la plus récente. Celle-ci figure dans la liste des normes harmonisées publiées au JOUE. Pour toute modification, se reporter au guide relatif aux modifications des machines [19].

2.2 Note technique « foreuses » du 15 mai 2013

Cette note avait pour double objectif de rappeler, antérieurement à la publication de la norme NF EN 16228-1 et 2 : 2014, les règles techniques minimales de sécurité applicables aux machines de forage vertical utilisées en géotechnique pour des travaux verticaux, et de demander aux employeurs la mise en sécurité des machines en service dans une période limitée.

Rappel: Le 15 mai 2013, une note technique [17] relative aux règles de sécurité applicables aux foreuses de géotechnique utilisées dans les travaux de sondage en rotation et verticaux a été publiée au bulletin officiel du ministère du travail. Cette note précise les mesures de prévention applicables aux machines neuves permettant d'assurer la protection des opérateurs contre les risques liés aux éléments mobiles. Ces mesures tiennent compte de l'état de la technique et sont pour la plupart également applicables aux machines en service. Le 23 mai 2013, un avis [18] aux fabricants, importateurs, distributeurs et utilisateurs de foreuses pour les chantiers de sondages en rotation et verticaux dans le domaine de la géotechnique a été publié au JO. Cet avis attire l'attention des responsables de la mise sur le marché des machines sur la note citée précédemment. Il est également précisé que les employeurs utilisateurs devaient mettre en conformité au plus tard pour la fin 2015 leurs machines en tenant compte de la note précitée afin d'améliorer la sécurité de leurs machines au niveau le plus élevé qu'il est techniquement possible.

2.3 Modification des machines

Au cours de sa vie, une machine de forage peut être amenée à être modifiée. Les modifications peuvent être motivées par différentes raisons : amélioration des performances de production, mise en sécurité en lien avec une obligation réglementaire ou dans le cadre d'une démarche volontaire de l'entreprise.

Ce sont des opérations par lesquelles les employeurs modifient ou font modifier pour leur propre utilisation une machine en service. Dans la mesure du possible, il est préférable de faire modifier la machine par son constructeur, qui a la connaissance de son dossier technique.

En l'absence de règles spécifiques relatives aux modifications au niveau européen et national (directive 2009/104/CE relative aux prescriptions minimales pour l'utilisation des équipements de travail et Code du travail), le guide technique relatif aux opérations de modification des machines ou des ensembles de machines en service de 2019 [19], publié par les ministères chargés du travail et de l'agriculture, détermine la notion de modification effectuée sur des machines en service. Ce guide précise ce qu'est et ce que n'est pas une modification, par exemple : ajout d'un élément ou d'une fonction, non prévue par le fabricant et non définie dans la notice d'instructions ; suppression d'un élément ou d'une fonction ; ajout d'un équipement interchangeable qui n'est pas prévu

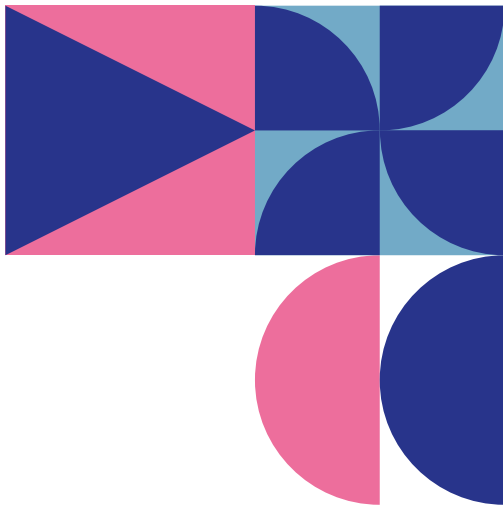
initialement par le fabricant de la machine, ou dont les caractéristiques de la ou des machines destinées à le recevoir n'ont pas été définies par le fabricant de l'équipement interchangeable. Il convient de s'y reporter lors d'une opération de modification de machine.

Dans tous les cas de figure, il convient de veiller à ne pas diminuer le niveau global de sécurité de la machine de forage déjà en service lors d'une opération de modification. De manière générale, il est recommandé d'utiliser la version la plus récente de la norme harmonisée applicable pour traiter le périmètre de l'objet de la modification. Le document présent apporte des solutions techniques de prévention identiques ou d'efficacité équivalente à celles de la norme harmonisée (NF EN 16228-1 et 2). La mise en œuvre de ces mesures devra être argumentée, justifiée et documentée.

Rappel : Toute opération de modification d'une machine doit faire l'objet :

- d'une identification et d'une évaluation des risques liés à la modification ;
- si nécessaire, de la mise en place de mesures de réduction des risques qui en découlent ;
- de l'élaboration d'un dossier de modification permettant d'assurer la traçabilité de l'opération (évaluation, schémas, plans...) ;
- d'une mise à jour de la notice d'instructions et des documents à usage des opérateurs (par exemple : fiche de poste).

En complément de ce guide, la brochure INRS ED 6289 [5] propose à l'employeur une démarche l'aidant à mettre en œuvre ses projets de modification de machine afin d'obtenir un résultat correspondant à ses besoins. Elle présente également des exemples concrets illustrant la démarche.



3. Sécurisation des éléments mobiles de travail

Les mouvements concernés sont principalement l'entraînement en rotation et l'avance du train de tiges, les mouvements des dispositifs de serrage et ceux des dispositifs d'alimentation des tiges de forage.

3.1 Mouvements de rotation et d'avance du train de tiges

3.1.1 Règles générales

Les mesures techniques à mettre en œuvre sont destinées à protéger les travailleurs contre le risque principal que représente l'entraînement ou le happement d'un vêtement ou d'une partie du corps par le train de tiges. Elles consistent :

- en priorité, à interdire l'accès aux éléments mobiles de travail potentiellement dangereux, tant qu'ils sont en mouvement, par la mise en place de protecteurs ou dispositifs de protection. (par exemple : encagement de la zone dangereuse...);
- à défaut, à limiter le risque ou réduire le dommage par la mise en place de mesures compensatoires (par exemple : commandes à action maintenue, vitesse réduite des mouvements, dispositifs d'arrêt supplémentaires...).

Mode de fonctionnement normal

Ce mode permet d'effectuer les travaux de forage dans les conditions nominales d'effort et de vitesse, sans contrainte spécifique sur la commande de ces mouvements de rotation de l'avance du train de tiges et sans limitation du type d'outil utilisé. La protection de l'opérateur est assurée par des protecteurs ou des dispositifs de protection. (Voir chapitre 4 pour les détails de sa mise en œuvre.)

Mode de fonctionnement réduit (ROM⁽¹⁾)

Ce mode est nécessaire dès lors que l'on a besoin d'accéder à proximité du train de tiges tout en autorisant les mouvements de rotation et d'avance de la tête de forage. C'est le cas notamment pour les opérations manuelles d'ajout/retrait des tiges ou tubes de forage qui nécessitent des mouvements motorisés afin de visser/dévisser les tiges et/ou approcher/éloigner la tête de forage. (Voir chapitre 5 pour les détails de sa mise en œuvre.)

Mode de protection spéciale pour des circonstances particulières

Si la machine de forage doit être utilisée pour des travaux et/ou des environnements spécifiques qui ne permettent pas l'utilisation des moyens de

1. ROM: Restricted Operating Mode.

protection prévus en mode de fonctionnement normal, un mode de protection spéciale pourra être mis en œuvre afin de permettre l'utilisation de la machine dans des conditions nominales d'effort et de vitesse. Les circonstances particulières d'utilisation de ce mode sont définies dans la brochure INRS ED 6428 [7]. (Voir chapitre 6 pour les détails de sa mise en œuvre.)

■ Cas des machines de forage équipées d'un système mécanisé intégré d'alimentation des tiges de forage (par exemple : barillet...)

Les machines de forage anciennes (antérieures à la mise en application de la norme NF EN 16228 : 2014) doivent, dans la mesure du possible, être équipées de moyens de protection empêchant l'accès aux éléments mobiles de travail pendant la phase de forage et également pendant les phases d'ajout/retrait des tiges si aucune intervention des opérateurs n'est nécessaire à proximité du train de tiges (voir plus haut « Mode de fonctionnement normal »). Si, pour certaines tâches, les opérateurs sont amenés à intervenir à proximité du train de tiges (par exemple : guidage manuel de la tige, ajout/retrait manuel après dépassement des capacités du barillet), la machine doit être équipée d'un mode de fonctionnement réduit. Si, dans certaines circonstances particulières, la machine doit forer sans ces moyens de protection actifs, elle doit alors être également équipée d'un mode de protection spéciale.

■ Cas des machines de forage alimentées par un équipement mécanisé externe

Un équipement mécanisé externe d'alimentation des tiges de forage (par exemple : minipelle équipée d'un dispositif de préhension), lorsqu'il est utilisé pour effectuer les opérations d'ajout/retrait des tiges de forage sur une machine qui n'est pas équipée d'un système mécanisé intégré d'alimentation des tiges de forage (par exemple : barillet, chargeur), permet de soulager les opérateurs des manipulations de charge répétitives, et ainsi d'améliorer l'ergonomie de ce poste de travail.

Attention !

En aucun cas, cet équipement externe n'empêche d'accéder à la zone dangereuse de la machine de forage.

Les mesures de prévention à mettre en œuvre au niveau de la machine de forage, pour couvrir les risques liés aux éléments mobiles de travail, sont identiques aux règles générales.

Si la machine est équipée de protecteurs mobiles pour la protection des opérateurs, il est recommandé de mécaniser leurs manœuvres afin de limiter les accès des opérateurs à proximité du train de tiges pendant les phases d'ajout/retrait mécanisé des tiges.

■ Performances d'arrêt des éléments mobiles de travail

Pour être efficace, la mise en œuvre de moyens de protection (protecteurs, dispositifs de protection) ou de mesures de réduction du risque (vitesse réduite, commandes à actions maintenues, dispositifs d'arrêt supplémentaires) nécessite de maîtriser les performances d'arrêt des éléments mobiles de travail, ainsi que les conditions permettant de garantir ces performances (notamment la vitesse de rotation).

Afin de choisir et de positionner correctement les moyens de protection destinés à empêcher l'atteinte des éléments mobiles en mouvement, ou pour garantir des distances d'arrêt compatibles avec la réduction du risque attendue pour certaines mesures de prévention, la personne en charge de ces modifications devra mesurer les performances d'arrêt (temps et nombre de tours) de la rotation de la tête de forage. Un protocole de mesure est proposé à titre d'exemple (voir annexe A). Les mesures obtenues devront être notées dans le dossier de modification ou dans la notice d'instructions.

3.1.2 Règles particulières pour les machines de forage destinées aux travaux d'accès difficile

Ces machines sont utilisées sur des zones de travaux rendant difficile l'accès et le déploiement de machines automotrices. On peut citer à titre d'exemple des travaux en terrain alpin tels que la pose de protections contre les chutes de pierres où les opérateurs sont attachés par des cordages. Les équipements de forage peuvent être attachés au moyen de câbles, treuils, tire-fort, ou être portés

par des engins avec des cinématiques adaptées à ces zones difficiles tels que pelle à grand bras, grue télescopique, pelle-araignée. Les énergies et couples mis en œuvre sur ces équipements sont relativement faibles et ces machines sont souvent alimentées uniquement en fluide (pneumatique ou hydraulique) par une alimentation extérieure.

Pour ces machines, les points suivants doivent être respectés :

- les mouvements de rotation sont pilotés par une action maintenue de l'opérateur sur un organe de commande (*voir chapitre 9.2*) ;
- les mouvements de rotation peuvent s'effectuer à vitesse nominale ;
- la vitesse d'avance doit être limitée à 15 m/min même en cas de libération de l'énergie accumulée (pneumatique ou hydraulique) ;
- un arrêt d'urgence, facilement accessible par l'opérateur, est prévu au poste de travail ;
- lorsque la machine est équipée de dispositifs d'arrêt supplémentaires conçus selon les principes du chapitre 7, la commande à action maintenue du mouvement de rotation n'est pas nécessaire.

Rappel : L'usage des tarières est interdit pour toutes ces machines.

3.2 Mouvements des dispositifs de serrage

Les dispositifs de serrage des tiges (mors de serrage, mors de dévissage...) sont utilisés lors des phases d'ajout/retrait des tiges de forage. De ce fait, les moyens de protection du train de tiges (protecteurs ou dispositifs de protection) ne couvrent pas les risques liés à ces éléments mobiles.

Afin d'assurer la protection des opérateurs, les dispositifs de serrage doivent être pilotés par des organes de commande à action maintenue, depuis un poste de commande (fixe ou mobile) permettant d'avoir une bonne visibilité de ces éléments mobiles.

3.3 Mouvements des dispositifs de manutention des tiges de forage

3.3.1 Dispositifs d'aide à la manutention

Les mouvements des dispositifs d'aide à la manutention (treuil, bras manipulateur...) qui nécessitent la présence d'un opérateur doivent être pilotés par des organes de commande à action maintenue depuis un poste de commande (fixe ou mobile) offrant une bonne visibilité sur leur zone d'évolution.

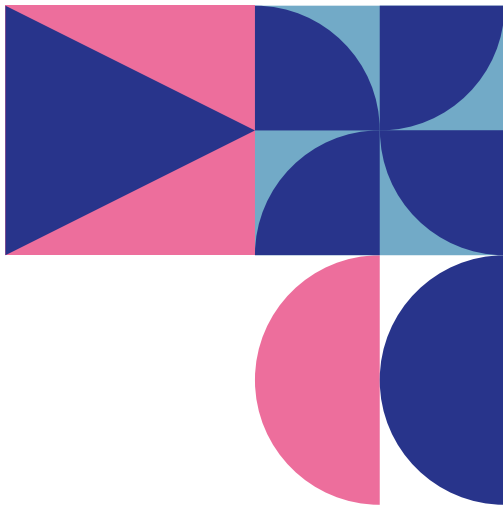
Les systèmes de préhension des éléments de forage (tiges, tubes...) doivent garantir un maintien sûr de ces éléments, notamment en cas d'absence d'énergie.

3.3.2 Système mécanisé intégré d'alimentation

Lorsque les opérations d'ajout/retrait des éléments de forage (tiges, tubes...) sont assurées par un système mécanisé intégré d'alimentation (barillet, chargeur...), les risques liés aux mouvements de ce système doivent être couverts par :

- les moyens de protection des éléments mobiles liés au forage (train de tiges), lorsqu'ils intègrent le système d'alimentation ;
- ou des protecteurs fixes ou mobiles ;
- ou des organes de commande à actions maintenues depuis un poste de commande (fixe ou mobile) offrant une bonne visibilité sur leur zone d'évolution, sans mettre en danger l'opérateur ;
- ou une combinaison de ces différents moyens de prévention.

Le maintien des éléments de forage (tiges, tubes) dans le système d'alimentation doit être garanti de manière sûre afin de résister aux conditions d'un chantier de forage (par exemple : vibrations).



4. Mise en œuvre du mode de fonctionnement « normal »

4.1 Généralités

La protection des accès aux éléments mobiles du train de tiges doit être assurée par des protecteurs fixes complétés par des protecteurs mobiles ou des dispositifs de protection permettant d'accéder au train de tiges lorsque c'est nécessaire pendant la phase d'exploitation.

Le choix des moyens de protection doit être guidé par l'analyse des risques à couvrir, les capacités de la machine d'arrêter les éléments mobiles dans un temps imparti (temps d'arrêt maximum), mais également par rapport aux contraintes spécifiques liées à l'utilisation prévisible de la machine de forage telles que :

- les conditions environnementales du chantier ;
- les conditions d'exploitation de la machine dans ces différentes phases (forage, déplacement, transport...) et dans ses différentes situations de travail (forage exclusivement en position verticale ou multidirectionnel) ;
- l'emprise des moyens de protection sur le chantier et leurs contraintes.

Lorsque les moyens de protection sont sollicités (ouverture du protecteur mobile, franchissement du champ de détection du dispositif de protection), les mouvements de rotation et d'avance doivent être arrêtés avant que l'opérateur puisse les atteindre. Dans le cas contraire (par exemple : inertie du train de tiges), la machine devra être équipée d'un protecteur mobile avec dispositif

d'interverrouillage (voir chapitre 4.2.5) empêchant l'ouverture du protecteur tant que les éléments mobiles ne sont pas considérés à l'arrêt.

Remarque : Lorsque les moyens de protection sont inactifs, les mouvements de rotation et d'avance ne peuvent être commandés qu'en mode de fonctionnement réduit.

La remise en service du mode de fonctionnement normal peut s'effectuer lorsque les moyens de protection sont actifs (protecteur mobile fermé, champ de détection d'un dispositif de protection libre), que le mode de fonctionnement réduit n'est pas sélectionné et suite à un nouvel actionnement des organes de commande.

Les dispositifs d'arrêt supplémentaires (voir chapitre 7) peuvent être actifs lorsqu'ils permettent de couvrir des risques résiduels non couverts par les moyens de protections. C'est le cas notamment pour des machines de forage multidirectionnel pour lesquelles une partie importante du train de tiges peut rester accessible.

4.2 Protecteurs

4.2.1 Règles générales

Les règles générales de conception des protecteurs sont rappelées au chapitre 6.1 de la brochure INRS ED 6122 [2].

Les protecteurs fixes de la zone de travail couvrent principalement les accès depuis l'arrière du mât de forage et tout ou partie des accès latéraux. Ils peuvent servir de support aux protecteurs mobiles ou dispositifs de protection. Ils doivent être conçus pour rester en place dans tous les modes, y compris le mode de protection spéciale.

Le protecteur mobile de la zone de travail doit notamment :

- permettre les interventions indispensables pour la mise en place et le retrait des tiges ou tubes de forage, sans démontage du protecteur ;
- être constitué d'une ou plusieurs parties qui sera ouverte à chaque intervention de l'opérateur dans la zone de travail.

Attention !

Si le protecteur de la zone de travail est un élément rapporté sur une machine qui n'en était pas équipée lors de sa conception, une attention particulière doit être apportée, notamment sur les machines de forage de petites dimensions et de faible tonnage, afin que cet élément supplémentaire ne surcharge pas la machine et n'affecte pas sa stabilité dans toutes les phases de son exploitation telles que forage, déplacement, chargement sur un véhicule porteur, etc.

4.2.2 Conception mécanique

Le dimensionnement des protecteurs de la zone de travail doit être déterminé par l'appréciation des risques afin de couvrir les accès prévisibles aux éléments mobiles de travail (train de tiges, tête de forage...).

D'une manière générale, la conception mécanique du protecteur doit respecter les prescriptions techniques de la norme NF EN ISO 14120 [14] et certaines prescriptions de la norme NF EN ISO 13857 [13] pour déterminer ses dimensions et son éloignement par rapport aux éléments dangereux. Ces caractéristiques sont rappelées dans la brochure INRS ED 6122 [2].

La conception doit également tenir compte :

- de la configuration de la machine de forage :
 - dimensions de la tête de forage,
 - présence de flexibles hydrauliques,
 - équipements présents tels que dispositifs de serrage,
 - position des stabilisateurs,
 - etc. ;

- des contraintes spécifiques liées aux opérations de forage :

- sondage, fondations,
- introduction de sonde de mesure, prélèvements,
- injection (boues, béton),
- forage à proximité d'obstacles (encombrement, accessibilité),
- nécessité de visualiser le train de tiges ou les points de jonction entre les tiges,
- etc.

Enfin, deux critères sont déterminants pour le dimensionnement du protecteur : la limitation des accès par-dessus et par-dessous la protection, et celle au travers du protecteur.

Limitation des accès par-dessus et par-dessous le protecteur

Lorsque l'appréciation des risques ne met pas en évidence de phénomènes dangereux significatifs liés aux mouvements d'avance de la tête de forage, la protection des éléments mobiles de travail du train de tiges peut se limiter à la protection des parties en rotation. Dans ce cas, les dimensions des protecteurs peuvent être réduites en respectant les valeurs suivantes, définies au chapitre 5.5 de la norme NF EN 16228-2 : 2014 et illustrées sur la figure 1 (page suivante) :

- la hauteur maximale du bord inférieur du protecteur doit être de 500 mm par rapport au pied de mât⁽²⁾(L1) ou de 200/120⁽³⁾ mm maximum au-dessus du dispositif de serrage supérieur ou du guide tige (L2) ;
- et le niveau supérieur du protecteur doit empêcher l'accès non intentionnel aux éléments mobiles au minimum jusqu'à 1 600 mm par rapport au niveau du pied de mât⁽²⁾ ou de la plateforme sur laquelle des personnes ont un accès au cours des opérations (H1) ;
- et si la machine de forage est conçue pour fonctionner avec une inclinaison du mât supérieure à 15° par rapport à la verticale (machine de forage multidirectionnel), le niveau supérieur du protecteur doit empêcher l'accès non intentionnel aux

2. En position verticale, le pied de mât est généralement appuyé sur le sol.

3. Cette valeur maximum de 200 mm est réduite à 120 mm dans les amendements de la norme NF EN 16228. Cette modification normative n'a pas d'effet rétroactif sur les machines conçues avant sa date de parution. Il en est de même pour les machines déjà mises en sécurité avant la publication de ce document.

éléments mobiles au minimum jusqu'à 1 200 mm au-dessus du dispositif de serrage supérieur ou du guide tige (H2).

■ Limitation des accès au travers du protecteur

Lorsqu'il n'existe aucun risque d'écrasement ou de cisaillement mais seulement un risque de happement, les dispositions suivantes peuvent se substituer à la règle générale définie au tableau 4 de la norme EN ISO 13857 :

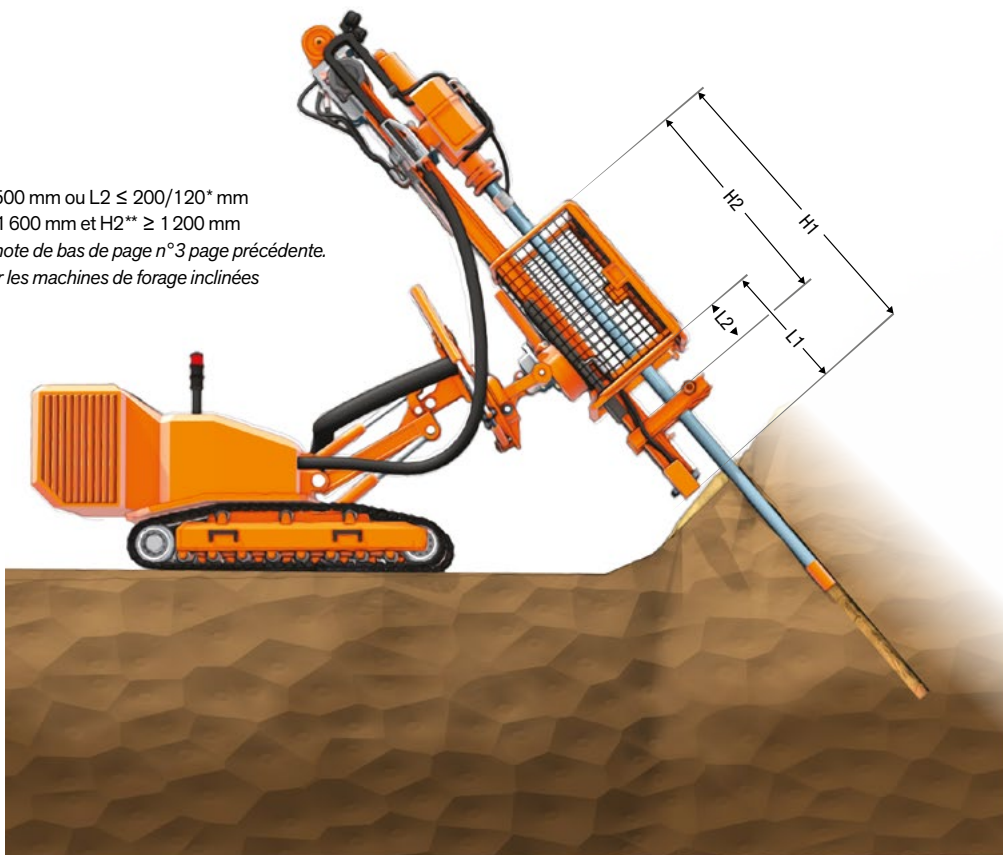
- pour les ouvertures rondes ou carrées inférieures ou égales à 20 mm, la distance minimale de sécurité doit être de 20 mm ;
- pour les ouvertures rondes ou carrées supérieures à 20 mm et inférieures ou égales à 40 mm, la distance minimale de sécurité doit être de 120 mm.

4.2.3 Protecteur mobile

■ Facilité de manœuvre

Les protecteurs mobiles donnant accès à la zone de travail peuvent être manœuvrés manuellement ou être motorisés. La manœuvre manuelle peut générer des risques mécaniques (pincement, écrasement) liés à l'effet de la pesanteur et également des troubles musculosquelettiques (TMS) liés à des gestes répétés avec des postures contraignantes; c'est le cas notamment pour les forages multidirectionnels. Le choix effectué pour ces protecteurs mobiles doit permettre de couvrir ces risques en fonction de l'usage prévisible de la machine.

$L1 \leq 500$ mm ou $L2 \leq 200/120^*$ mm
 $H1 \geq 1 600$ mm et $H2^{**} \geq 1 200$ mm
** Voir note de bas de page n°3 page précédente.*
*** Pour les machines de forage inclinées*



■ Figure 1. Illustration des dimensions minimales des protecteurs lorsque l'appréciation des risques le justifie

Les critères de charge physique de travail liée à la manœuvre manuelle des protecteurs pourront être déterminés en utilisant la brochure INRS ED 6161 [3].

Recommandation

Il est recommandé de motoriser les mouvements d'un protecteur mobile dès que ses dimensions ne sont pas compatibles avec des manœuvres manuelles fréquentes ou lorsque la machine de forage est destinée à des travaux multidirectionnels.

Lorsque les mouvements du protecteur sont motorisés, ils ne doivent pas créer de risques supplémentaires pour les opérateurs. Une solution peut consister à commander ces mouvements par une action maintenue sur un organe de commande, depuis une position offrant une complète visibilité de la zone d'évolution du protecteur.

Adaptabilité à l'environnement et à la tâche

La conception du protecteur mobile doit être telle qu'il minimise, lors de ses manœuvres, son emprise sur le chantier afin de pouvoir l'utiliser dans la majorité des travaux prévisibles. La figure 2 illustre quelques exemples de protecteurs mobiles et de leur emprise sur le chantier. Dans la mesure du possible, son côté d'ouverture doit faciliter les ajouts/retraits de tiges (par exemple : proximité avec un rack à tiges).

Protection du train de tiges uniquement

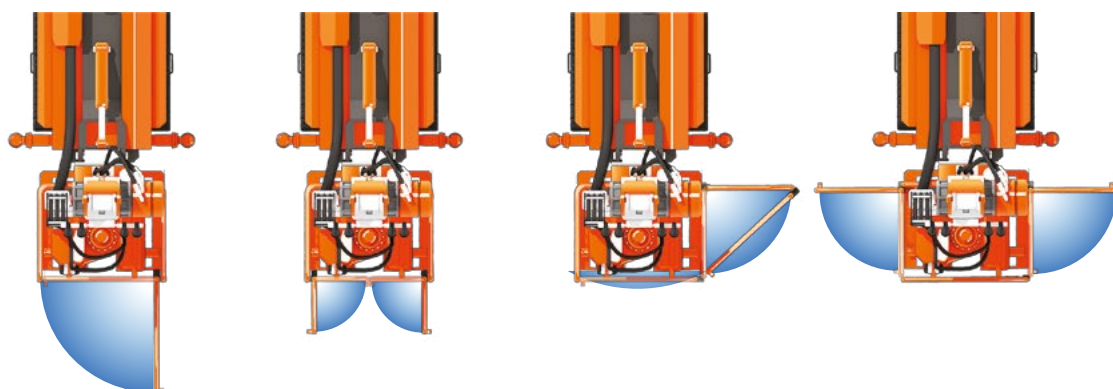
Lorsque la configuration de la machine le permet (longueur du mât suffisante, longueur des tiges de forage adaptée) et afin de minimiser l'encombrement du protecteur, une solution de protection consiste à couvrir uniquement les accès au train de tiges.

Cette solution peut être matérialisée par exemple sous forme d'une « minicage » ou d'un protecteur à soufflet.

La mise en œuvre de ce type de solution nécessite, en plus des règles précédentes détaillées dans le chapitre 4.2.3 :

- de limiter la course utile de la glissière par la mise en place d'une butée mécanique correctement dimensionnée ;
- d'utiliser un manchon (raccord d'usure) de longueur suffisante pour compenser la limitation de course ;
- d'utiliser, le cas échéant, des tiges ou tubes de forage de longueur réduite afin d'optimiser l'ergonomie du poste de travail.

Pour ces deux exemples, les dimensions intérieures de la protection doivent être adaptées au diamètre maximum des outils utilisés et tenir compte d'un espace minimal fonctionnel entre le protecteur et l'outil afin d'éviter les bourrages et faciliter l'évacuation des cuttings.



Cas 1
Ouverture frontale en une seule partie – emprise maximale si besoin d'une ouverture complète

Cas 2
Ouverture frontale en deux parties

Cas 3
Ouverture frontale et latérale avec double articulation

Cas 4
Ouverture latérale sur l'un ou l'autre des deux côtés – permet un travail au plus près d'un ouvrage

■ Figure 2. Exemples de conception de protecteurs avec mise en évidence de leur impact sur la zone de travail

Cas de la « minicage » (voir figure 3)

La « minicage » est un protecteur mécanique classique adapté à la dimension de l'outil.

Les risques potentiels dus à l'avance de la tête de forage sont quasiment nuls compte tenu de la limitation de descente de la tête par la butée. Attention néanmoins à maintenir un espace suffisant, conforme à la norme NF EN ISO 13854 [11], entre le dessous de la tête et le dessus du protecteur pour ne pas créer de risques d'écrasement ou de cisaillement.

Le cas échéant, les risques résiduels doivent être pris en compte.

Cette protection est adaptée pour les machines de forage de taille moyenne possédant une longueur utile de mât largement supérieure à la dimension des outils utilisés.



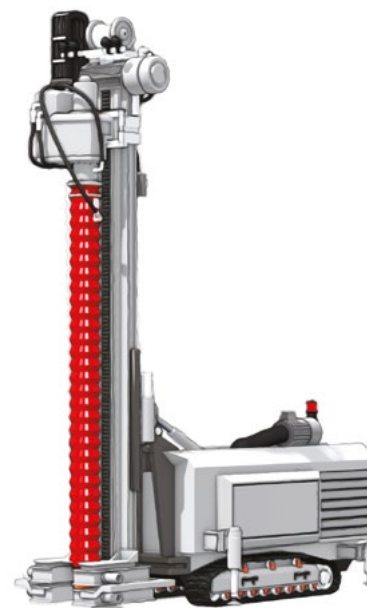
■ Figure 3. Minicage

Cas du soufflet (voir figure 4)

La limitation de course liée à l'usage d'un soufflet est proportionnelle à la hauteur du soufflet en position déployé (environ 20 %).

Pour les opérations d'ajout et de retrait des outils, l'escamotage du soufflet (relevage) peut être fait manuellement pour les petites machines mais nécessite d'être mécanisé, motorisé dès que les opérations d'ouverture/fermeture sont contraignantes pour l'opérateur.

Remarque : Ces types de protecteur peuvent être utilisés en cas de forage au pied d'un ouvrage, car ils n'augmentent pas l'encombrement au sol de la machine. Ils permettent l'utilisation du mode de fonctionnement normal. Par contre, la « minicage » n'est pas adaptée aux reprises en sous-œuvre car elle impose un mât plus long. Ces solutions peuvent, le cas échéant, être déployées sur une machine dédiée à ce type de travaux en évitant ainsi de recourir au mode de protection spéciale.



■ Figure 4. Soufflet

4.2.4 Cas des machines équipées du mode de protection spéciale

Pour ces machines, les protecteurs de la zone de travail doivent être conçus, prioritairement, pour rester fixés à la machine, par exemple être réglables, repliables, rétractables, coulissants. Lorsque cela n'est pas possible, il faut mettre en œuvre les mesures suivantes :

– utiliser des vis imperdables pour leur fixation ;

- équiper les câbles de raccordement des dispositifs de verrouillage des protecteurs mobiles avec des connecteurs ;
- prévoir des moyens de préhension afin de faciliter leur manutention manuelle ou au moyen d'appareils de levage ;
- indexer mécaniquement la position des éléments les uns par rapport aux autres afin de faciliter leur remontage.

4.2.5 Dispositif de verrouillage et d'interverrouillage

Les règles générales concernant le choix et la mise en œuvre d'un dispositif de verrouillage ou d'interverrouillage sont rappelées au chapitre 7.2 de la brochure INRS ED 6122.

Lorsqu'un dispositif d'interverrouillage est nécessaire, il doit être associé à un contrôle d'arrêt effectif des mouvements dangereux ou à une temporisation correctement calibrée par rapport au temps maximal d'arrêt des éléments mobiles et rendue indéréglable.

Dans tous les cas, les capteurs utilisés doivent être correctement positionnés ou protégés contre les risques mécaniques (chocs). Ils ne doivent pas servir de butée à la fermeture du protecteur ni servir de dispositif de maintien en position fermée du protecteur (cas des interrupteurs à clé). De même, le montage du capteur et de son actionneur (par exemple : interrupteur + clé) doit tenir compte du jeu admissible dans les manœuvres et des angles d'ouverture et de fermeture du protecteur.

Un dispositif de maintien en position fermée du protecteur, rapide à mettre en œuvre et efficace, est nécessaire pour éviter toute ouverture intempestive du protecteur qui provoquerait un arrêt des mouvements.

– et l'absence ou la défaillance d'un de leurs organes empêche la mise en marche ou provoque l'arrêt des éléments mobiles.

Remarque : Les dispositifs de détection par ondes radios (voir chapitre 6.4) ne sont pas des moyens de protection collective.

4.3.1 Règles générales

Les dispositifs de protection n'empêchent pas, physiquement, l'accès à la zone dangereuse. Ils ne sont donc utilisables que si les mouvements dangereux peuvent être arrêtés rapidement. De même, ils ne couvrent pas les risques éventuels de projection.

Ils peuvent mettre en œuvre différentes technologies de détection tels que les ESPE⁽⁴⁾ (barrière immatérielle, scrutateur laser...). Les zones de détection peuvent être matérialisées par des plans, des volumes, être fixes ou paramétrables, etc. La brochure INRS ED 6281 [4] donne des précisions sur le choix et la mise en œuvre de ces différentes technologies.

Avant de choisir un dispositif de protection, il est nécessaire de s'assurer que ses capacités de détection des personnes exposées à un risque sont compatibles avec les travaux à réaliser (analyse précise de l'activité, de la zone à protéger, du déplacement des opérateurs, des contraintes liées à l'environnement, etc.).

Remarque : Certains dispositifs de protection, bien qu'étant immatériels, peuvent générer plus de contraintes d'encombrement vis-à-vis de l'environnement que des protecteurs physiques. Ce constat peut être lié à la détection d'obstacles liés au chantier (ouvrages, arbres, autres machines situées à proximité, etc.) ou à une large zone de détection consécutive à une distance de sécurité importante liée à la technologie du dispositif de détection (par exemple : scrutateur, radar).

Le dispositif de protection de la zone de travail doit notamment :

- être de construction robuste adaptée aux conditions d'utilisation, ou convenablement protégé ;
- revendiquer une aptitude à la fonction (par exemple : détection de personnes) et des performances de sécurité (PL⁽⁵⁾, SIL⁽⁶⁾, temps de réponse, CEM⁽⁷⁾...) compatibles avec les niveaux de risques

4.3 Dispositifs de protection

Attention !

Les dispositifs de protection décrits dans ce paragraphe et destinés à protéger les opérateurs en mode de fonctionnement normal (voir chapitre 4) sont obligatoirement des **moyens de protection collective** qui répondent aux exigences ci-dessous.

Ils doivent être conçus et incorporés au système de commande de manière à ce que :

- les éléments mobiles ne puissent être mis en mouvement aussi longtemps que l'opérateur peut les atteindre ;
- les personnes ne puissent atteindre les éléments mobiles tant qu'ils sont en mouvement ;

4. ESPE : *Électro-Sensitive Protective Equipment* (équipements de protection électro-sensibles).

5. PL : *Performance Level* (niveau de performance selon ISO 13849-1).

6. SIL : *Safety Integrity Level* (niveau d'intégrité de sécurité selon CEI 61508 ou CEI 62061).

7. CEM : Compatibilité électromagnétique.

à couvrir et les conditions environnementales propres à un chantier de forage ;

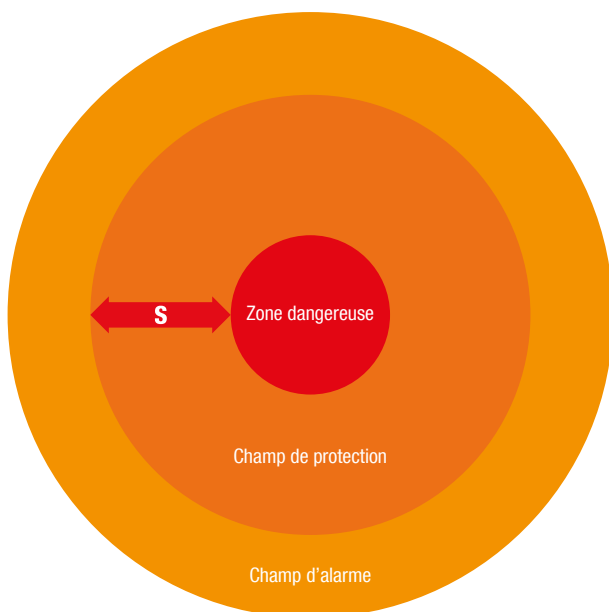
– ne pas provoquer trop d'arrêts intempestifs dus aux projections ou salissures qui peuvent être générées lors des opérations de forage. Cela peut être obtenu intrinsèquement par la technologie de détection, par une protection intégrée au dispositif ou par l'ajout de protections extérieures (par exemple : déflecteur limitant ou dirigeant les projections).

Remarque : Ces dispositifs de protection lorsqu'ils sont mis isolément sur le marché par leur fabricant sont des composants de sécurité tels que définis à l'annexe V de la directive « Machines » 2006/42/CE [16].

4.3.2 Positionnement des dispositifs de protection

■ Champ de protection

Lorsque le principe mis en œuvre par le dispositif de protection est la détection d'un opérateur, le champ de protection doit couvrir tous les accès à la zone dangereuse et dans toutes les configurations nécessaires à l'utilisation de la machine de forage (verticale, multidirectionnelle). Les dimensions du champ de protection sont déterminées à partir de la distance de sécurité S assurant un arrêt des éléments mobiles avant que l'opérateur puisse les atteindre (voir figure 5).



■ Figure 5. Représentation symbolique des champs de détection d'un dispositif de protection

Lorsque le champ de protection n'est pas matérialisé et donc invisible par les opérateurs, il sera nécessaire de prévoir un champ d'alarme afin de les informer de la proximité du champ de protection et ainsi éviter de nombreux arrêts intempestifs en production.

Remarque : Dans le cas d'utilisation d'une barrière immatérielle, le champ de protection est matérialisé par la position de l'émetteur et du récepteur et ne nécessite pas de champ d'alarme.

De même, une procédure spécifique, le cas échéant avec des outils de test, devra permettre de vérifier à intervalles réguliers le champ de protection de ce dispositif (à chaque mise en place de machine et à chaque prise de poste).

Le dimensionnement des différents champs de détection devra être représenté dans la notice d'instructions modifiée.

■ Distance de sécurité

La distance minimale de sécurité applicable entre la zone dangereuse et la limite du champ de protection doit être déterminée en suivant les prescriptions de la norme NF EN ISO 13855 [12] et notamment en utilisant l'équation générale :

$$S = (K \times T) + C$$

où :

- S (mm) est la distance minimale de sécurité,
- K (mm/s) est une constante calculée à partir des vitesses d'approche du corps ou de parties du corps,
- T (s) est le temps de réponse global incluant les temps de réponse du dispositif de détection, du circuit de commande de la machine et le temps d'arrêt des mouvements dangereux,
- C (mm) est la distance d'intrusion, du corps ou de parties du corps, dans la zone de détection avant le déclenchement du dispositif. Cette distance tient compte notamment de la sensibilité ou de la précision du dispositif (capacité à détecter des objets de taille définie) et de la position de la zone de détection par rapport à la direction d'approche de l'opérateur.

La zone dangereuse est définie par les éléments mobiles de travail potentiellement dangereux identifiés lors de l'analyse des risques. Comme pour les machines équipées de protecteurs mobiles, lorsque les mouvements d'avance de la

tête de forage ne présentent pas de risques significatifs, la protection des éléments mobiles de travail peut se limiter à la protection des parties en rotation.

■ **Zone dangereuse : définition**

Pour le mouvement de rotation du train de tiges, la zone dangereuse est définie par un cylindre de diamètre extérieur correspondant à la taille maximale de l'outil pouvant être utilisé sur la machine. Pour le mouvement d'avance de la tête de forage, la zone dangereuse est définie par les dimensions de la tête et de ses accessoires éventuels.

Limitation des accès par-dessus et par-dessous la protection

Si l'analyse des risques le justifie, les dimensions du champ de protection peuvent être réduites en respectant les valeurs suivantes :

- la hauteur maximale du bord inférieur du champ de protection doit être de 500 mm par rapport au pied de mât⁽⁸⁾ ou de 200/120⁽⁹⁾ mm maximum

au-dessus du dispositif de serrage supérieur ou du guide tige ;

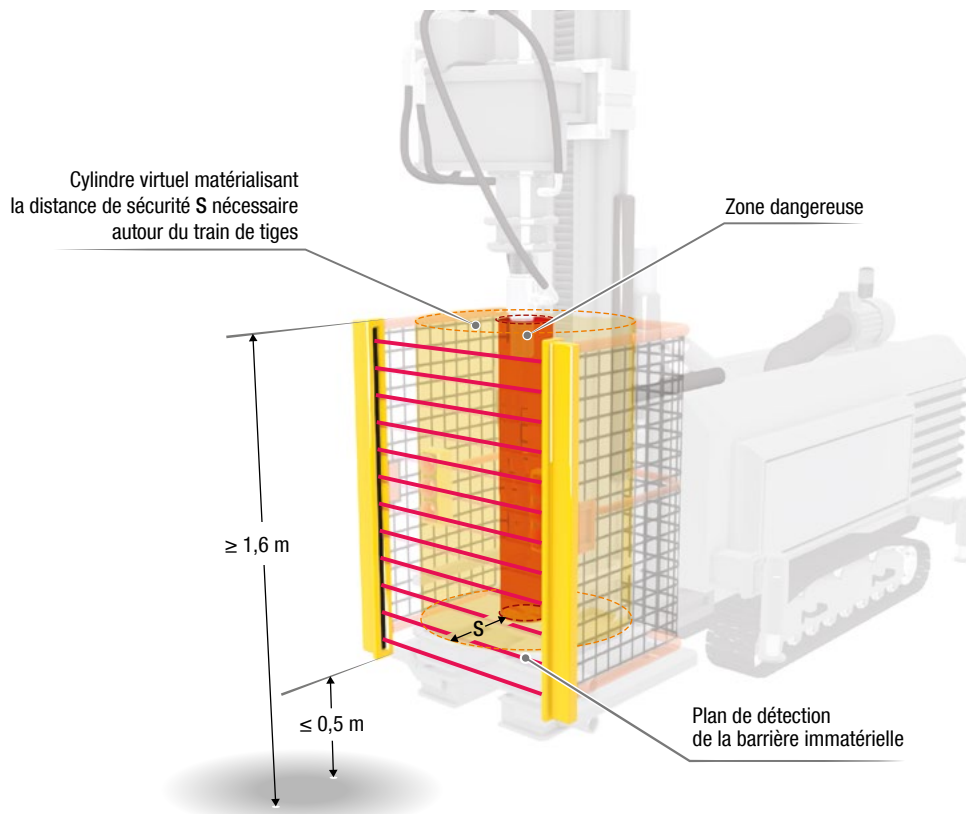
- et le niveau supérieur du champ de protection doit empêcher l'accès non intentionnel aux éléments mobiles au minimum jusqu'à 1 600 mm par rapport au niveau du pied de mât⁽⁷⁾ ou de la plateforme sur laquelle des personnes ont un accès au cours des opérations ;

- et si la machine de forage est conçue pour fonctionner avec une inclinaison du mât supérieure à 15° par rapport à la verticale (machine de forage multidirectionnel), le niveau supérieur du champ de protection doit empêcher l'accès non intentionnel aux éléments mobiles au minimum jusqu'à 1 200 mm au-dessus du dispositif de serrage supérieur ou du guide tige.

L'exemple de la figure 6 illustre le positionnement d'un dispositif de protection collective (barrière immatérielle). L'accès à la zone dangereuse est

8. En position verticale, le pied de mât est généralement appuyé sur le sol.

9. Cette valeur maximum de 200 mm est réduite à 120 mm dans les amendements de la norme NF EN 16228. Cette modification normative n'a pas d'effet rétroactif sur les machines conçues avant sa date de parution. Il en est de même pour les machines déjà mises en sécurité avant la publication de ce document.



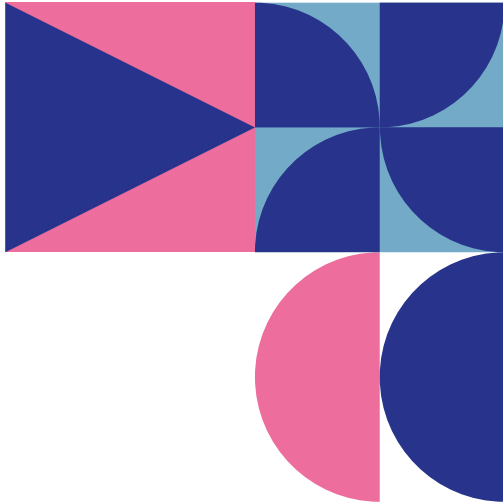
■ Figure 6. Exemple de principe du positionnement d'une barrière immatérielle

couvert sur l'arrière du mât et sur les côtés par des protecteurs fixes. Sur la face avant, le plan de détection du barrage immatériel est positionné de façon à respecter la distance de sécurité S.

4.3.3 Cas des machines équipées du mode de protection spéciale

Lorsque certaines parties (protecteurs latéraux, supports des dispositifs de protection...) doivent être retirées pour faciliter le travail, elles doivent être conçues, prioritairement, pour rester fixées à la machine, par exemple être réglables, repliables, rétractables, coulissantes. Lorsque cela n'est pas possible, il faut mettre en œuvre les mesures suivantes :

- utiliser des vis imperdables pour leur fixation ;
- équiper les câbles de raccordement des dispositifs de protection avec des connecteurs ;
- indexer mécaniquement la position des éléments les uns par rapport aux autres afin de faciliter leur remontage.



5. Mode de fonctionnement réduit

5.1 Sélection

La mise en service de ce mode se fait toujours manuellement via un sélecteur, que ce soit pour passer du mode de fonctionnement normal au mode de fonctionnement réduit, et le cas échéant pour passer du mode de protection spéciale au mode de fonctionnement réduit.

Lorsque le mode de protection spéciale est utilisé, il est nécessaire de détecter la phase d'ajout/retrait des tiges de forage afin d'obliger les opérateurs à recourir au mode de fonctionnement réduit et ainsi ne pas commander les mouvements du train de tige en vitesse nominale. Lorsque le mors de serrage est utilisé dans cette phase, une solution peut consister à détecter sa fermeture (par exemple : capteur de pression). L'état « fermé » du mors n'autorise plus le fonctionnement en mode de protection spéciale.

Remarque : Une attention particulière doit être apportée dans le cas de machines fonctionnant avec un mors de serrage de tiges et un mors de serrage de tubes lors de travaux de forage avec tubage à l'avancement. Dans ce cas particulier, cette solution ne pourra peut-être pas être mise en œuvre. Il devra alors être précisé dans la notice d'instructions modifiée que la sélection du mode réduit est obligatoire lors des opérations d'ajout/retrait des tiges/tubes de forage.

Les préconisations suivantes doivent également s'appliquer à la sélection des modes :

- après un changement de mode, un mouvement ne peut être obtenu qu'après un nouvel actionnement des commandes (passage préalable au point neutre ou point mort) ;
- en cours de commandes de mouvements, la commutation du sélecteur de mode provoque l'arrêt des mouvements de rotation et d'avance du train de tiges.

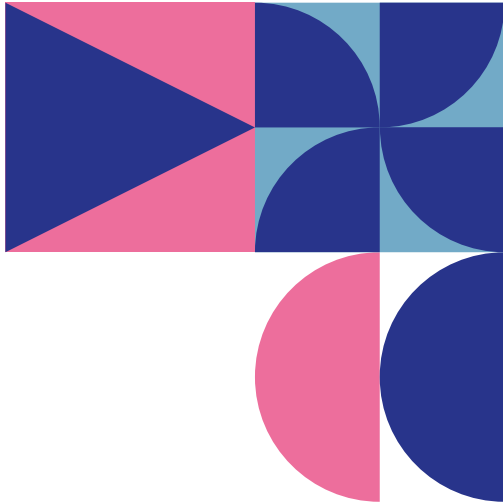
5.2 Mise en œuvre

Lorsque le mode de fonctionnement réduit est sélectionné :

- les dispositifs de verrouillage des protecteurs mobiles ou les dispositifs de protections de la zone de travail sont inhibés ;
- les mouvements de rotation et les mouvements d'avance de la tête de forage sur la glissière sont commandés par une action maintenue de l'opérateur sur les organes de commande ;
- la vitesse de rotation de la tête de forage est automatiquement limitée à une valeur maximale de 30 tr/min ou à un mouvement pas à pas, d'une valeur maximale d'un demi-tour par activation. Ces valeurs maximales ne doivent pas pouvoir être modifiées par l'opérateur. Cette limitation doit être garantie

quelles que soient les conditions de fonctionnement de la machine de forage (régime moteur, pression ou débit hydraulique, réducteur mécanique, etc.) ;

- si cela est techniquement et raisonnablement possible, la vitesse d'avance de la tête de forage doit être automatiquement limitée à une valeur maximale de 15 m/min ou à un mouvement pas à pas, d'une valeur maximale de 10 cm par activation ; ces valeurs maximales ne doivent pas pouvoir être modifiées par l'opérateur ;
- les dispositifs d'arrêt supplémentaires (*voir chapitre 7*) qui équipent la machine doivent être opérationnels ; leur sollicitation entraîne un arrêt des mouvements de rotation et d'avance du train de tiges ;
- l'arrêt du mouvement de rotation, sur sollicitation des dispositifs d'arrêt supplémentaires ou sur relâchement de l'organe de commande, doit être obtenu **en moins d'un demi-tour** ;
- une signalisation adéquate doit avertir l'opérateur que la protection principale n'est plus active.



6. Mode de protection spéciale

Une machine de forage ne peut pas être équipée uniquement du mode de protection spéciale.

Ce mode ne doit pas être installé pour pallier un mauvais choix, une mauvaise conception ou un dysfonctionnement des moyens de protection.

Il est rappelé que l'usage des tarières est interdit dans ce mode.

6.1 Sélection

La mise en service de ce mode se fait au moyen d'un sélecteur verrouillable à clé.

Remarque : Lorsque ce mode est implanté en même temps que le mode de fonctionnement réduit, il est préférable de choisir un seul sélecteur à trois positions « Normal – Réduit – Spécial » qui simplifiera les choix de l'opérateur.

Les préconisations suivantes doivent également s'appliquer à la sélection des modes :

- après un changement de mode, un mouvement ne peut être obtenu qu'après un nouvel actionnement des commandes (passage préalable au point neutre ou point mort) ;
- en cours de commandes de mouvements, la commutation du sélecteur de mode provoque l'arrêt des mouvements de rotation et d'avance du train de tiges.

6.2 Mise en œuvre

Lorsque le mode de protection spéciale est sélectionné :

- les dispositifs de verrouillage des protecteurs mobiles ou les dispositifs de protections de la zone de travail sont inhibés ;
- les mouvements de rotation et les mouvements d'avance de la tête de forage sur la glissière sont commandés par une action maintenue de l'opérateur sur les organes de commande ;
- depuis le poste de commande, fixe ou mobile (par exemple : radiocommande), l'opérateur ne doit pas pouvoir atteindre les éléments mobiles de travail (train de tiges) ;
- les dispositifs d'arrêt supplémentaires (voir chapitre 7) qui équipent la machine doivent être opérationnels ; leur sollicitation entraîne un arrêt des mouvements de rotation et d'avance du train de tiges (voir chapitre 6.3) ;
- une signalisation spécifique doit informer les opérateurs de la mise en service de ce mode.

Le cas échéant, la protection des opérateurs peut être complétée par des dispositifs de détection par ondes radio (voir chapitre 6.4) intégrés à la machine de forage.

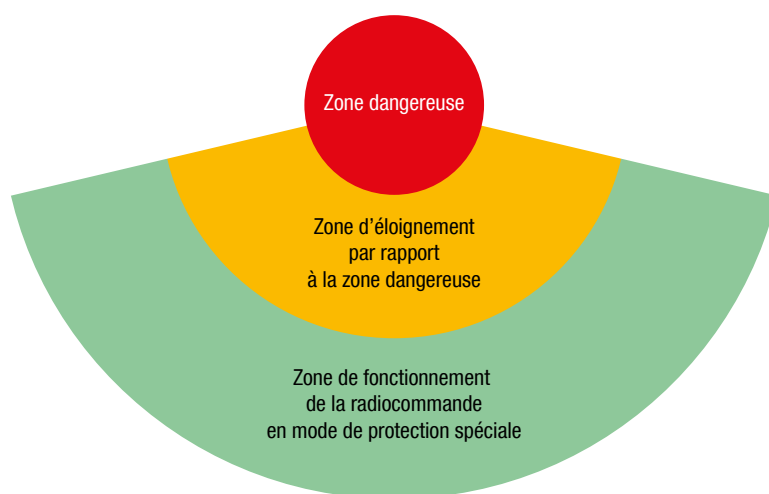
Afin de respecter l'objectif de non-atteinte des éléments mobiles de travail depuis le poste de

commande, plusieurs solutions peuvent être mises en œuvre, par exemple :

- si le pupitre de commande est fixe sur la machine de forage, cet objectif peut être atteint par son éloignement, par maintien d'une partie de la protection (par exemple : protecteur fixe, voir chapitre 4.2.1) ou par un obstacle solidaire de la machine et conçu à cet usage, situé entre le poste de commande et le train de tiges. L'opérateur doit conserver une bonne visibilité de la zone dangereuse pour en contrôler les accès éventuels ;
- si le pupitre de commande est mobile, dans ce mode il peut être :
 - soit positionné et contrôlé sur un point fixe de la machine de forage qui ne permet pas d'atteindre le train de tiges et qui offre une bonne visibilité de la zone dangereuse ;

Remarque: Plusieurs emplacements peuvent être prévus pour que la position du poste de commande s'adapte aux différentes configurations liées à l'environnement de travail.

 - soit équipé d'un système de détection intégré (par exemple : infrarouge, badge électromagnétique...) pour garantir une distance de sécurité minimale de l'opérateur par rapport à la zone dangereuse (> 2 m) et une distance maximale de la machine pour garantir un contrôle efficace des accès à la zone dangereuse par l'opérateur (voir figure 7).



■ Figure 7. Principe d'une radiocommande équipée d'un système de détection

6.3 Performances d'arrêt

En mode de protection spéciale, l'objectif d'arrêt du mouvement de rotation, en cas de sollicitation des dispositifs d'arrêt supplémentaires ou sur relâchement de l'organe de commande, est fixé à moins d'un tour.

Compte tenu des vitesses élevées qui peuvent être nécessaires en fonction des techniques de forage utilisées, si cet objectif ne peut pas être atteint pour la vitesse maximale de rotation de la tête de forage, un abaque vitesses/nombre de tours d'arrêt devra être fourni afin que l'utilisateur ait connaissance de ces valeurs et puisse, si possible, adapter la technique ou la vitesse de forage pour atteindre ou approcher cette valeur.

Dans tous les cas, cet abaque devra fournir au minimum la **vitesse maxi Vs** permettant d'atteindre l'objectif d'arrêt en moins d'un tour plus un certain nombre d'autres valeurs échelonnées jusqu'à la **vitesse maximum Vm** de la tête de forage.

Toutes ces données devront figurer dans la notice d'instructions modifiée.

Tableau 1: Exemple d'abaque vitesse / distance d'arrêt

Vitesse de rotation de la tête de forage (tr/min)	Vs	V2	V3	V4	Vm
Nombre de tours avant arrêt	1	1,5	2	2,5	3

6.4 Dispositifs de détection par ondes radios

Un système de détection par ondes radios se compose d'un badge et d'une balise. Le principe de détection est basé sur l'émission, la propagation et la réception d'une onde électromagnétique.

Attention!

Ces dispositifs ne remplacent pas les moyens de protection de la zone de travail décrits aux chapitres 4.2 et 4.3.

Ils ne permettent pas d'assurer une protection collective.

Ils peuvent compléter la protection des opérateurs, notamment dans le mode de protection spéciale.

Remarque : Les principes évoqués dans ce sous-chapitre concernent le port du badge par les opérateurs. Lorsque le badge est intégré dans le pupitre de commande mobile pour garantir son éloignement tel que suggéré au chapitre 6.2, ces différentes préconisations restent applicables. Les performances d'arrêt obtenues en cas de détection du badge dans la zone d'éloignement (voir figure 5) ne doivent pas être inférieures à celles obtenues en cas de relâchement des organes de commande, dans les mêmes conditions de vitesse.

6.4.1 Mise en œuvre

Le principe de prévention de ce dispositif de protection individuelle est la détection d'un badge qui doit être porté par les personnes exposées aux risques que l'on veut couvrir. Le système de détection installé sur la machine doit être capable de détecter toutes les personnes intervenant pour la conduite et l'utilisation de la machine (opérateur, aide-opérateur...).

Le choix de ce dispositif doit être guidé par l'analyse des risques à couvrir, les capacités de la machine d'arrêter les éléments mobiles dans un temps imparti (temps d'arrêt maximum), et également par rapport aux contraintes spécifiques à l'utilisation prévisible de la machine de forage telles que :

- les conditions environnementales du chantier ;
- les conditions d'exploitation de la machine dans ses différentes situations de travail (forage exclusivement en position verticale ou multidirectionnel) ;

- l'emprise de la zone de détection par rapport au chantier et ces contraintes.

Ce dispositif doit revendiquer une aptitude à la fonction et des performances de sécurité (PL, SIL, temps de réponse, CEM...) compatibles avec les niveaux de risques à couvrir et les conditions environnementales propres à un chantier de forage.

Lorsque le dispositif de détection par ondes radios est sollicité (badge qui pénètre dans le champ de protection), les mouvements de rotation et d'avance doivent être arrêtés avant que l'opérateur puisse les atteindre.

La remise en service des mouvements ne peut s'effectuer que lorsque le dispositif de détection par ondes radios n'est plus sollicité et que la commande des mouvements a été réinitialisée (réactionnement des organes de commande).

Comme pour tous les dispositifs de protection immatériels qui ne permettent pas la visualisation du champ de protection, il est nécessaire de disposer d'un champ d'alarme permettant de prévenir les opérateurs de l'approche du champ de protection et d'éviter ainsi des arrêts intempestifs.

Les badges doivent posséder une autonomie en énergie suffisante pour fonctionner pendant une journée de travail, avec toutes leurs fonctionnalités actives (alarme...).

6.4.2 Positionnement et distances de sécurité

Les règles définies pour le positionnement et le calcul des distances de sécurité des dispositifs de protection dans le chapitre 4.3.2 s'appliquent également pour les dispositifs de détection par ondes radios.

La formule générale $[S = (K \times T) + C]$ peut s'appliquer : avec le coefficient $K = 1\,600$ mm/s car la valeur de S sera toujours supérieure à 500 mm.

Dans le cas des badges, la valeur de C se décompose en :

- C_1 : distance entre le badge et la partie de l'opérateur la plus éloignée pouvant pénétrer dans la zone dangereuse avant détection (ces valeurs sont déterminées sur la base de données anthropométriques standardisées ex : NF EN ISO 3411 [9], majorées pour tenir compte de l'incertitude de la position du badge sur la partie du corps) ;

– C2 : tolérance sur la dimension du champ de détection et la capacité de détection du dispositif (valeur annoncée par son fabricant).

Attention !

Si le badge n'a pas une position fixe et déterminée sur l'opérateur (par exemple : implanté dans un casque, dans un vêtement de protection, etc.), la valeur la plus défavorable de C1 devra être prise en compte.

Tableau 2 : Quelques données anthropométriques issues de la norme NF EN ISO 3411 données à titre indicatif

Parties du corps	Dimensions pour un grand opérateur (mm)
Envergure (bras tendus)	1 942
Envergure (avant-bras repliés = coude à coude)	1 060
Largeur des épaules	514
Longueur des mains (du bout des doigts au poignet)	207
Longueur du bras (y compris avant-bras + main)	780

6.4.3 Exemples de distance de sécurité

Attention !

Les exemples suivants servent uniquement à illustrer le calcul de la distance de sécurité dans différents cas de figure. Aucune des données (T, C, C1, C2, S) retenues dans ces exemples n'a de valeur contractuelle.

Dans ces exemples, seule la position théorique du badge sur l'opérateur varie, ce qui influence directement le facteur C1.

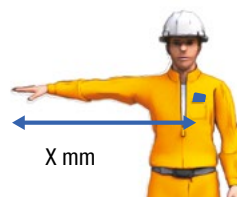
La tolérance du dispositif de détection est fixée à 100 mm.

Le temps de réponse global se décompose de la manière suivante :

- T = temps du système de détection + temps du système de commande + temps d'arrêt du mouvement (inertie) ;
- soit $T(\text{ms}) = 300 + 50 + 250$.

6.4.4 Mesures organisationnelles spécifiques aux dispositifs de détection par ondes radios

Cette mesure de prévention, pour être efficace, repose pour une part importante sur des mesures organisationnelles qui sont définies dans la brochure INRS ED 6428 [7].



Un badge poche frontale

Exemple 1 :

$$T = 300 + 50 + 250 = 600 \text{ ms} = 0,6 \text{ s}$$

$$C = 1\,150 \text{ (ex. pour X)} + 100 = 1\,250 \text{ mm}$$

$$S = 1\,600 \times 0,6 + 1\,250 = 2\,210 \text{ mm}$$



Un badge « bracelet »

Exemple 2 :

$$T = 300 + 50 + 250 = 600 \text{ ms} = 0,6 \text{ s}$$

$$C = 1\,750 \text{ (ex. pour Y)} + 100 = 1\,850 \text{ mm}$$

$$S = 1\,600 \times 0,6 + 1\,850 = 2\,810 \text{ mm}$$



Deux badges « bracelet »

Exemple 3 :

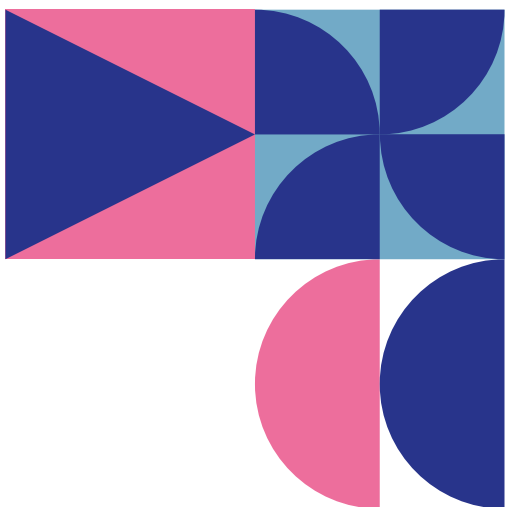
$$T = 300 + 50 + 250 = 600 \text{ ms} = 0,6 \text{ s}$$

$$C = 250 \text{ (ex. pour Z)} + 100 = 350 \text{ mm}$$

$$S = 1\,600 \times 0,6 + 350 = 1\,310 \text{ mm}$$

Note : Dans ces exemples, pour déterminer la valeur C1, on ne considère que les parties du corps normalement exposées dans le cadre de l'activité, soit les avant-bras. L'analyse des risques doit déterminer les parties du corps raisonnablement exposées.

■ Figure 8. Exemples de calcul de la distance de sécurité à appliquer suivant la position du badge



7. Dispositifs d'arrêt supplémentaires⁽¹⁰⁾

7.1 Règles générales

Rappel :

Ce sont des moyens de protection additionnels ne permettant pas d'empêcher l'accès à la zone dangereuse mais permettant de limiter la gravité du dommage en cas de happement ou d'écrasement. Ils viennent compléter la protection des opérateurs :

- soit en mode de fonctionnement normal pour couvrir des risques résiduels non couverts par les moyens de protection mis en œuvre ;
- soit dans le mode de fonctionnement réduit (voir chapitre 5) ou dans le mode de protection spéciale (voir chapitre 6), lorsque les moyens de protection principaux sont inactifs.

Attention !

Ces dispositifs ne remplacent pas les protecteurs ou dispositifs de protection utilisés en mode de fonctionnement normal (voir chapitre 4).

La sollicitation d'un dispositif d'arrêt supplémentaire doit conduire à l'arrêt des mouvements dangereux de la zone de forage (rotation et avance de la tête de forage), dans un temps compatible avec la réduction des risques attendue (voir chapitre 5.2 pour le mode de fonctionnement réduit et chapitre 6.3 pour le mode de protection spéciale).

Selon l'estimation des risques, il peut également agir sur d'autres mouvements potentiellement dangereux de cette zone tels que la fermeture des mors de serrage.

Lorsqu'il est sollicité, le dispositif d'arrêt supplémentaire doit posséder un dispositif de verrouillage (réarmement) mécanique ou être associé à un bouton-poussoir de réarmement indépendant. La reprise des mouvements de la machine de forage ne peut être autorisée qu'après l'arrêt de la sollicitation du dispositif d'arrêt supplémentaire, réarmement par une action manuelle de l'opérateur et nouvel actionnement de l'organe de commande des mouvements.

7.2 Conception

Ces dispositifs peuvent être constitués de composants activés :

- soit par actionnement mécanique / pression sur des actionneurs tels que des bords, barres ou pare-chocs sensibles, des boutons-poussoirs de type coup de poing ou champignon, des câbles d'arrêt, des plaques ou volets sensibles, etc. ;
- soit par occultation d'un champ de détection opto-électronique tels que des cellules immatérielles monofaisceau.

10. Cette terminologie remplace la précédente terminologie « Dispositifs sensibles » qui était utilisée dans la brochure INRS ED 6111, *Machines de forage en service. Sécurisation de la zone de travail.*

Dans tous les cas, ces dispositifs doivent :

- être aptes à assurer leur fonction dans les conditions environnementales d'un chantier de forage ; dans le cas de cellules monofaisceau, en plus de leur compatibilité avec l'environnement, ces dispositifs de détection devront être positionnés ou protégés afin d'éviter des arrêts intempestifs qui pourraient être générés par des amas de résidus de forage ;

- ne pas créer de risques supplémentaires de par leur forme ou leur positionnement sur la machine.

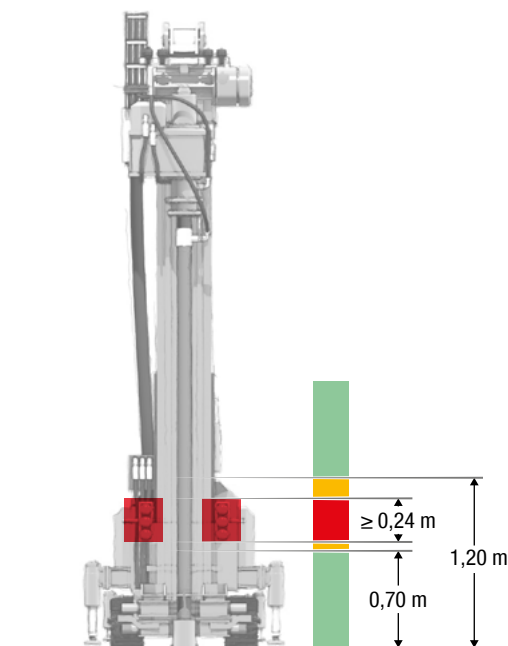
Privilégier l'utilisation de composants industriels du commerce.

Dans le cas d'utilisation de cellules monofaisceau :

- ce dispositif de protection doit être choisi pour permettre un désalignement relatif entre l'émetteur et le récepteur afin de prendre en compte les jeux et l'usure de la glissière ;

- le diamètre du faisceau doit être suffisamment important (par exemple : cellules \varnothing 30mm) pour ne pas être perturbé par des projections qui viendraient couper le faisceau ;

- l'émetteur ou le récepteur peut être mobile, par exemple en étant solidaire de la tête de forage, et l'autre partie fixe, ce qui permet de s'affranchir de l'encombrement de la tête de forage et de conserver ainsi un positionnement efficace.



■ Figure 9. Positionnement des dispositifs d'arrêt supplémentaire pour les machines de forage exclusivement vertical

7.3 Implantation

7.3.1 Règles générales

Pour être efficaces, ces dispositifs :

- doivent être correctement implantés afin de pouvoir être facilement actionnés en cas d'urgence par les opérateurs, ou une partie du corps de manière involontaire ;

- doivent pouvoir être atteints le plus tôt possible avant que le corps ou une partie du corps de l'opérateur, lorsqu'il est entraîné par le mouvement du train de tiges, ne vienne heurter un obstacle fixe ;

- doivent tenir compte des mouvements d'avance de la tête de forage et de ses accessoires (flexibles hydrauliques, tuyau d'injection...);

- doivent être situés de chaque côté de l'axe de forage et à proximité immédiate des parties en rotation ;

- ne doivent pas gêner, plus que nécessaire, les opérations normales d'ajout/retrait des tiges ou tubes de forage ;

7.3.2 Positionnement le long du mât de forage

Le positionnement par rapport au mât de forage est défini différemment selon que la machine est utilisée exclusivement verticalement ou dans toutes les directions.

■ Cas des machines de forage exclusivement vertical (+/- 15°)

Les dispositifs d'arrêt supplémentaires doivent au minimum pouvoir être actionnés dans une zone comprise entre 700 et 1 200 mm du pied de mât⁽¹¹⁾ ou du sol de référence de la machine (zone où se tient la personne amenée à manipuler les tiges de forage), tel que représenté sur la figure 9.

Les dispositifs autres que ceux à câbles et opto-électroniques doivent comporter au minimum une surface d'actionnement de 240 mm de hauteur x 80 mm de largeur (en une ou plusieurs parties, cas de l'utilisation de boutons-poussoirs).

11. En position verticale, le pied de mât est généralement appuyé sur le sol.

■ Cas des machines de forage multidirectionnel

Pour les machines pouvant être utilisées dans toutes les directions, les dispositifs d'arrêt supplémentaires doivent être opérationnels sur toute la longueur utile du mât de forage.

■ Cas des machines de forage exclusivement incliné

Pour les machines qui possèdent un mât avec une longue course utile (> 10 m) et qui sont utilisées exclusivement en position inclinée (20° par rapport à l'horizontal $\pm 10^\circ$), par exemple pour la pose de tirants d'ancrage, les dispositifs d'arrêt supplémentaires peuvent ne pas couvrir la zone située au-dessus de 1,6 m du sol quelle que soit l'orientation du mât. Les dispositifs d'arrêt supplémentaires doivent avoir la même longueur des deux côtés de l'axe de forage.

7.3.3 Positionnement par rapport à l'axe de forage

■ Cas général

Le positionnement des dispositifs d'arrêt supplémentaires, par rapport à l'axe de forage ou par rapport au diamètre extérieur de l'outil, ne peut pas être défini de façon unique pour toutes les

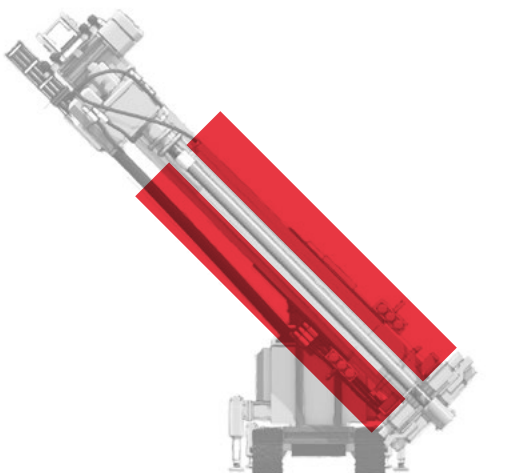
machines de forage car le positionnement idéal n'est pas toujours compatible, pour les machines en service, avec le mouvement de descente de la tête de forage ou les mouvements du système mécanisé intégré d'alimentation des tiges de forage. Il est également lié à la technologie du dispositif d'arrêt supplémentaire mis en œuvre.

La règle générale est de respecter les objectifs définis au chapitre 7.3.1 qui doivent également prendre en compte l'analyse des risques liés à chaque configuration de machine et aux différentes situations de travail envisagées, dont le cas échéant l'utilisation du mode de protection spéciale.

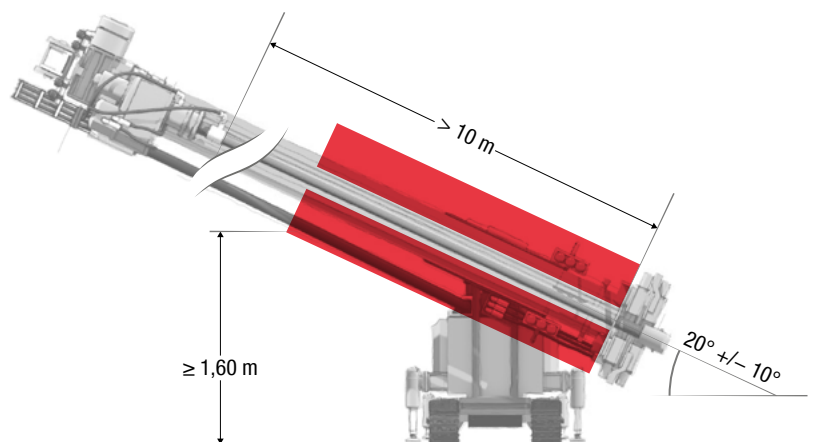
Pour les machines de forage dont l'ajout/retrait des tiges s'effectuent manuellement et pour la partie de la longueur utile⁽¹²⁾ du mât qui est inférieure ou égal à 2 m, des dimensions plus précises peuvent être définies et doivent être appliquées, dans la mesure du possible, en complément des règles générales.

Ces dimensions, données à titre indicatives dans le cadre d'une mise en sécurité de machines en service, ne remettent pas en cause le positionnement des dispositifs d'arrêt supplémentaires implantés sur des machines neuves ou sur des machines mises en sécurité antérieurement à la parution de

12. La longueur utile est située entre la partie supérieure des dispositifs de serrage ou de guidage des tiges et le dessous de la tête.



■ Figure 10. Positionnement des dispositifs d'arrêt supplémentaire pour les machines de forage multidirectionnel



■ Figure 11. Positionnement des dispositifs d'arrêt supplémentaire pour les machines de forage exclusivement inclinées

■ Dispositifs d'arrêt supplémentaires

ce document. Ces dimensions sont illustrées aux figures 12 et 13.

La zone de positionnement tient compte :

- du diamètre maximum de forage D (capacité maximum de la tête de forage ou des dispositifs de serrage) ;
- des dimensions du corps humain (EN ISO 3411 : figure 1) afin de garantir un actionnement du dispositif en cas de happement : $H \leq 300$ mm.

Les dispositifs doivent être positionnés, dans un plan parallèle à l'axe de forage et le plus proche possible de l'axe de forage.

■ Cas des dispositifs d'arrêt supplémentaires à câble

Lorsque des câbles sont utilisés comme dispositifs d'arrêt supplémentaires, afin d'assurer le meilleur positionnement et la meilleure efficacité possible, il est nécessaire de prendre en compte, en plus des règles du cas général :

- la flèche nécessaire du câble pour générer l'ordre d'arrêt (fonction de la longueur du câble et de sa tension) qui doit être < 50 mm, comme défini dans la norme NF EN 16228-1 ;
- la distance minimale entre le câble et l'obstacle le plus proche afin de s'assurer que, quelle que soit la position ou la direction d'actionnement du câble, le dispositif sensible puisse être actionné et cela, sans risque supplémentaire pour l'opérateur ; cette valeur est fixée à 100 mm ;

- la position des supports du câble afin de ne pas créer de risques supplémentaires ;
- la visibilité des câbles pour les opérateurs.

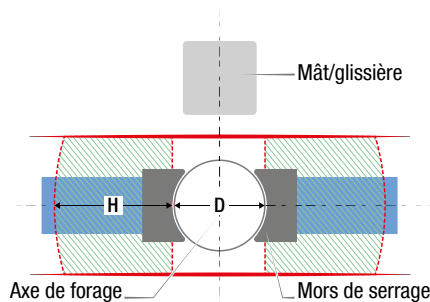
Pour déterminer le positionnement optimal des câbles en fonction de la géométrie de la machine de forage, il est nécessaire de trouver un compromis entre leur accessibilité, leur possibilité de manœuvre, la non-mise en danger de l'opérateur lors de leur actionnement et l'absence de gêne lors des opérations habituelles de conduite de la machine de forage pouvant être causée par les câbles ou leurs supports.

La rupture, la détente ou le décrochement du câble doivent provoquer les mêmes effets que son actionnement en fonctionnement normal.

Le réarmement manuel du dispositif d'arrêt supplémentaire à câble doit être facilement accessible sans accessoire (échelle) ni nécessité de monter sur un élément de la machine. En règle générale, les organes de commande doivent être situés entre 0,6 m et 1,7 m (maxi 1,9 m) au-dessus du plancher de service.

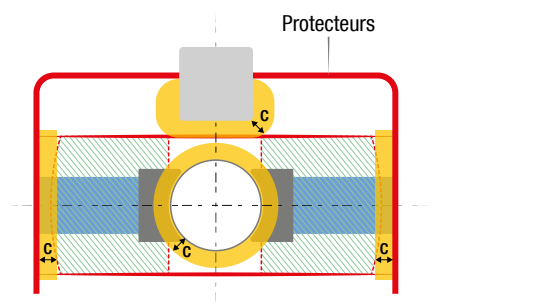
La zone de positionnement tient compte :

- des dimensions issues du positionnement théorique (voir figure 12) ;
- de la distance mini d'éloignement, à appliquer par rapport aux éléments de la foreuse (diamètre maxi de forage, mât/glissière de forage, protecteurs...) : $C \geq 100$ mm.



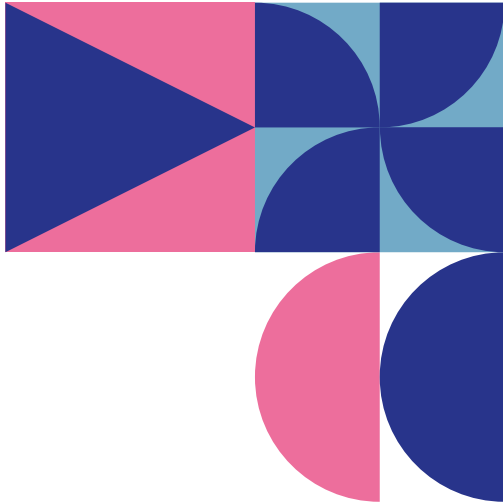
Zone de positionnement des dispositifs d'arrêt supplémentaires recommandée pour la partie de la longueur utile du mât ≤ 2 m

■ Figure 12. Positionnement théorique des dispositifs d'arrêt supplémentaires par rapport à l'axe de forage



Zone de positionnement des dispositifs d'arrêt supplémentaires : prise en compte des distances d'actionnement des dispositifs à câble

■ Figure 13. Principe de positionnement des dispositifs d'arrêt supplémentaire à câble



8. Arrêts d'urgence

Les dispositifs d'arrêt d'urgence ne doivent pas être utilisés comme substituts à des moyens de protection, mais utilisés en complément de ceux-ci.

8.1 Choix et implantation

Chaque machine doit être munie d'un nombre suffisant de dispositifs d'arrêt d'urgence facilement accessibles et clairement identifiables.

Au minimum, chaque pupitre, fixe ou mobile, de commande des mouvements liés aux opérations de forage doit être équipé d'un bouton-poussoir d'arrêt d'urgence du type coup de poing ou champignon, munis d'un dispositif d'accrochage mécanique (verrouillage). Ce bouton-poussoir doit être de couleur rouge et si un fond existe, il doit être de couleur jaune.

Lorsqu'une télécommande est utilisée pour le déplacement de la machine de forage, elle doit également disposer d'un dispositif d'arrêt d'urgence. Si un interverrouillage existe entre les fonctions de déplacement et les fonctions de commande des mouvements liés aux opérations de forage, alors ce dispositif d'arrêt d'urgence peut agir uniquement sur les fonctions de déplacement. D'autres dispositifs d'arrêt d'urgence peuvent être placés à d'autres endroits stratégiques déterminés

par l'appréciation du risque (autres faces de la machine depuis lesquelles la zone de travail est visible, zone de travail...).

Ces dispositifs doivent être positionnés de façon à être aisément accessibles, manœuvrables sans mettre en danger les opérateurs et ne pas faire obstacle aux opérations habituelles d'utilisation de la machine.

8.2 Mise en œuvre

Les dispositifs d'arrêt d'urgence doivent fonctionner suivant le principe de l'action d'ouverture directe. Les contacts électriques utilisés doivent être à manœuvre positive d'ouverture.

Les arrêts d'urgence, situés au poste de commande principal, doivent agir sur tous les mouvements dangereux de la machine de forage y compris les mouvements de déplacement de cette machine, le moteur thermique ou les mouvements-actions des accessoires liés à la machine de forage tels que la pompe d'injection des boues, etc.

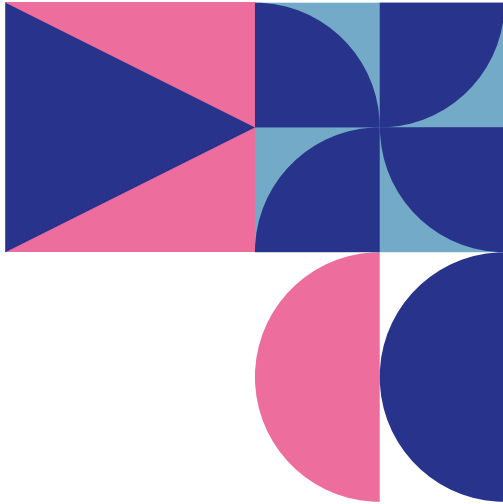
La fonction arrêt d'urgence doit être opérationnelle en permanence et prioritaire sur toutes les fonctions de marche sans altérer les éventuels moyens conçus pour libérer des personnes. De même, il peut être nécessaire d'assurer la

■ Arrêts d'urgence

continuité du fonctionnement de certains équipements auxiliaires.

Le déverrouillage du dispositif d'arrêt d'urgence ne doit pas commander à lui seul le redémarrage de la machine et des mouvements dangereux mais seulement les autoriser.

Si des dispositifs d'arrêt d'urgence peuvent être déconnectés (par exemple : cas d'arrêt d'urgence rapporté sur un mât de forage monté en bout du bras d'un engin de chantier), il ne doit pas y avoir de confusion possible entre les appareils de commande actifs et inactifs. Il est préférable que la machine ne puisse pas fonctionner si tous les appareils d'urgence ne sont pas raccordés et actifs.



9. Organes de commande

9.1 Règles générales

Les organes de commande doivent être identifiés sans ambiguïté et de façon durable. Ils doivent être conçus de manière à ce que leurs mouvements soient cohérents avec les effets commandés.

La position du poste de commande doit permettre une bonne visibilité de la zone de travail, notamment lorsque la protection des tiers (aide-foreur...), est assurée par des commandes à action maintenue.

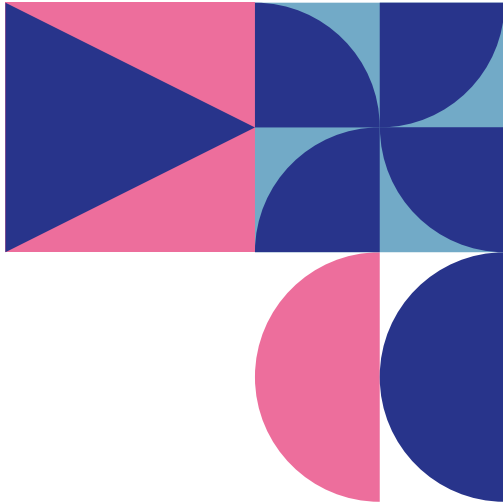
Les pupitres de commande doivent être conçus ou équipés d'un système de protection complémentaire contre les actionnements accidentels afin d'éviter toute commande involontaire des mouvements dangereux. Ce système peut être matérialisé, par exemple, par une barre.

Quel que soit le type de manettes utilisées pour la commande des mouvements liés aux opérations de forage, après un arrêt des mouvements dû à la sollicitation d'un moyen de protection, un retour au neutre des manettes de commande est nécessaire préalablement à l'obtention d'un nouvel ordre de commande. Cette fonction doit être obtenue via un contrôle automatique (électrique ou autre) de la position repos des manettes de commande.

9.2 Commandes à action maintenue

Lorsqu'une commande à action maintenue est requise (mode de fonctionnement réduit ou mode de protection spéciale, machine pour travaux d'accès difficile), que les organes de commande existant sur la machine ne permettent pas de garantir cette fonction (cas des manettes avec crantage mécanique) et qu'il n'est pas envisageable de les remplacer, une solution peut consister à mettre en place un organe de commande à action maintenue complémentaire, sous forme d'un bouton-poussoir ou autre, permettant d'assurer cette fonction. Un seul organe de validation de l'action maintenue peut être utilisé pour les deux mouvements de rotation et d'avance.

Si deux jeux de manettes sont disponibles pour assurer la même fonction (un à action maintenue et un avec blocage), seules les manettes à action maintenue doivent être opérationnelles dans les phases ou les modes nécessitant une commande à action maintenue.



10. Règles générales de choix des composants électriques

Les composants utilisés pour assurer des fonctions de sécurité (dispositifs de verrouillage, dispositifs de protection, arrêts d'urgence, etc.) doivent pouvoir fonctionner correctement dans les conditions de fonctionnement et d'environnement prévisibles.

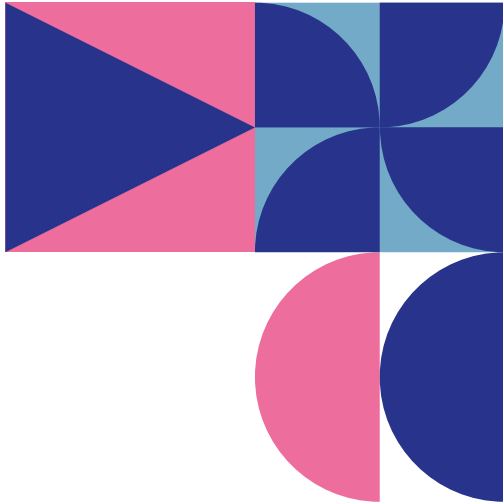
Cela implique la prise en compte des effets dus :

- aux vibrations ;
- aux chocs ;
- à la poussière ;
- aux conditions atmosphériques (température, humidité) ;
- aux conditions d'entretien (nettoyage au jet...);
- à l'utilisation éventuelle de produits corrosifs ;

- au nombre de manœuvres admissibles (cas des dispositifs de verrouillage des protecteurs mobiles) ;
- etc.

Ces composants doivent être protégés efficacement contre les intrusions de corps solides et liquides (poussière, projection d'eau, etc.). Un indice de protection IP67 est recommandé. Il peut être assuré par le composant lui-même ou par une enveloppe extérieure.

Il en est de même de leur protection contre les chocs. Un indice élevé de résistance aux chocs tels que IK8 ou 9 doit être assuré par le composant lui-même (privilégier les enveloppes métalliques) ou par une protection adaptée.



11. Circuit de commande hydraulique d'arrêt des mouvements dangereux

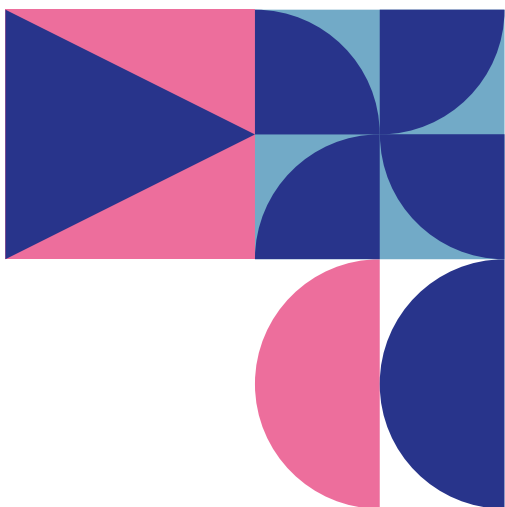
En cas de sollicitation d'un moyen de protection, l'arrêt des mouvements dangereux ne doit pas être obtenu uniquement par l'arrêt du moteur thermique de la machine de forage.

Des composants hydrauliques spécifiques (distributeurs, clapets, etc.) agissant au plus près des actionneurs de commande des mouvements dangereux (principalement la rotation du train de tiges) doivent permettre d'obtenir un arrêt le plus rapide possible des éléments mobiles dangereux indépendamment de la position de leurs organes de commande (crantage mécanique, action maintenue, etc.). Toutefois, cet arrêt brusque ne doit pas générer de nouveaux risques qui pourraient

être liés à la rupture d'éléments de liaisons (par exemple : flexibles) ou à des bris mécaniques.

Lors de l'intégration de ces différentes solutions, une attention particulière doit être portée au choix et à la mise en œuvre des composants hydrauliques ajoutés. Il faut noter l'importance des paramètres tels que :

- la qualité et le dimensionnement des composants hydrauliques ;
- la qualité du fluide et de sa filtration ;
- la variation de la température du fluide sur la stabilité des caractéristiques de fonctionnement ;
- la survenue éventuelle de coup de bélier dans les circuits ;
- etc.



12. Mise en œuvre des fonctions de sécurité

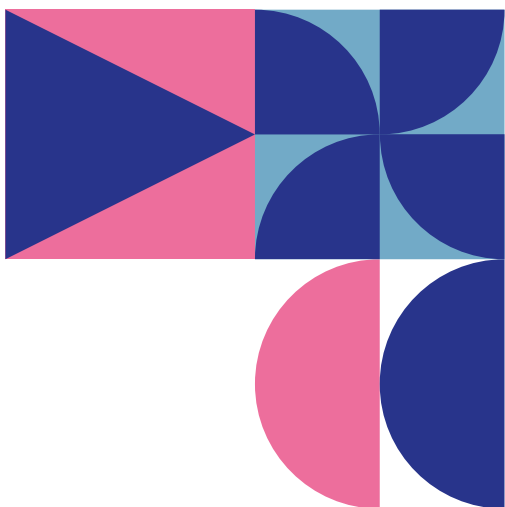
Les parties du circuit de commande, électriques, hydrauliques ou autres, participant aux fonctions d'arrêt des éléments mobiles de travail doivent être réalisées en prenant en compte les préconisations suivantes :

- l'arrêt des éléments mobiles de travail commandé par la sollicitation des moyens de protection doit avoir priorité sur les ordres de mise en marche de ces éléments mobiles ;
- l'arrêt des éléments mobiles de travail doit être obtenu par coupure d'énergie de tous les éléments constitutifs de la chaîne d'arrêt ;
- des mesures appropriées doivent être prises pour minimiser la probabilité d'apparition de situations dangereuses (non-arrêt, démarrage intempestifs...) en cas de défaillance d'un élément constitutif de la chaîne d'arrêt. Ces mesures peuvent comprendre, dans la mesure de ce qui est techniquement possible et de façon non limitative :
 - l'utilisation de principes et composants éprouvés,
 - la redondance partielle ou complète ou la diversité,
 - la mise en œuvre d'essais fonctionnels pour vérifier que les mesures de sécurité fonctionnent correctement, soit automatiquement (autocontrôle), soit manuellement par des essais à intervalles prédéterminés (par exemple quotidiennement).

De même, afin d'obtenir des performances d'arrêt compatibles avec les objectifs fixés, il est important de choisir des composants (électriques ou hydrauliques) avec des temps de commutation les

plus courts possibles, de minimiser leur nombre et de les faire agir au plus près des actionneurs. En effet, des mesures précises de performances d'arrêt effectuées sur plusieurs types de machines de forage ont montré qu'une partie importante du temps d'arrêt des éléments mobiles est consommé par le temps de réaction du circuit de commande électrique et hydraulique de la machine.

Les personnels en charge de la conception/modification des systèmes de commande relatifs à la sécurité peuvent s'appuyer sur la norme NF EN ISO 13849-1 [10] et s'inspirer des démarches et exemples fournis dans les documents INRS ED 6310 [6] et NS 302 [8].



13. Autres recommandations

■ Guide tige/tarière

Les petites machines de forage qui ne sont pas équipées avec des dispositifs de serrage des tiges (mors de serrage, mors de dévissage...) doivent au minimum être équipées d'un guide tige ou d'un guide tarière. L'utilisation de cet accessoire, ajusté au diamètre de l'outil, facilite le guidage lors de l'introduction de l'outil dans le sol (sans maintien à la main ou au pied) et évite son débattement lors du retrait du dernier tronçon.

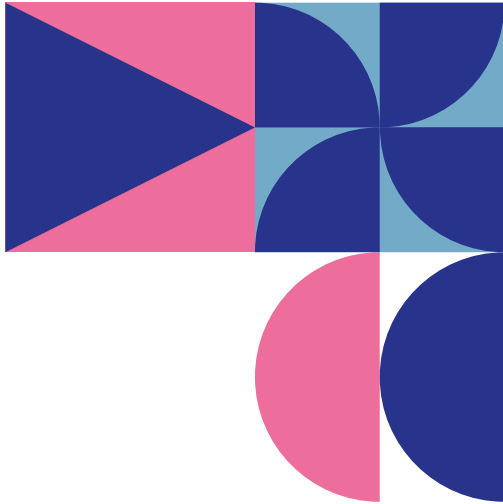
■ Entraînement des tarières (cardan)

L'entraînement des tarières est souvent obtenu au moyen d'un cardan. Lorsque c'est le cas, cet élément de transmission doit être protégé contre les accès par la mise en place d'une protection fixe (par exemple : soufflet).

Dans certains cas, ce cardan qui n'est pas indispensable peut être remplacé par une transmission rigide (manchon d'accouplement) présentant peu de risque de happement. Complété par l'utilisation d'un guide tarière correctement dimensionné, cette solution ne présente pas de contre-indication pour le forage en mode « normal ». La seule contrainte ergonomique est d'utiliser des tarières moins longues car leur accouplement doit nécessairement se faire verticalement. Certaines machines équipées d'une tête inclinable (voir figure 14) permettent de conserver la possibilité d'accoupler des tiges de forage de taille normale en les inclinant.



■ Figure 14. Exemple d'accouplement rigide avec tête de rotation inclinable



14. Résumé des principales solutions techniques de prévention

Le tableau 3 résume, pour les différents types de machines de forage et pour les différents modes de fonctionnement, les solutions techniques à mettre en œuvre dans le cadre de la mise en sécurité de machines en service.

Le tableau 4 résume les paramètres et performances d'arrêt relatifs à la rotation du train de tiges qui sont nécessaires à la mise en œuvre des solutions techniques de prévention.

Tableau 3 : Résumé des solutions techniques de prévention

Solutions techniques de prévention	Machines de forage : « verticale », « multidirectionnelle », « sur porteur », « sur châssis ou traîneaux » Mâts de forage Machines de forage équipées d'un système mécanisé intégré d'alimentation			Machines de forage TAD ^a (chapitre 3.2.1)
	Mode « normal » (chapitre 4)	Mode « réduit » (chapitre 5)	Mode « spécial » (chapitre 6)	
Protecteurs fixes	X	X	X ^b	
Protecteurs mobiles ou dispositifs de protection collective	X			
Sélecteur de mode		X	X	
Détection ajout/retrait de tiges de forage			X	
Dispositifs d'arrêt supplémentaires	X ^c	X	X	Voir note ^d
Commandes à action maintenue rotation		X	X	X ^d
Commandes à action maintenue avance		X	X	
Vitesse réduite rotation		X		
Vitesse réduite avance		X		X
Arrêt d'urgence	X	X	X	X
Dispositifs de détection par ondes radios			Voir note ^e	

a. Machines de forage destinées aux travaux d'accès difficile.

b. Une partie des protecteurs qui équipent la machine en mode « normal » reste effective.

c. Les dispositifs d'arrêt supplémentaires qui équipent la machine peuvent être actifs dans ce mode pour couvrir les risques résiduels, notamment pour les machines multidirectionnelles.

d. Si la machine est équipée de dispositifs d'arrêt supplémentaires, la commande à action maintenue n'est pas nécessaire.

e. Cette mesure optionnelle ne remplace aucune autre solution technique mais peut venir les compléter.

Tableau 4 : Résumé des paramètres et performances d'arrêt

Modes de fonctionnement	Solutions techniques de prévention	Vitesse de rotation (tr/min)	Temps d'arrêt de la rotation	Distance d'arrêt de la rotation (tr)
« Normal » (chapitre 4)	Protecteur mobile avec dispositif de verrouillage ou Dispositif de protection collective	V _m	T _m	–
« Réduit » (chapitre 5)	Relâchement organe de commande ou Sollicitation du dispositif d'arrêt supplémentaire	V _r	–	D _r
« Spécial » (chapitre 6)	Relâchement organe de commande ou Sollicitation du dispositif d'arrêt supplémentaire	V _s	–	D _s

V_m : Pas de limitation de la vitesse de rotation mais la vitesse maximale doit être prise en compte pour déterminer le temps d'arrêt maximal T_m.
T_m : Le temps d'arrêt de la rotation doit être inférieur au temps d'accès à la zone dangereuse (voir chapitre 4.3.2 pour le calcul de la distance de sécurité).

V_r : En mode de fonctionnement réduit, la vitesse de rotation doit être ≤ 30 tr/min (voir chapitre 5.2).

D_r : En mode de fonctionnement réduit, l'arrêt de la rotation doit être obtenu en moins d'un demi-tour (voir chapitre 5.2).

V_s : Pas de limitation technique de la vitesse de rotation, mais la vitesse maximale permettant de respecter la distance d'arrêt D_s doit être mesurée et notifiée dans la notice d'instructions (voir chapitre 6.3).

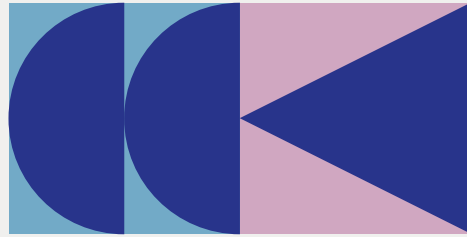
D_s : En mode de protection spéciale, l'objectif d'arrêt de la rotation est fixé à moins d'un tour pour une vitesse de rotation égale à V_s (voir chapitre 6.3).

Attention !

Lorsque certaines machines de forage en service ne peuvent pas être mises en sécurité en appliquant les solutions techniques de prévention de la norme NF EN 16228 parties 1 et 2 ou celles rappelées dans le tableau 3 avec les paramètres et performances rappelées dans le tableau 4, alors ces machines devront être écartées de l'exploitation et le cas échéant remplacées par des machines dont les solutions techniques de prévention répondent aux exigences réglementaires. Le choix de ces dernières devra être effectué en tenant compte de l'usage attendu, sur la base d'un cahier des charges fonctionnel et de sécurité qui pourra être établi sur la base de la brochure INRS ED 6428 [7].

Annexe

Conditions d'essai des performances d'arrêt de la rotation de la tête de forage



Rappel:

La mesure des performances d'arrêt du mouvement de rotation doit être effectuée si nécessaire :

- en mode de fonctionnement normal et à vitesse maximale V_m , pour le positionnement des moyens de protection ;
- en mode de fonctionnement réduit, pour vérifier la distance d'arrêt D_r à 30 tr/min ;
- en mode de protection spéciale, pour connaître la vitesse V_s permettant l'arrêt en moins d'un tour et le cas échéant pour renseigner l'abaque vitesse/distance d'arrêt.

A.1 Conditions de sécurité lors de la réalisation des mesures

La mesure des performances d'arrêt nécessite la mise en mouvement des éléments mobiles de travail liés au forage et ceci potentiellement avant leur mise en sécurité. À ce titre, les consignes de sécurité suivantes doivent être respectées :

- la commande des mouvements doit être confiée à un opérateur formé à la conduite en sécurité de ces machines et autorisé par son employeur ;
- les mouvements doivent être obtenus par des actions maintenues sur les organes de commande ;
- le positionnement des capteurs de mesure doit être effectué lorsque tous les mouvements dangereux sont à l'arrêt ;
- des précautions doivent être prises afin que les câbles de raccordement des capteurs de mesure ne présentent pas de risques d'accrochage avec les éléments mobiles en mouvement ;
- les mouvements d'arrêt brusques pouvant être générés par le dispositif d'arrêt doivent être anticipés. Vérifier le serrage des manchons, vérifier l'absence d'éléments non fixés pouvant chuter, etc. ;
- les dispositifs de sécurité présents sur la machine doivent être et rester opérationnels en toutes

circonstances. Le raccordement du dispositif d'arrêt au circuit de commande de la machine ne doit pas perturber leur fonctionnement.

A.2 Mesures

Conditions initiales

Les mesures sur les machines de forage doivent être effectuées dans les conditions suivantes :

- pour les mesures à vitesse maximale V_m , les différents éléments de puissance doivent être à leur valeur nominale maxi (moteur, boîte de vitesse...);
- la tête de forage doit avoir tourné le temps nécessaire pour atteindre sa température nominale de fonctionnement ;
- aucune tige ni aucun outil, tube ou dispositif de transmission d'outils ne doit être monté sur l'arbre de sortie de la tête de forage, à l'exception des parties nécessaires à la prise de mesure ;
- le mouvement de rotation peut être considéré comme arrêté lorsque la vitesse de rotation est inférieure à 3 tr/min.

Mesures

Les mesures suivantes doivent être effectuées :

- pour le mode normal : à la vitesse maximale indiquée dans les caractéristiques de la machine (principalement en cas de positionnement de dispositifs de protection) ;
- pour le mode réduit : à la vitesse maximale, qui peut être atteinte lorsque le mode de fonctionnement réduit est sélectionné ;
- pour le mode de protection spéciale : aux différentes valeurs de vitesse nécessaires à la constitution de l'abaque et à la détermination de V_s (voir chapitre 6.3).

Enregistrement des mesures

Pour chaque point de mesure, les données suivantes doivent être enregistrées :

- la vitesse de rotation initiale (tr/min) de l'élément mobile lorsque la commande d'arrêt est donnée ;
- le temps d'arrêt (ms) entre l'actionnement de la commande et l'arrêt du mouvement de rotation ;
- la distance parcourue par l'élément mobile entre l'actionnement de la commande et l'arrêt du mouvement de rotation. Elle est exprimée par un nombre de tours.

Réalisation des mesures

Les mesures sont effectuées en donnant un ordre d'arrêt au circuit de commande des éléments mobiles impliqués dans le processus de forage et en enregistrant les paramètres d'arrêt.

Les prescriptions suivantes doivent être appliquées :

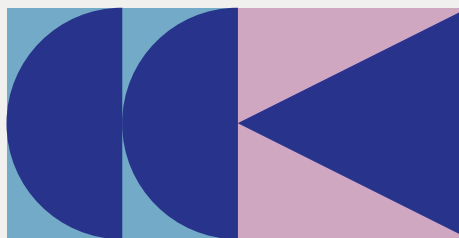
- l'ordre d'arrêt déclencheur de la mesure doit agir de façon équivalente à la sollicitation du moyen de protection ou de l'organe de commande présent sur la machine ;
- pendant la mesure, quel que soit le type de commande (maintenue ou crantée) l'opérateur doit maintenir la commande du mouvement ;
- pour chaque point effectuer trois mesures ; si l'écart entre la plus grande mesure et la plus petite est supérieur à 20 % de la moyenne, refaire deux mesures supplémentaires.

Exploitation des valeurs

Pour chaque point :

- si trois mesures ont été effectuées, faire la moyenne des trois valeurs ;
- si cinq mesures ont été effectuées, enlever la meilleure et la moins bonne des mesures, faire la moyenne des trois autres.

Bibliographie



Ouvrages INRS

Ces ouvrages sont disponibles sur <https://www.inrs.fr>.

- [1] *Machines de forage. Manuel de sécurité*, ED 6108.
- [2] *Sécurité des équipements de travail. Prévention des risques mécaniques*, ED 6122.
- [3] *Méthode d'analyse de la charge physique de travail*, ED 6161.
- [4] *Aide au choix d'un dispositif de protection sensible*, ED 6281.
- [5] *Amélioration des machines en service. Guide pratique*, ED 6289.
- [6] *Sécurité des machines. Principes de conception des systèmes de commande*, ED 6310.
- [7] *Machines de forage. Guide d'utilisation en sécurité des machines pour la construction, la géotechnique, la géothermie et le forage d'eau*, ED 6428.
- [8] *Aborder la norme NF EN ISO 13849-1 via la conception d'une fonction de sécurité basique*, NS 302.

Autres ouvrages

- [9] NF EN ISO 3411 : « Engins de terrassement. Dimensions des opérateurs et espace enveloppe minimal pour les opérateurs ».
- [10] NF EN ISO 13849-1 : « Sécurité des machines. Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. Partie 1 : Principes généraux de conception ».
- [11] NF EN ISO 13854 : « Sécurité des machines. Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain ».

[12] NF EN ISO 13855 : « Sécurité des machines. Positionnement des moyens de protection par rapport à la vitesse d'approche des parties du corps ».

[13] NF EN ISO 13857 : « Sécurité des machines. Distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses ».

[14] NF EN ISO 14120 : « Sécurité des machines. Protecteurs. Prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles ».

[15] NF EN 16228 : « Machines de forage et de fondation. Sécurité. Parties 1 à 7 ».

[16] Directive 2006/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE (refonte).

Autres documents en ligne

[17] Note technique du 15 mai 2013 relative aux règles de sécurité applicables aux foreuses de géotechnique utilisées dans les travaux de sondages en rotation et verticaux.

Disponible sur <https://travail-emploi.gouv.fr>.

[18] *JORF* n° 0117 du 23 mai 2013 page 8537 texte n° 115 : Avis aux fabricants, importateurs, distributeurs et utilisateurs de foreuses pour les chantiers de sondages en rotation et verticaux dans le domaine de la géotechnique.

Disponible sur <https://www.legifrance.gouv.fr>.

[19] Guide technique relatif aux opérations de modification des machines ou des ensembles de machines en service.

Disponible sur <https://travail-emploi.gouv.fr>.

Toutes les publications de l'INRS sont téléchargeables sur ■

www.inrs.fr

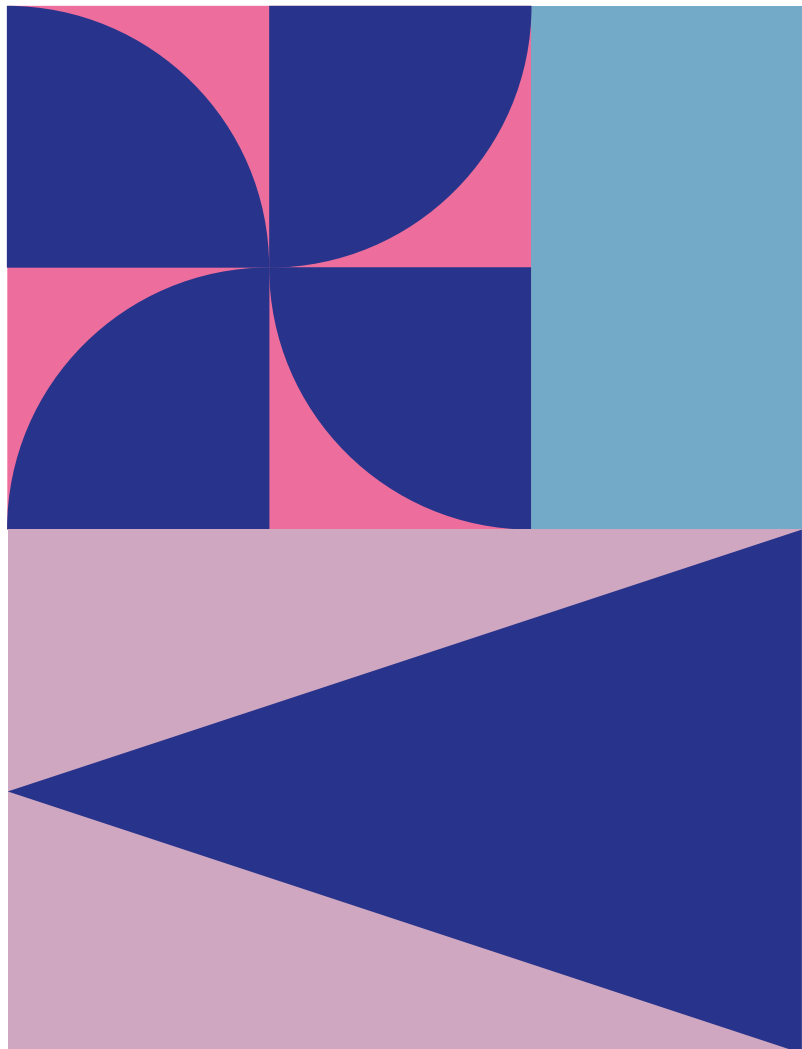
Pour commander les publications de l'INRS au format papier ■

Les entreprises du régime général de la Sécurité sociale peuvent se procurer les publications de l'INRS à titre gratuit auprès des services prévention des Carsat/Cramif/CGSS. Retrouvez leurs coordonnées sur www.inrs.fr/reseau-am

L'INRS propose un service de commande en ligne pour les publications et affiches, payant au-delà de deux documents par commande.

Les entreprises hors régime général de la Sécurité sociale peuvent acheter directement les publications auprès de l'INRS en s'adressant au service diffusion par mail à service.diffusion@inrs.fr

De nombreuses améliorations relatives à la sécurité ont déjà été apportées sur une partie des machines de forage utilisées avec des outils de faible diamètre. Cette démarche de progrès doit se poursuivre de manière à toucher l'ensemble de ces machines, quelle que soit la nature des travaux effectués. Ce document est destiné à aider les utilisateurs à améliorer la sécurité de ces machines de forage en service, en leur proposant des solutions techniques adaptées. Ces mesures sont destinées à réduire les risques dus aux éléments mobiles de travail directement liés aux opérations de forage. Cette brochure détaille les critères de choix, de conception et de mise en œuvre de ces moyens de protection.



**Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail
et des maladies professionnelles**
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris
Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 6446

1^{re} édition | septembre 2021 | 1 000 ex. | ISBN 978-2-7389-2692-0

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie / Risques professionnels