



Les radars

LA TECHNIQUE

Le radar (*Radio Detection and Ranging*) est conçu pour détecter un objet fixe ou en mouvement en fournissant des informations sur cet objet telles que sa distance, son azimut et sa vitesse.

Les applications principales

Les applications les plus courantes sont :

- la météorologie : détection des nuages et des pluies ;
- la défense : détection d'avions et de missiles ;

- la navigation aérienne : contrôle du trafic aérien, détection et poursuite d'aéronefs et surveillance des pistes ;
- la navigation maritime et fluviale : contrôle du trafic dans les ports ;
- le contrôle de la circulation routière : mesure de la vitesse des véhicules.

Le principe de fonctionnement

Le radar exploite la propriété des ondes radio à se réfléchir sur les objets. Une onde radio à haute fréquence produite par un émetteur (oscillateur et amplificateur) et acheminée à une antenne via un guide

d'onde est émise dans l'espace (*figure 1 page suivante*). Lorsqu'elle rencontre un objet, elle est réfléchi. La mesure du signal réfléchi (ou de l'écho) et son analyse comparée au signal émis permettent de fournir des informations (distance, vitesse, position) 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 pouvant être fixes ou installés sur des véhicules (terrestres, aériens ou navires).

Les deux modes d'émissions utilisés sont :

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

- les **émissions continues** (CW⁽¹⁾) (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 vitesse des véhicules).

On considère différents types de radars :

- les **radars primaires** émettent une onde et détectent le signal réfléchi pour fournir des informations (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'exploitent pas le signal réfléchi par la cible, ils n'ont pas besoin d'être très puissants (environ 1 000 fois moins qu'un radar primaire).

La puissance émise par les radars qui sont conçus pour détecter des objets lointains est souvent très importante (de quelques W à quelques dizaines de MW). Lorsque l'émission est impulsionnelle, 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 radars sont codifiées en fonction de la fréquence de la porteuse (tableau 1).

LES RISQUES POUR L'HOMME

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 d'énergie le long du guide d'onde;

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

1. CW = Continuous Wave.

Figure 1. Principe de fonctionnement

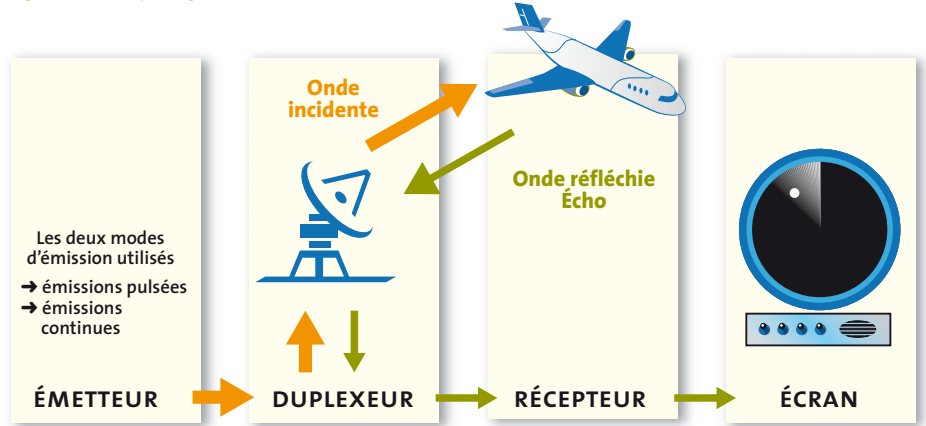


Figure 2. Émission pulsée

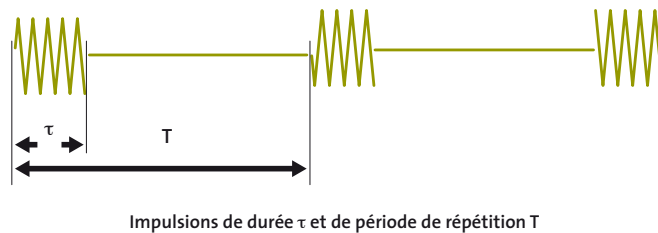
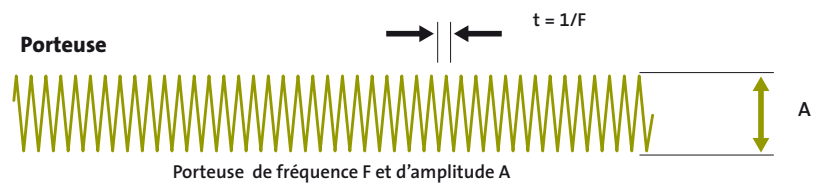


Figure 3. Émission continue



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 pénètre profondément dans les tissus :

- aux fréquences inférieures à 10 GHz, l'énergie absorbée est quantifiée par le débit d'absorption spécifique (DAS) exprimé en W/kg;

- aux fréquences supérieures à 10 GHz, l'énergie est absorbée à la surface de la peau et l'effet se traduit par un échauffement superficiel de la peau ou de l'œil. On caracté-

térise les champs électromagnétiques aux fréquences supérieures à 10 GHz par la densité de puissance surfacique exprimée en W/m².

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 de forte intensité

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

Tableau 1. Bandes radar

Gamme de fréquences (f)	VA(E) Champ électrique en V/m	VA(B) Induction magnétique en μT	VA(S) Densité de puissance en W/m^2
1 MHz \leq f < 10 MHz	$6,1 \cdot 10^8 / f$	$2 \cdot 10^6 / f$	–
10 MHz \leq f < 400 MHz	61	0,2	–
400 MHz \leq f < 2 GHz	$0,003 \cdot \sqrt{f}$	$0,00001 \cdot \sqrt{f}$	–
2 GHz \leq f < 6 GHz	140	0,45	–
6 GHz \leq f < 300 GHz	140	0,45	50

f en Hertz.

Les VA sont données en valeur rms.

Voir la directive 2013/35/UE pour les conditions dans lesquelles doivent être effectuées les mesures ou calculs.

Tableau 2. Valeurs d'action (VA) pour les travailleurs selon la directive 2013/35/UE

est décrit. Il s'agit d'un effet auditif qui se traduit par des « clics », des bourdonnements ou des claquements [1] pour une exposition localisée de la tête, dans la bande des fréquences comprises entre 300 MHz et 6,5 GHz.

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

LA RÉGLEMENTATION ET LES NIVEAUX D'EXPOSITION

Les **niveaux d'exposition applicables aux radars** sont fixés :

■ **pour le public** : par la recommandation européenne 1999/519/CE du 12/07/1999 et en France par le décret 2002-775 du 3/05/2002. Le champ d'application du décret est limité aux installations de télécom (téléphonie mobile, wifi, etc.) et aux installations radioélectriques (radiodiffusion et télédiffusion, radars...);

■ **pour les travailleurs** : par la directive européenne 2013/35/UE qui fixe des valeurs déclenchant l'action en champ électrique VA(E) et en induction magnétique VA(B) pour protéger les travailleurs contre les effets « santé » qui suivent :

- entre 1 Hz et 10 MHz : les effets de stimulation du système nerveux central,
- entre 100 kHz et 300 GHz : les effets thermiques.

De plus, entre 300 MHz et 6 GHz, cette directive prévoit une valeur limite d'exposition (VLE) pour prévenir des effets auditifs causés par des expositions de la tête à des rayonnements pulsés.

L'ÉVALUATION DES RISQUES

En première approche, une représentation graphique du lobe principal du faisceau peut permettre de vérifier si certaines zones susceptibles d'être occupées par des personnes peuvent être exposées 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 peut « éclairer » 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'analyse 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...).

Dans toutes ces situations, il est nécessaire d'évaluer le risque d'exposition par le calcul et/ou par des mesures sur site. Quelle que soit la méthode, l'évaluation est complexe à mener pour de multiples raisons : champ pulsé, 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... La méthode de calcul proposée dans l'instruction n° 302143 [2] du ministère de la Défense permet des évaluations de l'exposition quels que soient le nombre et le type d'émetteurs présents ;
- 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 [3] peut être utilisée.

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

- recherche de fuite de champs sur les émetteurs et les guides d'ondes : privilégier une sonde isotropique à thermocouples et 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 niveaux d'exposition : 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 protections 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...)
- Dispositifs de coupure de l'émission lorsque le faisceau passe devant certains secteurs et que les dispositifs d'évitement précédents ne peuvent être mis en œuvre (bâtiments trop

proches...)

■ Mise en place d'écrans de protection tels que matériaux absorbants, blindages réfléchissants ou 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.

Recommandations

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

Recommandations usuelles :

- 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 des risques, le port de vêtements de protection conducteurs est indispensable sous réserve que ceux-ci respectent les recommandations suivantes :

- recouvrir l'intégralité du corps y compris la tête. Les différents éléments devront 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 réfléchissante ;
- garantir une atténuation suffisante aux fréquences d'émissions concernées ;
- être correctement entretenus et exempt

d'accroc ou de déchirure.

Des structures métalliques (barrières de protection, garde-corps...) peuvent dans certaines situations être exposées aux rayonnements du faisceau radar. Ces structures peuvent se charger électriquement et provoquer des chocs voire des brûlures en cas de contact. Toutes les structures conductrices potentiellement exposées au champ 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 gants et des chaussures isolantes.

Enfin, les personnels exploitant les radars ou chargés de leur maintenance devront 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

POUR EN SAVOIR PLUS

Publications

- [1] *Guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques. Champs alternatifs (de fréquence variable dans le temps, jusqu'à 300 GHz)*, INRS, ND 2143. Cette note documentaire n'est disponible qu'en pdf sur www.inrs.fr et www.hst.fr.
- [2] Instruction n° 302143/DEF/SGA/DFP/PER/5 du 10/08/2003 relative à la protection des personnes contre les effets des champs électromagnétiques émis par les équipements ou installations relevant du ministère de la Défense.
- [3] *ECC recommandation (02)04 (revised Bratislava 2003, Helsinki 2007) measuring non-ionising electromagnetic radiation (9 kHz-300 GHz)*.
- [4] Fiches de la collection « Champs électromagnétiques », INRS, ED 4200 et suivantes. Particulièrement :
 - *Généralités sur les rayonnements non ionisants jusqu'à 300 GHz*, ED 4201.
 - *Les effets des rayonnements non ionisants sur l'homme*, ED 4203.
 - *Les réseaux sans fil de proximité*, ED 4207.
- [5] Directive européenne 2013/35/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 juin 2013 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques physiques (champs électromagnétiques).
- [6] *Exposition des travailleurs aux risques dus aux champs électromagnétiques. Guide d'évaluation des risques*, INRS, ED 6136.
- [7] Rapport ANSES « Radiofréquences et santé », octobre 2013.

Référents : Groupe RNI Carsat-Cram/INRS
Ch. Bissériex, Carsat Auvergne ■ P. Laurent,
Carsat Centre-Ouest ■ N. Sierra, Carsat Languedoc-
Roussillon ■ C. Bonnet, J. Fortuné, Carsat Centre ■
E. Marteau, Cram Île-de-France ■ G. Le Berre,
Carsat Bretagne ■ S. Tirlémont, Carsat Nord-Picardie
■ H. Castro, Carsat Midi-Pyrénées ■ A. Becker,
Ph. Demaret, M. Donati, INRS Lorraine ■
P. Moureaux, INRS Paris

Contacts : Ph. Demaret, INRS : 03 83 50 85 32
P. Moureaux, INRS : 01 40 44 31 09
Services Prévention des Carsat,
Cramif et CGSS