

Contribution à l'étude d'un plan de prévention du radar 'Ronsard'

-1- Généralités :

Les principaux textes de références en matière de sécurité concernant l'exposition aux rayonnements électromagnétiques non ionisants sont actuellement :

- Norme Française UTE – classement C 18-610 de nov. 95, contenant le projet de normes européennes CENELEC 50166-2.
- L'instruction 302143/DEF/SGA/DFP/PER/5 de la Direction de la Fonction militaire et du Personnel civil du 18 août 2003, concernant les équipements ou installations relevant du Ministère de la Défense.

On retiendra tout d'abord que les effets à long terme sur l'homme des ondes électromagnétiques ne sont pas tous connus. De plus, ces divers textes comportent des restrictions concernant en particulier les porteurs d'implants actifs (stimulateur cardiaque, pompe médicamenteuse, prothèse auditive,...) ou passifs (prothèse métallique), ceux-ci pouvant être perturbés par des champs inférieurs aux valeurs limites préconisées. Vu la difficulté de connaître le seuil d'intensité de champ pour lequel un appareil donné peut voir son fonctionnement modifié, nous sommes amenés à appliquer le principe de précaution, à savoir l'interdiction de présence de tout porteur d'implants en zone contrôlée.

Il en sera de même pour toute femme enceinte.

-2- Niveaux de référence pour la gamme de fréquences 2 à 20 GHz :

Les normes suivantes indiquent le niveau de radiation admissible pour une durée d'exposition de 6 minutes:

Pnh							Ph						
Sm (W/m ²)	Em (V/m)	Hm (A /m)	Sc (W/m ²)	Ec (V/m)	Hc (A/m)	dW (J/m ²)	Sm (W/m ²)	Em (V/m)	Hm (A /m)	Sc (W/m ²)	Ec (V/m)	Hc (A/m)	dW (J/m ²)
10	61	0,16	8000	6400	16,98	0,08	50	137	0,36	40000	14400	38,19	0,4
10	61,4	0,163	7934	1775	4,17		50	137	0,36	40890	3970	10,3	

Pnh : personnes non habilitées (tout public)

Ph : personnes habilitées

(1) : normes issues de l'instruction du Ministère de la Défense ci-dessus mentionnée

(2) : pré- normes européennes de 1995

S : densité de puissance surfacique (Sm : valeur moyenne ; Sc : valeur crête)

E : intensité du champ électrique (Em : valeur efficace ; Ec : valeur crête)

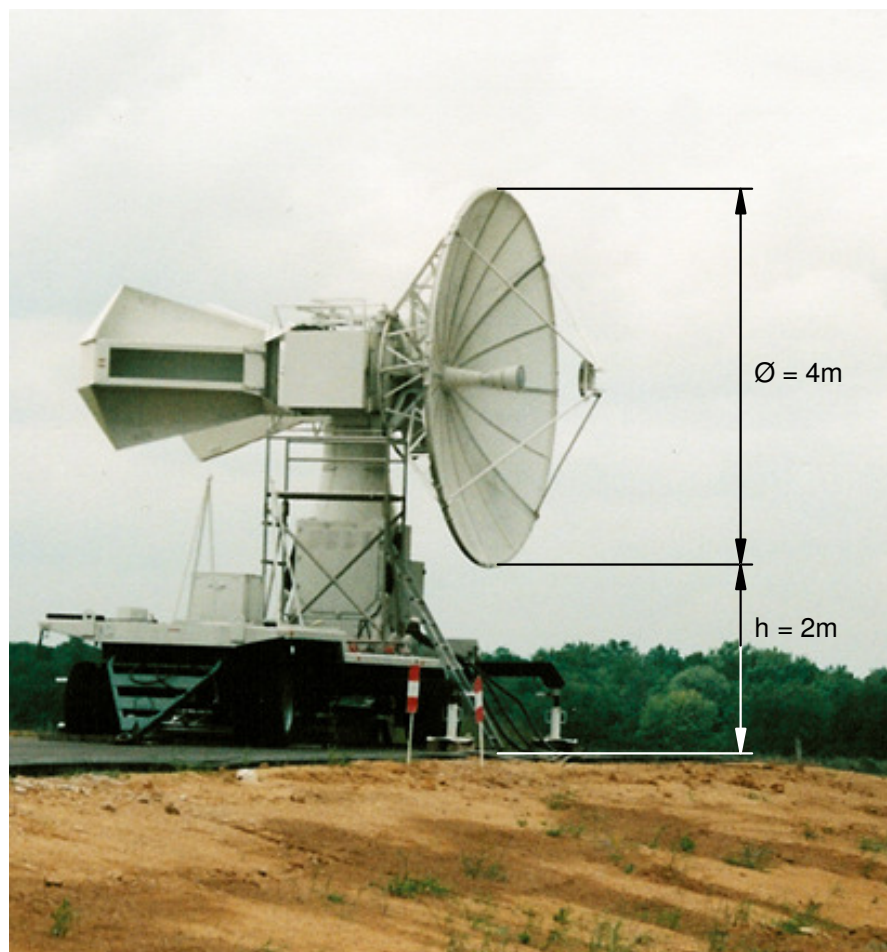
H : intensité de champ magnétique (Hm : valeur efficace ; Hc : valeur crête)

dW : niveau de densité d'énergie pour les sources d'émission pulsées.

Nous prendrons par la suite dans les calculs la norme la plus sévère.

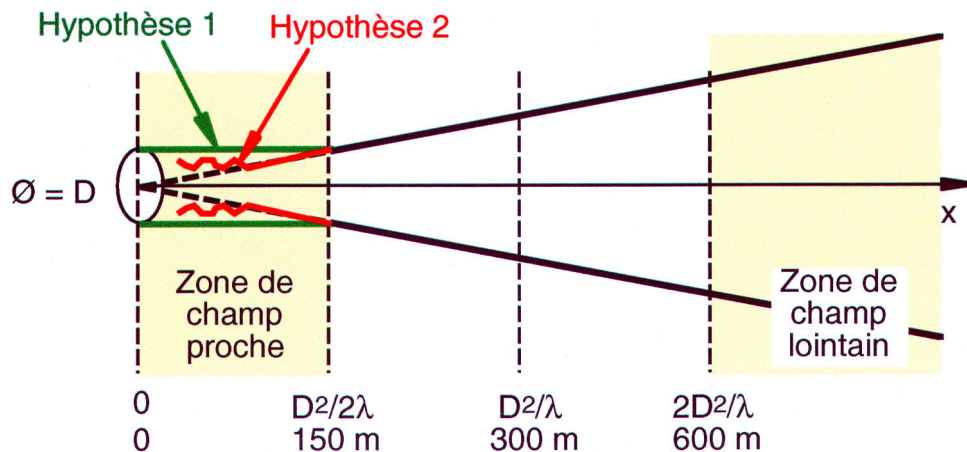
-3- Caractéristiques du radar Ronsard :

Fréquence (f)	5,6 GHz
Longueur d'onde (λ)	0,0536 m (5,36 cm)
Puissance crête émise (Pc)	250 kW
Facteur de forme	0,001
Puissance moyenne émise (Pm)	250W
Largeur impulsion (mode le plus long) (τ)	1,333 μ s
Période de répétition (mode le plus long)	1,366 ms
Diamètre de l'antenne émission-réception (D)	4 m
Surface de l'antenne (A)	12,56 m ²
Gain de l'antenne (G)	44 dB
Hauteur du centre du lobe d'émission	4 m
Largeur du lobe émission à - 3 dB	1°
Largeur du lobe émission à - 10 dB	1,7° à 0,9°
Largeur du lobe émission à - 20 dB	2,3° à 1,1°
Premier lobe secondaire (polar V)	- 22 dB à 1,6° en site
Second lobe secondaire (polar V)	- 29 dB à 2,8° en site



-4- Distribution de la densité de puissance émise :

- selon l'axe de propagation :



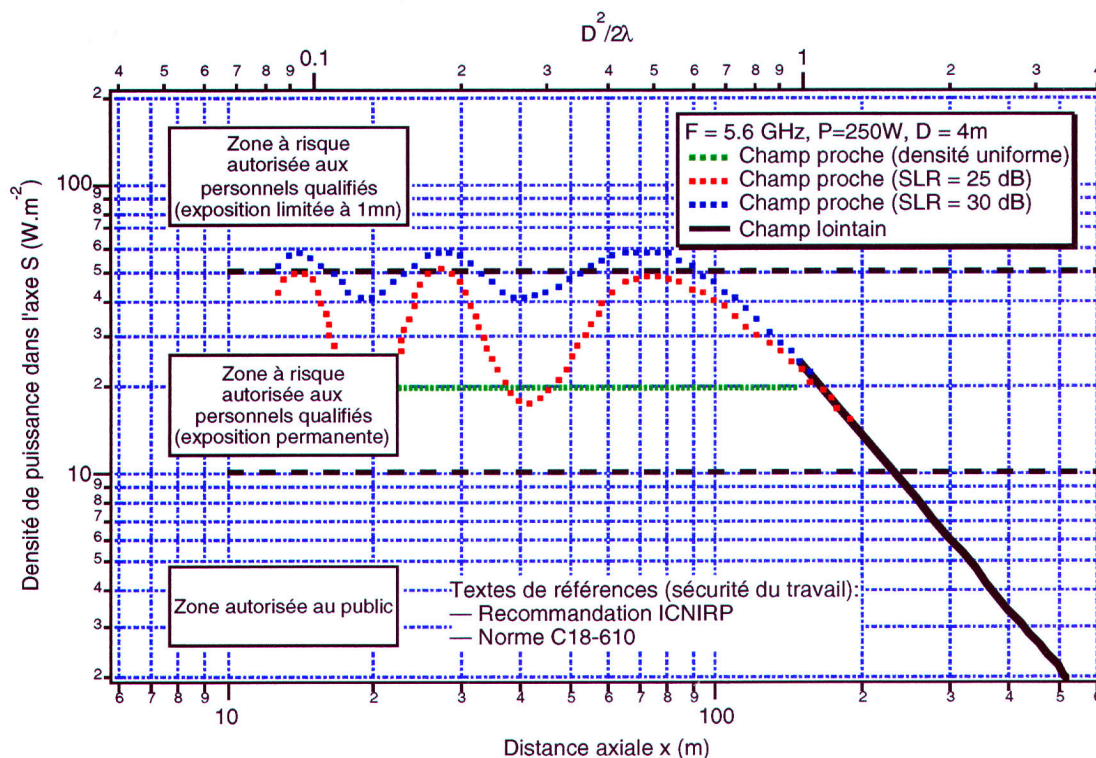
Pour une onde en champ lointain, les intensités des champs électrique et magnétique sont liées et les densités de puissance sont données par les relations $S_m = \frac{P_m \cdot G}{4\pi \cdot d^2}$ et $S_c = \frac{P_c \cdot G}{4\pi \cdot d^2}$

- pour $d = 600\text{m}$ (limite du champ lointain), on obtient : $S_m = 1,4 \text{ W/m}^2$ (et $S_c = 1388 \text{ W/m}^2$)

- pour $d = 150\text{m}$ (limite du champ proche, en considérant que la zone intermédiaire obéit encore aux caractéristiques du champ lointain), on obtient : $S_m = 22,2 \text{ W/m}^2$ (et $S_c = 22\,200 \text{ W/m}^2$).

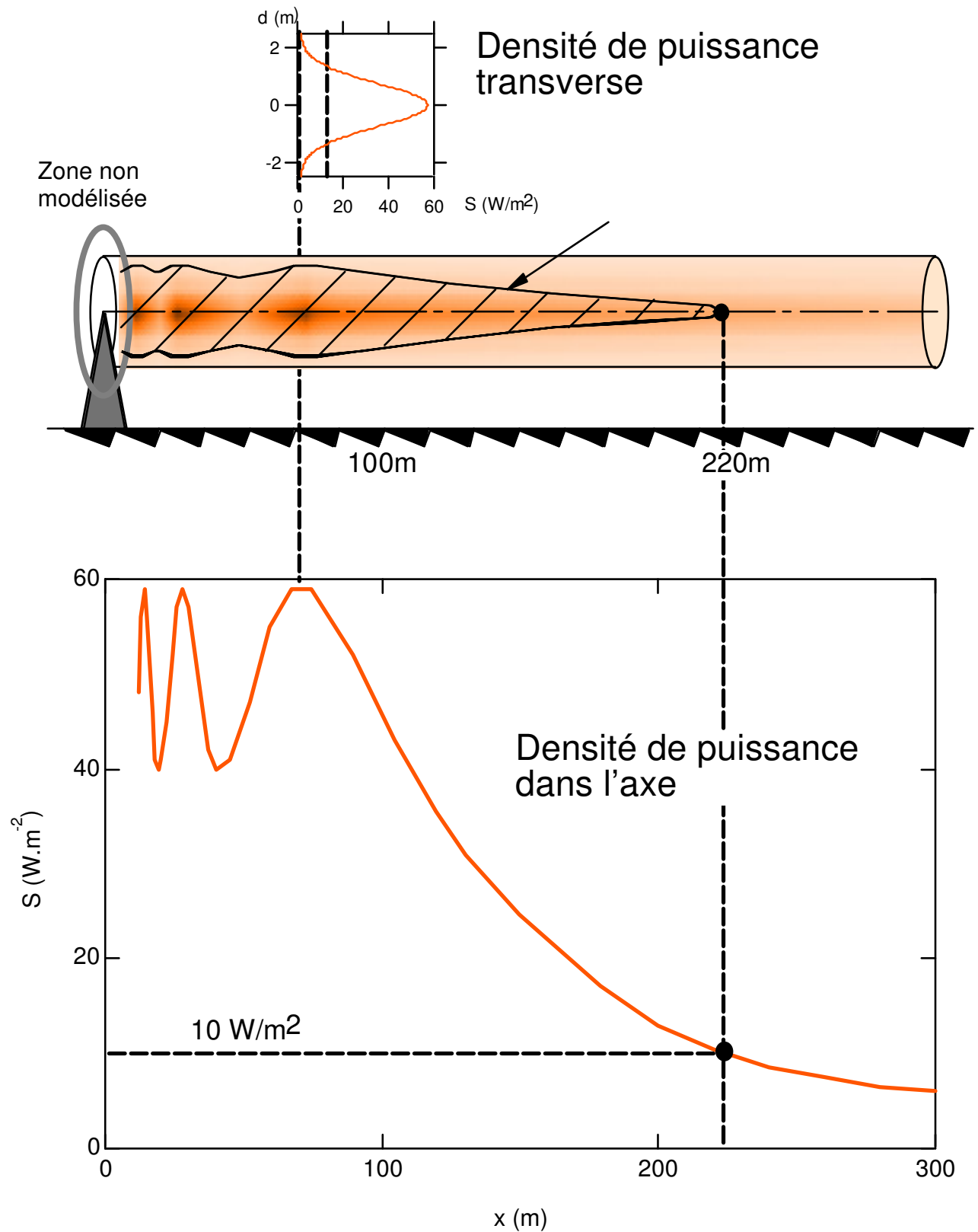
La densité de puissance S_m égale à 10 W/m^2 est atteinte pour une distance $d = 220\text{m}$.

En zone de champ proche, il n'y a pas coïncidence des maxima et minima des champs E et H et la structure est très inhomogène. La densité de puissance dépend de la loi d'illumination de l'ouverture ou des réflecteurs, que l'on peut paramétrer avec le rapport 'SLR' qui est le rapport entre le lobe principal et les premiers lobes secondaires (Hansen-1976). Des oscillations du niveau de la densité de puissance apparaissent alors le long de la distance axiale, d'autant plus fortes que le SLR est petit.



Dans le radar Ronsard, le SLR est d'environ 22dB, et l'on constate que la valeur limite maximale de densité de puissance autorisée au personnel habilité (sur 6 minutes et dans l'axe de l'antenne) est dépassé en zone de champ proche.

- **selon l'axe transverse** : la densité de puissance décroît fortement dès que l'on s'éloigne de l'axe du lobe.



-5- Calculs des limites des zones de sécurité :

On considère que le terrain est plat et horizontal et qu'aucun édifice métallique ne puisse faire réflexion.

- **zone verte**: son rayon résulte des normes ci-dessus pour le personnel non habilité (pnh), pouvant éventuellement se trouver dans l'axe de l'antenne (présence d'un immeuble ou tirs à site négatif) et dans le cas d'une antenne immobile (cas le plus contraignant),

- à partir de la valeur efficace de E : $d_{vj1} = \left[\frac{30.Pm.G}{E^2m(pnh)} \right]^{1/2} = \left[\frac{30.250.25120}{61.61} \right]^{1/2} = 225m$

- à partir de la valeur crête de E : $d_{vj2} = \left[\frac{30.Pc.G}{E^2c(pnh)} \right]^{1/2} = \left[\frac{30.250000.25120}{1775.1775} \right]^{1/2} = 244m$

- à partir de la densité d'énergie: $d_{vj3} = \left[\frac{\tau.Pc.G}{4\pi.W(pnh)} \right]^{1/2} = \left[\frac{1,333.10^{-6}.250000.25120}{4.\pi.0,08} \right]^{1/2} = 91m$

Au vu de ces résultats, on prendra : **D_{vi} = 250 m**

- **zone jaune**: son rayon résulte des normes pour le personnel habilité (ph), pouvant se trouver dans l'axe de l'antenne immobile, illuminant le terrain à site négatif (jusqu'à -4° pour le radar Ronsard),

- à partir de la valeur efficace de E : $d_{jo1} = \left[\frac{30.Pm.G}{E^2m(ph)} \right]^{1/2} = \left[\frac{30.250.25120}{137.137} \right]^{1/2} = 100m$

- à partir de la valeur crête de E : $d_{jo2} = \left[\frac{30.Pc.G}{E^2c(ph)} \right]^{1/2} = \left[\frac{30.250000.25120}{3970.3970} \right]^{1/2} = 109m$

- à partir de la densité d'énergie: $d_{jo3} = \left[\frac{\tau.Pc.G}{4\pi.W(ph)} \right]^{1/2} = \left[\frac{1,333.10^{-6}.250000.25120}{4.\pi.0,4} \right]^{1/2} = 41m$

Au vu de ces résultats, on prendra en simplifiant : **D_{jo} = 100 m**

- **zone orange**: pour une distance inférieure à 100m, des oscillations du niveau de la densité de puissance apparaissent dans l'axe de l'antenne et les lobes secondaires sont peu distincts.

Cependant la plupart du temps, l'antenne balaye horizontalement à site nul ou positif: les personnes au sol sont alors hors du lobe d'antenne et la densité de puissance s'atténue très vite dès que l'on sort de l'axe de l'antenne; des mesures effectuées par l'ANF en mars 2005 sur le site de l'Ecole Polytechnique à Palaiseau à une distance de 55m de l'antenne ont confirmé le phénomène.

En effet, le premier lobe secondaire (supposé distinct) se situe à -22dB; une personne située à 50m de l'antenne recevrait (théoriquement, car située en zone de champ proche) une densité moyenne

de puissance égale à : $\frac{Pm.G'}{4\pi.d^2} = \frac{250.158,5}{4\pi.50.50} = 1,3 \text{ W/m}^2$ par la contribution de ce lobe secondaire, ce qui est négligeable.

Ainsi, avec les contraintes suivantes :

- antenne immobile et positionnée dans un azimuth pointant hors de la zone d'approche du personnel habilité,
- ou antenne en balayage horizontal à site nul ou positif (les balayages verticaux impliquent inévitablement des sites négatifs),

il est raisonnable de fixer la distance **D_{OR} à 45m**, distance de la cabine de commande à l'antenne.

Cette distance est alors supérieure à :

- d_{or1} calculée à partir de la valeur efficace de E avec un coefficient rotatoire $\alpha = \frac{a}{\pi \cdot d} = \frac{4}{\pi \cdot 45} =$

0,0283 (calculé à partir d'un secteur balayé de 180° à 45m de l'antenne) :

$$\left[\frac{30 \cdot \alpha \cdot P_m \cdot G}{E^2 m(ph)} \right]^{1/2} = \left[\frac{30 \cdot 0,0283 \cdot 250 \cdot 25120}{137 \cdot 137} \right]^{1/2} = 17 \text{ m}$$

Les retournements de sens de rotation d'antenne, en balayage site ou gisement, impliquant un arrêt des mouvements d'antenne durant 3 à 4 secondes à chaque fin de secteur de balayage, empêchent de prendre en considération ce coefficient rotatoire pour les calculs précédents.

- à d_{or1} calculée à partir de la valeur efficace de E, antenne immobile, mais avec une durée d'exposition limite t_{expl} égale à 1 minute (la durée moyenne d'exposition étant de 6minutes) :

$$\left[\frac{30 \cdot P_m \cdot G}{E^2 m(ph)} \cdot \frac{t_{expl}}{tm} \right]^{1/2} = \left[\frac{30 \cdot 250 \cdot 25120}{137 \cdot 137} \cdot \frac{1}{6} \right]^{1/2} = 41 \text{ m}$$

- à d_{or2} calculée à partir de la valeur crête de E admissible pour une personne habilitée selon la norme (moins contraignante) du Ministère de la Défense :

$$\left[\frac{30 \cdot P_c \cdot G}{E^2 c(ph)} \right]^{1/2} = \left[\frac{30 \cdot 250000 \cdot 25120}{14400 \cdot 14400} \right]^{1/2} = 30 \text{ m}$$

- et à d_{or3} = 41m (même calcul que d_{jo3} ci-dessus à partir de la densité d'énergie).

La cabine de commande de l'antenne est munie d'un blindage apportant une atténuation moyenne de 30 à 40 dB (mesures nov. 95).

-6- Conclusion :

On retiendra :

- limite **zone verte/jaune : 250m** (public)
- limite **zone jaune/orange : 100m** (personnel habilité)
- limite **zone orange/rouge : 45m**, sous réserve des modes opératoires suivants :
 - pas de tirs fixes ni d'explorations verticales (RHI) orientés dans un azimuth pointant sur la zone d'approche du personnel,
 - explorations horizontales avec retournements du sens de rotation de l'antenne sur des azimuths pointant hors de la zone d'approche du personnel,
 - pas de stationnement de personnes en zone orange hors cabine.

Le personnel habilité accédera ainsi à la cabine de commande du radar en parcourant la zone orange (largeur 55m) en moins d'1 minute.