



Les radars

LA TECHNIQUE

Le radar (*Radio Detection And Ranging*) est conçu pour détecter à l'aide de champs électromagnétiques un objet fixe ou en mouvement, en fournissant des informations sur cet objet telles que sa distance, sa direction et sa vitesse.

Les applications principales

Les applications principales sont :

- la météorologie : détection des nuages et des pluies ;

- la défense : détection d'avions et de missiles ;
- le contrôle aérien : repérage et guidage d'aéronefs ;
- la navigation maritime et fluviale : repérage des côtes ou récifs et des autres navires ;
- le contrôle de la circulation routière : mesure de la vitesse des véhicules.

Le principe de fonctionnement

Le radar exploite la propriété de réflexion sur les objets des ondes électromagnétiques hautes fréquences, généralement comprises entre 300 mégahertz (MHz) et 15 gigahertz (GHz).

Une onde radioélectrique produite par un émetteur (oscillateur et amplificateur) et acheminée à une antenne via un guide d'onde est émise dans l'espace (*figure 1 p. suivante*). Lorsqu'elle rencontre un objet, elle est réfléchi. La mesure du signal réfléchi et son analyse comparée au signal émis permettent de fournir des informations sur l'objet cible.

La qualité de la détection dépend non seulement du matériau de la cible, de sa forme, mais aussi de la fréquence du signal émis. Les antennes des radars peuvent être fixes ou tournantes. Les radars eux-mêmes peuvent

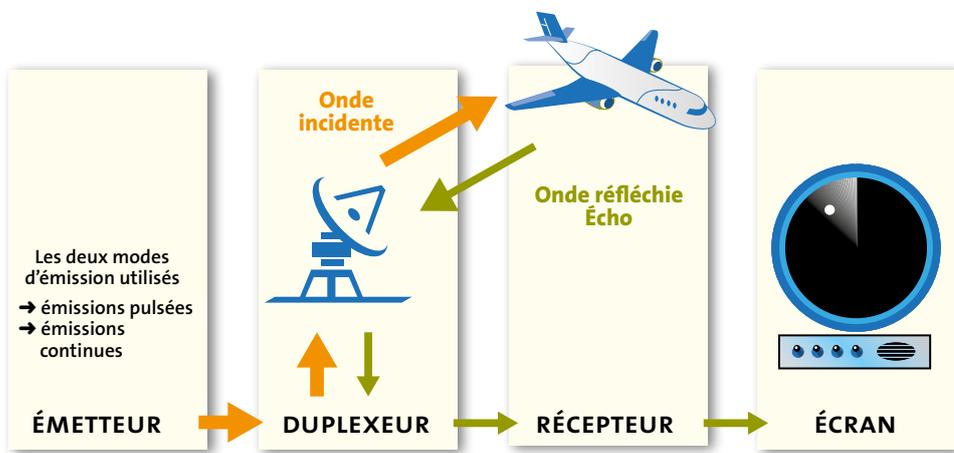


Figure 1. Principe de fonctionnement

être mobiles lorsqu'ils sont embarqués sur des véhicules (terrestres, aériens ou maritimes).

Les deux modes d'émission utilisés sont :

- les **émissions pulsées** (figure 2) : des impulsions très courtes sont émises et le temps plus ou moins long entre deux impulsions est exploité pour lire les éventuels échos reçus. Les radars à impulsions permettent de mesurer notamment la distance, l'altitude, la direction et la taille de la cible ;

- les **émissions continues** (figure 3) : le signal est émis de façon continue. Les radars utilisant ce type d'émission sont destinés à mesurer la vitesse en exploitant l'effet Doppler (application courante pour le contrôle de la vitesse des véhicules).

On considère différents types de radars :

- les **radars primaires** émettent des ondes et détectent les signaux réfléchis pour obtenir des informations sur les cibles se trouvant dans leur zone d'émission (position, direction...);

- les **radars secondaires** (utilisés en navigation aérienne) se limitent à interroger un aéronef en émettant un signal codé et à mesurer les signaux émis par le transpondeur de l'avion. Cela permet d'obtenir la position et l'identification de l'avion sous réserve que celui-ci soit coopératif (qu'il utilise son

transpondeur pour émettre ces informations). Les radars secondaires n'exploitant pas le signal réfléchi de la cible, ils nécessitent moins de puissance (environ 1 000 fois moins qu'un radar primaire).

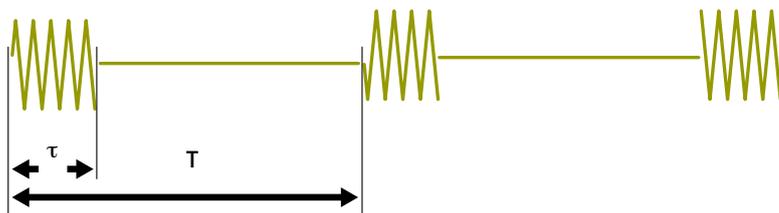
La puissance émise par les radars conçus pour détecter des objets lointains est souvent très importante (de quelques watts (W) à quelques dizaines de mégawatts). Lorsque l'émission est pulsée, toute la puissance est contenue dans une impulsion de courte durée (de l'ordre d'une microseconde). Les impulsions sont répétées toutes les millisecondes environ.

Les bandes d'émission radar sont codifiées en fonction de la fréquence de la porteuse (tableau 1).

LES RISQUES POUR LA SANTÉ DES TRAVAILLEURS

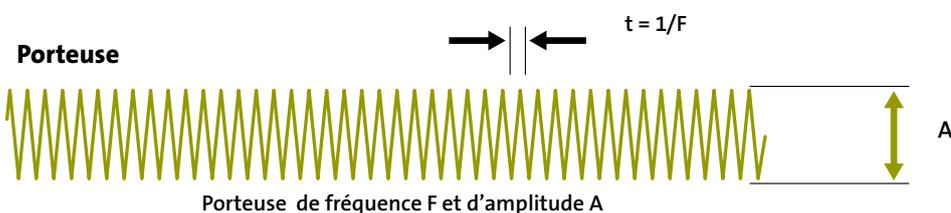
Compte tenu des puissances mises en œuvre et en fonction des technologies d'amplification utilisées, plusieurs types de risques pour l'homme peuvent être rencontrés :

- risque lié à l'exposition au champ électromagnétique émis par l'antenne (c'est le risque majeur) ou par une fuite le long du guide d'onde;



Impulsions de durée τ et de période de répétition T

Figure 2. Émission pulsée



Porteuse de fréquence F et d'amplitude A

Figure 3. Émission continue

Tableau 1. Bandes de fréquence radar et codification

HF	3 à 30 MHz
VHF	30 à 300 MHz
UHF	0,3 à 1 GHz
L	1 à 2 GHz
S	2 à 4 GHz
C	4 à 8 GHz
X	8 à 12 GHz
Ku	12 à 18 GHz
K	18 à 27 GHz
Ka	27 à 40 GHz
V	40 à 70 GHz
W	70 à 100 GHz

- risque lié à l'exposition aux rayonnements ionisants (rayonnements X) présents aux abords d'un élément d'amplification du signal appelé le klystron. Les radars à klystron sont des radars fixes très puissants utilisés pour la surveillance aérienne civile ou militaire.

Lors d'opérations de maintenance, d'autres risques sont à prendre en compte :

- risque de chute de hauteur : les antennes sont généralement placées au sommet de mâts ou de bâtiments ;
- risque électrique : présence de haute tension ;
- risque mécanique lié aux antennes tournantes.

La suite de ce document ne traite que des risques liés aux champs électromagnétiques.

Compte tenu des fréquences utilisées par les radars, l'effet principal avéré sur la santé se manifeste par un échauffement des tissus biologiques.

La profondeur de pénétration de l'onde est dépendante de la fréquence d'émission ; plus la fréquence est élevée, moins l'énergie est absorbée profondément dans les tissus :

- aux fréquences inférieures à 6 GHz, l'énergie absorbée dans les tissus est quantifiée par le débit d'absorption spécifique (DAS) exprimé en W/kg ;

- aux fréquences supérieures à 6 GHz, l'énergie est absorbée en surface et l'effet se traduit par un échauffement superficiel de la peau ou de l'œil. On caractérise les champs électromagnétiques aux fréquences supérieures à 6 GHz par la densité de puissance surfacique exprimée en W/m^2 .

En présence de champs pulsés, les effets thermiques sont liés à la valeur moyenne de la puissance reçue. Un autre type d'effet, lié à la valeur crête des impulsions, est décrit. Il s'agit d'un effet sensoriel qui se traduit par des clics, des bourdonnements ou des claquements lors d'une exposition localisée de la tête, dans la bande de fréquences comprises

entre 300 MHz et 6 GHz (voir document INRS ED 4350, *Les ondes électromagnétiques : actions et effets sur le corps humain*).

D'autre part, entre 3 MHz et 10 MHz, il existe également un risque d'apparition d'effets de stimulation du système nerveux central et périphérique qu'il conviendra de prendre en compte lors de l'évaluation.

LA RÉGLEMENTATION

L'ensemble des aspects réglementaires est détaillé dans la fiche INRS ED 4204 (*La réglementation en milieu professionnel*).

Les valeurs réglementaires applicables à l'exposition aux radars sont fixées :

- pour le public: par la recommandation européenne 1999/519/CE du 12 juillet 1999 reprise au décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 ;
- pour les travailleurs: par le Code du travail aux articles R. 4453-3 pour les valeurs limites d'exposition (VLE) et R. 4453-4 pour les valeurs déclenchant l'action (VA).

En complément, l'arrêté du 5 décembre 2016 vient préciser les grandeurs physiques que représentent les valeurs limites d'exposition professionnelle et les valeurs déclenchant l'action décrivant l'exposition à des champs électromagnétiques en milieu de travail.

Le respect des valeurs déclenchant l'action (VA) précisées dans le *tableau 2* permet de se protéger des effets thermiques.

En ce qui concerne les champs impulsions émis par les radars, la VA est déterminée à partir de la fréquence de la porteuse, le respect de la VA protégeant contre les effets thermiques.

De plus, la densité de puissance de crête moyenne calculée sur la durée d'impulsion ne doit pas excéder 1 000 fois la valeur limite d'exposition relative aux effets thermiques.

Entre 300 MHz et 6 GHz, le respect de la valeur limite d'exposition de 10 mJ/kg au niveau

de la tête permet de prévenir les effets auditifs causés par des expositions à des émissions pulsées.

En complément, l'arrêté du 14 mai 2018 précise les conditions et les modalités d'application dans les organismes du ministère des Armées pour le personnel civil et le personnel militaire qui exerce des activités de même nature que celles confiées au personnel civil.

L'ÉVALUATION DES RISQUES

En première approche, le diagramme d'émission de l'antenne qui caractérise l'intensité du champ émis dans chaque direction peut être utilisé pour évaluer les risques. La représentation graphique des lobes de rayonnement permet de vérifier si certaines zones susceptibles d'être occupées par des personnes sont soumises au rayonnement.

En règle générale, les faisceaux des stations radars fixes sont orientés vers le ciel et le cône d'émission est très étroit. Ceci permet d'éviter tout risque d'exposer des personnes en situation normale de travail. Dans les cas où le faisceau pourrait être dirigé vers des zones au sol ou des bâtiments, les radars doivent être dotés de dispositifs qui interdisent l'émission vers ces zones.

Dans le cadre de l'évaluation des risques, il convient de s'assurer que ces dispositifs existent et permettent bien d'assurer la sécurité des zones potentiellement occupées par des personnes.

Le lobe principal d'émission est presque toujours accompagné de lobes secondaires qui rayonnent une énergie non négligeable à la périphérie du lobe principal. Les dispositifs cités précédemment ne protègent pas toujours du risque d'exposition lié à ces émissions secondaires.

Dans certains cas, il ne sera pas possible d'éviter d'émettre dans une direction occupée par des personnes (travailleurs sur échafaudages installés sur un bâtiment voisin, travaux sur

des toits, grues...). Des solutions sont proposées dans la suite de ce document (partie « Moyens de prévention »).

Dans toutes ces situations, il est nécessaire d'évaluer le risque d'exposition par le calcul ou par des mesures sur site. Quelle que soit la méthode, l'évaluation est complexe à mener pour de multiples raisons : champs pulsés, antennes tournantes, multiplicité des antennes sur un même site...

En fonction de la méthode choisie, il est nécessaire de collecter les informations suivantes :

- évaluation par le calcul: fréquence de la porteuse, puissance fournie à l'antenne (crête et moyenne), gain de l'antenne, dimensions de l'antenne, largeur et fréquence de répétition des impulsions, vitesse de rotation de l'antenne, angles d'ouverture, hauteur par rapport au sol... ;
- évaluation par les mesures: fréquence de la porteuse, largeur et fréquence de répétition des impulsions. La méthode de mesure proposée par la recommandation ECC (02)04 peut être utilisée.

En matière de mesure, les instruments disponibles sur le marché ne permettent pas tous la détection des impulsions de façon techniquement satisfaisante. Il s'agit alors de choisir un instrument adapté en fonction du type d'évaluation recherchée :

- recherche de fuite de champ sur les émetteurs et les guides d'ondes: privilégier une sonde isotropique adaptée à la fréquence de la porteuse à mesurer. L'objectif n'est pas d'obtenir une mesure précise à comparer aux valeurs déclenchant l'action, mais de détecter une éventuelle fuite qu'il conviendra de signaler en vue de sa réparation ;
- mesure du champ en vue de statuer sur le risque par comparaison aux valeurs déclenchant l'action: utiliser un analyseur de spectre associé à une antenne de mesure adaptée à la fréquence de la porteuse à mesurer. Choisir un appareil disposant d'une très grande résolution ou avec une résolution telle que les paramètres proposés par la recommandation ECC (02)04 soient respectés.

LES MOYENS DE PRÉVENTION

La prévention des risques autour des installations radars passe par la mise en œuvre de mesures de protection techniques et organisationnelles.

Mesures de protection techniques

- Dispositifs d'évitement interdisant à l'antenne de pointer vers des zones sensibles (voies de circulation, locaux occupés par des personnes, zones publiques, installations techniques...)

Tableau 2. Valeurs d'action (VA) pour les travailleurs selon l'article R. 4453-4 du Code du travail

Gamme de fréquence (f)	VA (E) Champ électrique en V/m	VA (B) Champ magnétique en μ T
1 MHz \leq f < 10 MHz	6,1.10 ⁸ /f	2.10 ⁶ /f
10 MHz \leq f < 400 MHz	61	0,2
400 MHz \leq f < 2 GHz	0,003. \sqrt f	0,00001. \sqrt f
2 GHz \leq f < 6 GHz	140	0,45
6 GHz \leq f < 300 GHz	140	0,45

f en Hertz

■ Dispositifs de coupure de l'émission lorsque le faisceau balaie certains secteurs et que les dispositifs d'évitement précédents ne peuvent pas être mis en œuvre (bâtiments trop proches...)

■ Mise en place d'écrans de protection tels que matériaux absorbants, blindages réfléchissants, grillages dont le maillage est calculé en fonction de la fréquence

Mesures organisationnelles

- Périmètres de sécurité matérialisés par des barrières et de la signalisation
- Accès sécurisés fermant à clé
- Avertisseurs sonores et lumineux pendant le fonctionnement du radar

L'efficacité de ces moyens de protection doit être vérifiée par des mesurages dans toutes les zones susceptibles d'être occupées.

Information et formation

Toutes ces dispositions doivent faire l'objet de recommandations et d'informations à l'attention des personnels amenés à utiliser des installations radar ou à évoluer dans leur environnement.

Enfin, les personnes exploitant les radars ou chargées de leur maintenance doivent avoir suivi une formation sur les risques liés à l'exposition aux champs électromagnétiques, l'utilisation des moyens de protection collective et individuelle ainsi que sur la conduite à tenir en cas de surexposition.

Consignes de sécurité et équipements de protection individuelle

- Ne pas se placer devant une antenne fixe ou mobile lorsque le radar est en émission.
- Toujours couper l'émission lors d'interventions sur les antennes ou sur les guides d'ondes.

Lorsque certaines situations de travail nécessitent d'évoluer dans des zones où l'exposition

présente un risque, le port de vêtement de protection conducteurs est indispensable sous réserve que ceux-ci respectent les recommandations suivantes :

- garantir une atténuation suffisante aux fréquences d'émissions concernées ;
- recouvrir l'intégralité du corps y compris la tête. Les différents éléments doivent être parfaitement ajustés pour assurer la continuité électrique de l'ensemble du vêtement de protection. Les yeux seront protégés par des écrans contenant un grillage métallisé ou une couche métallique ;
- être correctement entretenus et exempts d'accroc ou de déchirure.

Des structures métalliques (barrières de protection, garde-corps...) peuvent dans certaines situations être exposées aux émissions du radar. Ces structures peuvent se charger électriquement et provoquer des chocs voire des brûlures en cas de contact. Toutes les structures conductrices potentiellement exposées aux champs émis par les radars doivent être correctement raccordées à la terre par des tresses ou des barres métalliques, les plus courtes possibles. Afin d'éviter les risques associés aux courants de contact, les personnes amenées à travailler aux abords de ces structures devront, en plus de la combinaison conductrice, porter des chaussures isolantes.

POUR EN SAVOIR PLUS

■ Fiches INRS de la collection « Champs électromagnétiques ».

■ Code du travail, articles R. 4453-1 à R. 4453-34.

■ Arrêté du 5 décembre 2016 relatif aux grandeurs physiques que représentent les valeurs limites d'exposition professionnelle et les valeurs déclenchant l'action décrivant l'exposition à des champs électromagnétiques en milieu de travail.

■ *Guides non contraignants de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE « Champs électromagnétiques ».* Disponibles sur www.ec.europa.eu/social.

■ Recommandation du Conseil n° 1999/519/CE du 12/07/99 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz).

■ Décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques

émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques.

■ Arrêté du 14 mai 2018 fixant les dispositions particulières de prévention des risques d'exposition aux champs électromagnétiques concernant le personnel civil et le personnel militaire relevant du titre II du décret 2012-422 du 29 mars 2012 relatif à la santé et à la sécurité au travail au ministère de la Défense.

■ ECC recommandation (02)04 (revised Bratislava 2003, Helsinki 2007) measuring non-ionising electromagnetic radiation (9 kHz-300 GHz).

■ *Radiofréquences et santé. Mise à jour de l'expertise. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail*, Anses, 2013.

■ *Les radars et la santé humaine*, OMS, Aide-mémoire n° 226.

Référents : Groupe RNI Carsat-Cramif/INRS

C. Mialon, Carsat Auvergne ■ P. Laurent, Carsat Centre-Ouest ■ A. Deleau, Carsat Languedoc-Roussillon ■ J. Fortuné, Carsat Centre ■ L. Hainoz, Cram Île-de-France ■ G. Le Berre, Carsat Bretagne ■ S. Tirlémont, Carsat Nord-Picardie ■ N. Morais, Carsat Midi-Pyrénées ■ B. Gallin, Carsat Nord-Est ■ R. Mouillseaux, L. Hammen, A. Bourdieu, INRS

Contacts : R. Mouillseaux, L. Hammen, INRS

Services Prévention des Carsat, Cramif et CGSS