

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1652-1
(05/2011)

**Utilisation de la sélection dynamique des
fréquences dans les systèmes d'accès
hertzien, y compris les réseaux locaux
hertziens, aux fins de protection du service
de radiorepérage dans la bande des 5 GHz**

Série M

**Services mobile, de radiorepérage et d'amateur
y compris les services par satellite associés**



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2011

© UIT 2011

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R M.1652-1

Utilisation de la sélection dynamique des fréquences* dans les systèmes d'accès hertzien, y compris les réseaux locaux hertziens, aux fins de protection du service de radiorepérage dans la bande des 5 GHz

(Question UIT-R 212/5)

(2003-2011)

Champ d'application

La présente Recommandation donne les caractéristiques de la sélection dynamique des fréquences (DFS) comme technique de réduction des brouillages à utiliser dans les systèmes d'accès hertzien (WAS, *wireless access systems*), y compris les réseaux locaux hertziens (RLAN, *radio local area networks*), afin de faciliter le partage avec le service de radiorepérage dans la bande des 5 GHz. On trouvera dans l'Annexe 1 les caractéristiques de détection, d'exploitation et de réponse. Les autres Annexes traitent des méthodes et fournissent des renseignements que les administrations pourront utiliser lorsqu'elles effectuent des études de partage entre les radars et les systèmes WAS, y compris les réseaux RLAN.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que l'attribution de fréquences harmonisées dans les bandes 5 150-5 350 MHz et 5 470-5 725 MHz pour le service mobile faciliterait la mise en œuvre des systèmes d'accès hertzien (WAS), y compris des réseaux locaux hertziens (RLAN);
- b) qu'il est nécessaire de protéger les radars du service de radiorepérage exploités dans les bandes 5 250-5 350 MHz et 5 470-5 725 MHz;
- c) que dans de nombreuses administrations, les radars de météorologie au sol sont déployés à grande échelle et fournissent des services météorologiques essentiels;
- d) que les procédures et les méthodes d'analyse permettant d'analyser la compatibilité entre des radars et des systèmes d'autres services sont exposées dans la Recommandation UIT-R M.1461;
- e) que les caractéristiques techniques et opérationnelles représentatives des radars de radiolocalisation, de radionavigation et de météorologie, y compris des radars de radionavigation maritimes, en particulier dans la bande 5 470-5 650 MHz, sont exposées dans la Recommandation UIT-R M.1638;
- f) que les systèmes WAS, y compris les réseaux RLAN décrits dans la Recommandation UIT-R M.1450, peuvent être exploités tant à l'intérieur qu'à l'extérieur d'installations;
- g) le Rapport UIT-R M.2034 qui traite de l'incidence de certains impératifs de détection de la sélection dynamique des fréquences sur la qualité de fonctionnement des systèmes WAS,

* La sélection dynamique des fréquences (DFS, *dynamic frequency selection*) est une expression générale utilisée dans la présente Recommandation pour décrire des techniques de réduction de brouillages qui permettent, entre autres, de détecter et d'éviter les brouillages cocanals subis par des systèmes radars.

reconnaisant

- a) que la bande 5 250-5 350 MHz est attribuée au service de radiolocalisation à titre primaire, mais également au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (actif), aussi à titre primaire;
- b) que la bande 5 470-5 650 MHz est attribuée au service de radionavigation maritime à titre primaire;
- c) que la bande 5 350-5 650 MHz est attribuée au service de radiolocalisation à titre secondaire;
- d) que les radars au sol utilisés dans la bande 5 600-5 650 MHz pour les besoins de la météorologie sont autorisés à fonctionner sur une base d'égalité avec les stations du service de radionavigation maritime;
- e) que la bande 5 650-5 725 MHz est attribuée au service de radiolocalisation à titre primaire;
- f) que les administrations peuvent tenir compte d'informations détaillées concernant le déploiement effectif des radars lorsqu'elles élaborent des directives sur l'utilisation de la sélection DFS dans les systèmes WAS en concertation avec les administrations potentiellement affectées,

notant

- a) que le niveau de puissance RF élevé et la sensibilité de réception des radars du service de radiorepérage, conjugués à la forte densité prévue des systèmes WAS, y compris les réseaux RLAN, ne devraient en général pas permettre d'exploiter des systèmes WAS, y compris des réseaux RLAN, et des radars dans un même canal en l'absence de techniques de réduction des brouillages;
- b) que des systèmes WAS, y compris des réseaux RLAN, pourraient être déployés dans ces bandes en tant que dispositifs exemptés d'obligation de licence, ce qui rendrait plus difficile d'en contrôler la densité de déploiement;
- c) qu'il existe diverses normes pour les spécifications des réseaux RLAN;
- d) que les administrations peuvent prendre en considération des procédures pour confirmer l'aptitude des mécanismes d'évitement des brouillages à fonctionner correctement en présence des systèmes radars déployés dans cette même bande,

recommande

- 1** que, pour faciliter l'utilisation en partage avec des radars, les techniques de réduction des brouillages décrites dans l'Annexe 1 soient mises en œuvre par les systèmes WAS, y compris les réseaux RLAN, dans les bandes des 5 GHz utilisées par les radars;
- 2** que les techniques de réduction des brouillages satisfassent aux prescriptions de détection, d'exploitation et de réponse visées au § 2 de l'Annexe 1;
- 3** que les méthodes indiquées dans les Annexes 4, 5, 6 et 7 soient utilisées par les administrations lorsqu'elles effectuent des études de partage entre des radars et des systèmes WAS, y compris les réseaux RLAN.

NOTE 1 – Des informations complémentaires sur les résultats d'études relatives aux prescriptions visées au point 2 du *recommande* sont données dans le Rapport UIT-R M.2115, qui renseigne sur les procédures suivies par plusieurs administrations ou groupes régionaux pour procéder à des tests de conformité aux prescriptions de la sélection DFS.

Annexe 1

Utilisation de la DFS dans les systèmes WAS, y compris les RLAN, aux fins de la protection du service de radiorepérage dans la bande des 5 GHz

1 Introduction

1.1 DFS

Dans le contexte des études sur la faisabilité du partage entre le service mobile pour les systèmes WAS¹ et le service de radiorepérage dans les bandes de fréquences 5 250-5 350 MHz et 5 470-5 725 MHz, des calculs du bilan de liaison ont montré qu'il était nécessaire d'utiliser des techniques de réduction des brouillages pour permettre le partage entre les systèmes WAS et d'autres services tels que les systèmes radars. La présente Annexe décrit les techniques de réduction des brouillages associées à la sélection DFS² telles qu'elles ont été définies dans les normes des réseaux RLAN fonctionnant dans la bande des 5 GHz, les calculs liés à la qualité de fonctionnement étant fondés sur des mises en œuvre types.

Des brouillages se produiront entre des systèmes WAS et des radars fonctionnant dans la bande des 5 GHz lorsque ces dispositifs seront exploités aux mêmes fréquences et qu'ils seront à portée les uns des autres.

La technique de sélection DFS a été envisagée afin:

- de garantir un étalement de la charge sur tout le spectre disponible du système WAS visible depuis un satellite de façon à réduire les émissions cumulées produites par ce système au niveau des satellites du SFS (liaisons de connexion) ou du SETS (actif);
- d'éviter une exploitation cocanale avec d'autres systèmes, notamment avec des systèmes radars.

L'extension de l'utilisation de la sélection DFS décrite ci-après permet d'éviter qu'un système WAS brouille le service de radiorepérage. Le principe général appliqué est qu'un système WAS détecte les brouillages, identifie les radars brouilleurs et n'utilise pas les fréquences de ces radars.

1.2 But de l'utilisation de la sélection DFS par rapport à des radars

L'utilisation de la sélection DFS dans les systèmes WAS vise à fournir une protection appropriée aux radars dans la bande des 5 GHz. Pour ce faire, on évite d'utiliser ou on libère un canal dont on sait qu'il est occupé par un équipement radar, grâce à la détection des signaux qu'il émet.

Aux fins de la présente Annexe, on trouvera dans l'Annexe 3 un examen des systèmes de radiorepérage fonctionnant dans la gamme des 5 GHz qui ont été utilisés pour déterminer les caractéristiques de la sélection DFS.

¹ Tout au long de la présente Recommandation, les termes «systèmes WAS» désignent les «systèmes d'accès hertzien, y compris les réseaux RLAN».

² La fonction de sélection DFS a été spécifiée initialement dans les normes des réseaux RLAN fonctionnant dans la bande des 5 GHz afin de réduire les brouillages entre groupes de réseaux RLAN non coordonnés et pour optimiser l'efficacité spectrale pour la transmission de données à haut débit et à forte capacité.

La mise en œuvre des mécanismes de détection radar et des procédures utilisés par les systèmes WAS n'entre pas dans le cadre de la présente Annexe et ce pour les principales raisons suivantes:

- la conception des systèmes WAS a une incidence sur cette mise en œuvre;
- l'expérience qui sera acquise pourra conduire à élaborer des mécanismes et des procédures innovantes et plus efficaces que ceux que l'on est capable de formuler aujourd'hui;
- des fabricants différents peuvent faire des choix de mise en œuvre différents pour parvenir aux coûts les plus bas pour un niveau de qualité de fonctionnement donné; par conséquent, seuls des critères de qualité de fonctionnement, et non des spécifications associées à un mécanisme particulier, devraient être indiqués dans des documents de réglementation.

2 Spécifications liées à la qualité de fonctionnement de la fonction de sélection DFS

La qualité de fonctionnement de la fonction de sélection DFS est spécifiée en termes de réponse à la détection d'un signal brouilleur.

Un système WAS fonctionnant dans la bande des 5 GHz doit satisfaire aux spécifications de détection et de réponse exposées ci-après.

Des procédures permettant de vérifier le respect des spécifications devraient être incluses dans les normes industrielles appropriées des réseaux RLAN.

2.1 Spécifications liées à la détection

Le mécanisme de sélection DFS devrait pouvoir détecter des signaux brouilleurs dont la valeur moyenne calculée sur 1 μ s est supérieure à un seuil de détection DFS minimal de -62 dBm pour les dispositifs dont la valeur maximale de p.i.r.e. est inférieure à 200 mW, et de -64 dBm pour les dispositifs dont la valeur maximale de p.i.r.e. est comprise entre 200 mW et 1 W³.

Ce seuil est défini comme étant l'intensité du signal reçu (dBm) et normalisée par rapport aux bornes d'une antenne de réception à 0 dBi, qui doit être détectée dans la largeur de bande du canal exploité par le système WAS.

2.2 Spécifications opérationnelles

Le système WAS devrait pouvoir procéder à une vérification de disponibilité du canal, au cours de laquelle il écoute un canal radioélectrique donné pendant 60 s pour déterminer si un radar y est exploité.

Le système WAS devrait pouvoir procéder à une surveillance en cours de service, c'est-à-dire surveiller le canal exploité pour vérifier qu'un radar cocanal n'a pas été déplacé ou n'a pas commencé à être exploité dans sa propre zone de portée. Au cours d'une surveillance en cours de service, la fonction de détection radar recherche continuellement des signaux radars entre les émissions normales du système WAS, ce qui nécessite d'utiliser des intervalles de silence entre les émissions successives du système WAS (voir l'Annexe 4).

S'il n'a pas été exploité précédemment ou s'il n'a pas surveillé de façon continue un canal par le biais de la fonction de surveillance en cours de service, le système WAS ne devrait pas commencer à émettre dans un canal avant que la procédure de vérification de disponibilité de canal n'ait été menée à bien.

³ Dans la pratique, il peut ne pas être nécessaire de doter chaque dispositif de l'ensemble des fonctions de DFS, mais il faut alors que ces dispositifs soient seulement capables d'émettre sous le contrôle d'un dispositif qui garantit que toutes les spécifications de la DFS sont respectées.

2.3 Spécifications liées à la réponse

Un canal dans lequel on a détecté la présence d'un signal radar, grâce à la fonction de vérification de disponibilité de canal ou à celle de surveillance en cours de service, est soumis à une période de 30 min (période de non-occupation) au cours de laquelle il ne peut pas être utilisé par le dispositif WAS, afin de protéger les radars à balayage. Cette période devrait débuter au moment où est détecté le signal radar.

En outre, dans la bande 5 600-5 650 MHz, si on a détecté dans un canal la présence d'un signal radar, on procédera à une période de surveillance continue de 10 min avant de pouvoir utiliser le canal. A défaut, on devra recourir à d'autres méthodes appropriées telles que l'exclusion de canal.

Le temps de changement de canal est la durée de 10 s nécessaire pour qu'un système WAS cesse toutes ses émissions sur le canal exploité après détection d'un signal brouilleur dont l'intensité est supérieure au seuil de détection DFS. Les émissions pendant cette période seront celles du trafic normal pendant généralement moins de 100 ms mais pendant au plus 200 ms après détection du signal radar. En outre, des signaux de gestion et de commande intermittents peuvent être émis au cours du temps restant afin de faciliter la libération du canal exploité. La durée cumulée de ces signaux est généralement inférieure à 20 ms.

2.4 Résumé des spécifications

Le Tableau 1 résume les spécifications susmentionnées. On trouvera un exemple des procédures opérationnelles dans l'Annexe 2.

TABLEAU 1

Paramètre	Valeur
Seuil de détection DFS	-62 dBm pour les dispositifs dont la p.i.r.e. maximale est inférieure à 200 mW et -64 dBm pour les dispositifs dont la p.i.r.e. maximale est comprise entre 200 mW et 1 W (valeur moyenne calculée sur 1 μ s)
Durée de vérification de disponibilité du canal	60 s
Période de non-occupation	30 min
Durée de changement de canal	≤ 10 s

Annexe 2

Détection radar et exemple de procédures de sélection DFS associées

On trouvera dans la présente Annexe un exemple de description d'un mécanisme de sélection DFS.

1 Définitions

Les définitions suivantes s'appliquent dans la présente Annexe:

Canal disponible: canal radioélectrique sur lequel une fonction de vérification de disponibilité du canal n'a pas déterminé la présence d'un signal radar.

Signal radar reçu: signal présentant les caractéristiques suivantes:

- intensité du signal radar reçu égale ou supérieure au seuil de détection DFS, T_{DFS} (dBm), dans la largeur de bande du canal du système WAS;
- taux de répétition des impulsions compris entre 200 et 4 000 impulsions/s;
- largeurs des impulsions nominales comprises entre 1 et 20 μ s.

Canal exploité: dès qu'un système WAS commence à émettre dans un canal disponible, celui-ci devient le canal exploité.

2 Procédures

2.1 Recherche d'un canal disponible

Avant d'émettre, et si aucun canal disponible n'a encore été identifié, le système WAS doit lancer une procédure de vérification de disponibilité sur un canal radioélectrique avant de l'utiliser pour ses émissions. Par conséquent, lorsqu'un réseau est installé et mis en route pour la première fois, une ou plusieurs procédures de vérification de disponibilité d'un canal devraient être lancées pour identifier au moins un canal disponible. Après quoi, l'exploitation du système WAS peut démarrer sur ce canal; la vérification d'autres canaux radioélectriques pour identifier d'autres canaux disponibles est facultative.

2.2 Début de l'exploitation

Dès lors qu'un système WAS commence à être exploité sur un canal disponible, celui-ci devient le canal exploité.

2.3 Surveillance du canal exploité

La surveillance en cours de service est effectuée par le système WAS afin de vérifier à nouveau si aucun signal radar n'est détecté sur le canal exploité à la suite de l'intrusion éventuelle d'un radar dans la zone couverte par le système WAS ou du déclenchement de l'émission d'un signal radar sur le canal exploité.

3 Considérations liées à la mise en œuvre

3.1 Détection du signal radar

Des signaux radars peuvent être émis à tout moment et en présence de signaux WAS dans le même canal.

Lors de la phase de recherche d'un canal disponible, le système WAS n'est pas opérationnel, ce qui garantit une détection rapide et fiable d'éventuels signaux radars, sauf peut-être de ceux émis par des radars à rotation très lente, qui seront néanmoins détectés par la surveillance en cours de service.

Au cours de cette dernière procédure, la fonction de détection radar recherche sans interruption des structures de signaux radar – au cours ou entre les émissions WAS normales. La faiblesse de certains signaux radar reçus peut accroître le temps nécessaire à la détection. Ces considérations sont reflétées dans l'énoncé des spécifications de l'Annexe 1.

3.1.1 Détection des radars à saut de fréquence

Les radars à saut de fréquence sont exploités sur une large gamme de fréquences, grâce au changement rapide de leur fréquence d'exploitation.

Le temps dont a besoin un système WAS pour une détection fiable varie en fonction des caractéristiques de l'impulsion radar. Dans le cas d'un radar à saut de fréquence, son temps d'occupation du canal WAS (temps d'illumination) a lui aussi une incidence sur la probabilité de détection.

L'alternative sera la suivante:

- si le temps d'illumination est suffisamment long, le mécanisme de sélection DFS détectera le signal radar (voir l'Annexe 4) et le système WAS cessera d'émettre sur le canal utilisé;
- si le temps d'illumination est très court, la probabilité de détection du radar par un système WAS sur le canal exploité risque de se réduire, suivant le nombre d'impulsions émises dans l'intervalle.

3.1.2 Seuil et gain d'antenne

Le seuil de détection est exprimé en dBm après normalisation par rapport aux bornes d'une antenne de réception à 0 dBi. Si le système WAS utilise des gains d'antenne plus élevés, le niveau du seuil T_{DFS} devrait être augmenté d'une valeur égale au gain d'antenne.

3.1.3 Rayonnements non essentiels

Un complément d'étude est nécessaire pour déterminer l'incidence de l'interaction entre un système WAS et les rayonnements non essentiels de radars.

3.2 Durée du changement de canal

Dès détection d'un signal de valeur supérieure au seuil de détection, les procédures de sélection DFS imposent à la diffusion des commandes de cesser toute émission opérationnelle et de basculer sur le canal disponible ou sur l'un des canaux disponibles identifiés par la fonction de vérification de disponibilité. Cette diffusion sera répétée un certain nombre de fois pour garantir la réception des commandes par tous les dispositifs du système. Certains d'entre eux peuvent en effet être en mode «sommeil», durant lequel ils sont réactivés à toutes les x centaines de millisecondes en général, cet intervalle pouvant à l'extrême atteindre 60 s. Nonobstant ce cas, la diffusion doit se répéter un certain nombre de fois pendant la durée du changement de canal pour être sûr que tous les dispositifs WAS auront bien libéré le canal.

Annexe 3

Utilisation des caractéristiques des radars des services de radiorepérage, de radionavigation maritime et météorologique

On trouvera dans la Recommandation UIT-R M.1638 les caractéristiques techniques de certains radars des services météorologique, de radiorepérage ou de radionavigation maritime, fonctionnant dans les bandes 5 250-5 350 MHz et 5 470-5 725 MHz. Cette information est utilisée pour déterminer les spécifications techniques du mécanisme de sélection DFS à mettre en œuvre dans les systèmes WAS, opération nécessaire pour permettre l'exploitation des systèmes WAS dans le service mobile dans les bandes de fréquences utilisées par les radars. Plus particulièrement, on prend en considération les radars A à S décrits dans la Recommandation UIT-R M.1638 pour la mise au point des caractéristiques de la sélection DFS.

Le Tableau 1 de la Recommandation UIT-R M.1638 indique les attributions au service de radiorepérage dans la gamme des 5 GHz:

Annexe 4

Paramètres et méthode à utiliser pour calculer la probabilité de détection des systèmes du service de radiorepérage par des systèmes WAS, y compris les dispositifs RLAN, utilisant une fonction de sélection DFS dans la bande des 5 GHz pendant la surveillance en cours de service

La méthode ci-après prend en considération la probabilité qu'un dispositif WAS fonctionnant dans la bande des 5 GHz et utilisant la sélection DFS puisse détecter pendant une surveillance en cours de service, un radar du service de radiorepérage fonctionnant dans la bande des 5 GHz.

Etape 1: On détermine la durée pendant laquelle un dispositif donné se trouve dans le faisceau principal de l'antenne radar (c'est-à-dire l'ouverture de faisceau à 3 dB/vitesse de balayage de l'antenne). Les paramètres radar à utiliser comme référence dans l'étude sont visées dans le Tableau 2. Le temps d'analyse est la durée durant laquelle le dispositif WAS se trouve dans le champ du faisceau principal du radar au cours d'un balayage, sur la base du diagramme de l'antenne radar et de sa vitesse de balayage.

TABLEAU 2

Radars	C	K	P	S
Ouverture de faisceau à 3 dB (degrés)	0,95	2,5	2,6	2
Vitesse de balayage (degrés/s)	36	Pas applicable	72	20
Durée d'analyse (ms)	26	100	36	100

Etape 2: Les radars C, K, P et S constituent les cas les plus difficiles et peuvent être utilisés pour définir le partage avec n'importe lequel des radars mentionnés dans le document sur les caractéristiques radar. Le radar K n'utilise pas de fonction de balayage à 360°.

Etape 3: Sur la base d'une distribution des dispositifs WAS selon les débits et la longueur de leurs paquets indiqués dans le Tableau 3, on crée une forme d'onde pour représenter le temps d'émission d'un dispositif WAS et des périodes d'écoute d'une durée de $(x) \cdot 9 + 50$ ms, où x est une variable entière aléatoire entre 2 et 32 (soit 31 durées discrètes possibles, uniformément distribuées).

TABLEAU 3

Pondération du temps d'émission des systèmes RLAN

Taille des paquets (octets)	Pondération	Débit données (Mbit/s)	Pondération
64	0,6	6	0,1
538	0,2	12	0,1
1 500	0,2	18	0,1
		24	0,3
		36	0,3
		54	0,1

Pour chaque instance d'une émission par paquets d'un dispositif WAS, on crée la forme d'onde représentative en choisissant de manière aléatoire une émission par paquets, en utilisant les pondérations indiquées dans le Tableau 3, puis en calculant le temps d'émission par la formule «taille d'un paquet»/(débit/données · 8). Chaque paquet est suivi d'une période de silence qu'exige le réseau WAS pour faciliter le partage du support d'accès (c'est-à-dire le canal WAS) entre les multiples dispositifs utilisant le réseau. Cette période de silence peut être utilisée pour la surveillance en cours de service, elle est choisie comme il est indiqué ci-dessus. Un autre paquet choisi aléatoirement est alors ensuite créé de la même manière que le premier, puis vient une nouvelle période de silence. Ce processus se répète jusqu'à ce que la forme d'onde ait une durée égale au temps de présence d'un dispositif WAS dans le faisceau principal de l'antenne, comme cela a été calculé à l'Etape 1.

Etape 4: On crée une forme d'onde basée sur le taux de répétition des impulsions et la largeur de l'impulsion du radar analysé. Les valeurs à utiliser comme références sont indiquées dans le Tableau 4. La durée de la forme d'onde devrait être identique à celle qui a été calculée à l'Etape 1.

TABLEAU 4

Valeurs de référence des radars pour la détermination de la probabilité de détection

Radar	C	K	P	S
Largeur de l'impulsion (µs)	0,95	1	20	1
Répétition des impulsions (pps)	200	3 000	500	200

Etape 5: On détermine l'occurrence d'un événement de détection en établissant si les impulsions radar dans la forme d'onde radar simulée correspondent aux périodes d'écoute dans la forme d'onde du réseau WAS simulée.

Etape 6: On répète les différents moments de la simulation, on enregistre l'occurrence ou l'absence d'occurrence d'événements de détection et on utilise ces données pour calculer la probabilité de détection (c'est-à-dire le pourcentage de simulations au cours desquelles on considère que l'impulsion radar est détectée).

Etape 7: Probabilité de détection en n rotations:

p : probabilité de détection en une seule rotation

p_n : probabilité de détection en n rotations

$$p_n = 1 - (1 - p)^n.$$

Annexe 5

Evaluation des brouillages à l'aide de calculs du bilan des liaisons faisant intervenir un seul dispositif WAS et des systèmes de radiorepérage dans la bande des 5 GHz

1 Rappel

La présente Annexe examine le cas des brouillages causés par un seul dispositif WAS. Les valeurs calculées dans la présente Annexe ont été utilisées comme valeurs de départ pour déterminer un seuil de détection associé à la modélisation des brouillages cumulatifs (voir l'Annexe 6).

2 Méthode

Les calculs présentés dans cette Annexe sont fondés sur une analyse du bilan des liaisons. C'est en effet à partir d'une analyse de ce type qu'a été déterminé le seuil en question qui doit en principe être atteint lorsque le radar est susceptible d'être brouillé par les émissions d'un seul dispositif WAS (c'est-à-dire lorsque la valeur du signal WAS au contact du récepteur radar est supérieure au niveau de brouillage acceptable par le radar). Cette considération se fonde sur l'hypothèse de trajets de propagation symétriques entre le dispositif WAS et le radar.

On considère que cette méthode basée sur l'analyse du bilan des liaisons est pertinente pour étudier les cas statiques faisant intervenir un seul dispositif WAS et un seul radar. Elle se fonde sur les Recommandations UIT-R SM.337 et UIT-R M.1461 et s'applique au cas spécifique de la sélection DFS.

3 Calculs fondés sur un bilan des liaisons pour les radars visés dans la Recommandation UIT-R M.1638

La détermination du niveau de brouillage maximal acceptable produit par les émissions d'un seul dispositif WAS au niveau du récepteur radar se fonde sur la Recommandation UIT-R M.1461, qui stipule que ce niveau devrait être inférieur $N + (I/N)$, N étant le niveau de bruit inhérent au récepteur radar et I/N le rapport brouillage sur bruit (pour lequel on prend la valeur -6 dB, conformément aux Recommandations UIT-R M.1461 et UIT-R M.1638).

Le tableau des calculs est donné dans l'Appendice 1 à la présente Annexe. Exception faite du radar J, il en ressort que, dans les conditions choisies, le seuil de détection nécessaire pour protéger les radars vis-à-vis d'un seul dispositif WAS est égal à -52 dBm.

4 Calculs fondés sur un bilan des liaisons pour de nouveaux radars

Outre les radars visés dans la Recommandation UIT-R M.1638, deux nouveaux types de radars au sol ont été récemment déployés par certaines administrations de la Région 1. Les paramètres qui ont été publiés pour effectuer les calculs du bilan des liaisons sont indiqués dans l'Appendice 2 à la présente Annexe.

Il ressort des calculs que le seuil de détection nécessaire pour garantir qu'un seul dispositif WAS de 1 W de p.i.r.e. ne cause pas de brouillage aux radars en question est égal à -62 dBm.

5 Possibilité d'un seuil de détection variable

Pour les calculs de la présente Annexe, on a retenu un seul dispositif WAS extérieur de 1 W de p.i.r.e., cas le plus défavorable d'une analyse à un seul brouilleur, même s'il a été indiqué que cette configuration ne représentera pas la majorité des dispositifs WAS qui seront déployés.

On peut par conséquent prôner l'idée d'un seuil de détection variable en fonction du niveau de p.i.r.e. du dispositif WAS considéré. Conformément à la méthode appliquée dans la présente Annexe pour des scénarios associés à un seul dispositif WAS, le seuil de détection est proportionnel au niveau de p.i.r.e. du dispositif WAS.

Conformément à la méthode utilisée dans la présente Annexe pour les scénarios relatifs à un seul dispositif WAS, la valeur du seuil de détection est proportionnelle à la p.i.r.e. du dispositif WAS.

Dans ces conditions, par exemple si un dispositif WAS de 1 W de p.i.r.e. doit détecter un radar au-dessus d'un seuil de $-N$ dBm, on peut établir à $-(N - 7)$ dBm le seuil qui correspondrait à un dispositif WAS de 200 mW de p.i.r.e..

6 Incidence de l'architecture WAS sur le seuil de détection

Dans le cas d'une architecture WAS centralisée, on peut supposer que le mécanisme de sélection DFS sera commandé par un seul dispositif spécifique à l'intérieur d'un réseau ou d'une cellule. Il peut arriver que d'importantes différences d'affaiblissement sur les trajets de propagation apparaissent entre un radar et les dispositifs d'un réseau ou d'une cellule et que l'hypothèse d'un trajet de propagation symétrique entre le radar et le dispositif de détection ne soit pas valable.

Les administrations devraient envisager de prendre des mesures pour qu'aucun des dispositifs WAS que peut comprendre un réseau ne brouille des radars.

Appendice 1 à l'Annexe 5

Calcul du seuil de détection fondé sur le bilan des liaisons pour les radars visés dans la Recommandation UIT-R M.1638

	Caractéristiques	A	C	E	F	G	H1	H2	H	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	
RADAR	Fonction	Météo- rologie	Météo- rologie	Météo- rologie	Météo- rologie	Météo- rologie	Météo- rologie	Météo- rologie	Météo- rologie	Météo- rologie	Météo- rologie	Instrumen- tation	Instrumen- tation	Instrumen- tation	Instrumen- tation	Instrumen- tation	Recherche en surface et recherche aérienne	Recherche en surface et recherche aérienne	
	Type de plate-forme	Au sol/ embarquée sur un navire	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Au sol	Embarquée sur un navire	Embarquée sur un navire
	Puissance crête d'émission appliquée à l'antenne (kW)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2,25	250	2 800	1 200	1 000	165	360	285	
	Largeur de bande à $F_{1, dB}$ du récepteur (MHz)	0,5	20	0,91	0,6	0,5	0,7	4	0,1	3	10	1	4,8	4	8	8	1,5	10	
	Polarisation de l'antenne	V	H	H	H	H	H	H	H	H	H	V/circulaire lévogyre	V/circulaire lévogyre	V/circulaire lévogyre	V/circulaire lévogyre	V/circulaire lévogyre	H	H	
	Gain du faisceau principal de l'antenne (dBi)	39	44	50	40	40	50	50	50	50	35	38,3	54	47	45,9	42	28	30	
	Hauteur de l'antenne (m)	30	10	30	30	30	30	30	30	30	10								
	p.i.r.e. du radar (dBm)	123,0	128,0	134,0	124,0	124,0	134,0	134,0	134,0	134,0	98,5	122,3	148,5	137,8	135,9	124,2	113,6	114,5	
	Facteur de bruit du récepteur (dB)	7	4	2,3	3	3	3,5	3,5	1,5	1,5	3	6	5	5	11	5	5	10	
	$N = k T B F$ (dBm)	-110,0	-97,0	-112,1	-113,2	-114,0	-112,0	-104,5	-122,5	-107,7	-101,0	-108,0	-102,2	-103,0	-93,9	-99,9	-107,2	-94,0	
$N - 6$ dB	-116,0	-103,0	-118,1	-119,2	-120,0	-118,0	-110,5	-128,5	-113,7	-107,0	-114,0	-108,2	-109,0	-99,9	-105,9	-113,2	-100,0		
WAS	p.i.r.e. (dBm) en extérieur	30																	
	Régulation de la puissance d'émission (TPC) (dB)	0																	
	Largeur de bande (MHz)	18																	
	Gain d'antenne (équidirective) (dBi)	0																	
10 log (Brad/BWAS)	-15,6	0,5	-13,0	-14,8	-15,6	-14,1	-6,5	-22,6	-7,8	-2,6	-12,6	-5,7	-6,5	-3,5	-3,5	-10,8	-2,6		
	185,0	177,0	198,1	189,2	190,0	198,0	190,5	208,5	193,7	172,0	182,3	192,2	186,0	175,8	177,9	171,2	160,0		
Bilan des liaisons pour un signal WAS reçu au niveau d'un récepteur radar de seuil $N - 6$ dB	169,4	177,0	185,1	174,4	174,4	183,9	183,9	185,9	185,9	169,4	169,7	186,4	179,4	172,3	174,4	160,4	157,4		
Seuil de détection nécessaire	-46,4	-49,0	-51,1	-50,4	-50,4	-49,9	-49,9	-51,9	-51,9	-70,9	-47,4	-38,0	-41,6	-36,4	-50,2	-46,9	-42,9		

Appendice 2 à l'Annexe 5

Calcul du seuil de détection fondé sur un bilan des liaisons pour les nouveaux radars déployés par certaines administrations de la Région 1

RADAR	Fonction	Recherche aérienne
	Type de plate-forme	Au sol/embarquée
	Puissance crête d'émission appliquée à l'antenne (kW)	15
	Largeur de bande à $FI_{3\text{ dB}}$ du récepteur (MHz)	4
	Polarisation de l'antenne	V
	Gain du faisceau principal de l'antenne (dBi)	35
	Hauteur de l'antenne (m)	10
	p.i.r.e. (dBm)	106,8
	Facteur de bruit du récepteur (dB)	5
	$N = k T B F$ (dBm)	-103
	$N - 6$ dB	-109
WAS	p.i.r.e. (dBm) en extérieur	30
	TPC (dB)	0
	Largeur de bande (MHz)	18
	Gain d'antenne (équidirective) (dBi)	0

$10 \log (\text{Brad}/\text{BWAS})$	-6,5
Affaiblissement de propagation pour un signal WAS reçu au niveau d'un récepteur radar de seuil $N - 6$ dB (dB)	175,0
	168,4
Seuil de détection nécessaire (dBm)	-61,7

Il convient de noter que l'on se place ici dans l'hypothèse d'un seul dispositif WAS de 1 W de p.i.r.e., ce qui peut correspondre à la valeur de puissance la plus élevée d'une distribution statistique de p.i.r.e. associée à un déploiement de dispositifs WAS (voir par exemple le Tableau 6 de l'Annexe 6). A titre d'exemple, une valeur de p.i.r.e. plus petite (< 100 mW) conduit à accroître de 10 dB le seuil T_{DFS} .

Annexe 6

Paramètres et méthode pour étudier les brouillages cumulatifs dans le cas de systèmes WAS, y compris les réseaux RLAN, et de systèmes du service de radiorepérage dans la bande des 5 GHz

A noter qu'ont été utilisés pour définir le scénario de référence des études à mener pour déterminer les paramètres de la sélection DFS:

- La Recommandation UIT-R M.1461 pour les calculs des brouillages.
- Le diagramme d'antenne radar visé à l'Appendice 1 à la présente Annexe.
- Le diagramme d'antenne WAS visé à l'Appendice 2 à la présente Annexe.
- La probabilité de détection (voir l'Annexe 4) dans les études de partage pour déterminer les brouillages cumulatifs subis par les radars. Cette probabilité a été fixée pour chaque pas d'incrément.
- Un pas d'incrément de 1°.
- Trois anneaux concentriques pour définir la zone de déploiement des dispositifs WAS (voir le Tableau 5). Il convient d'appliquer une distribution uniforme de ces dispositifs dans chaque zone volumétrique (hauteur comprise).

TABLEAU 5

Distribution des utilisateurs de dispositifs WAS

	Zone urbaine	Zone suburbaine	Zone rurale
Rayon à partir du centre (km)	0-4	4-12	12-25
Pourcentage d'utilisateurs WAS (%)	60	30	10
Hauteur des bâtiments (m)	30	6	6

- Un total de 2 753 dispositifs WAS exploités à un moment donné dans le même canal qu'un système du service de radiorepérage.
- La distribution de puissance WAS du Tableau 6.

TABLEAU 6

Distribution de puissance des dispositifs WAS

Niveau de puissance	1 W	200 mW	100 mW	50 mW
Utilisateurs de dispositifs WAS (%)	5	25	40	30

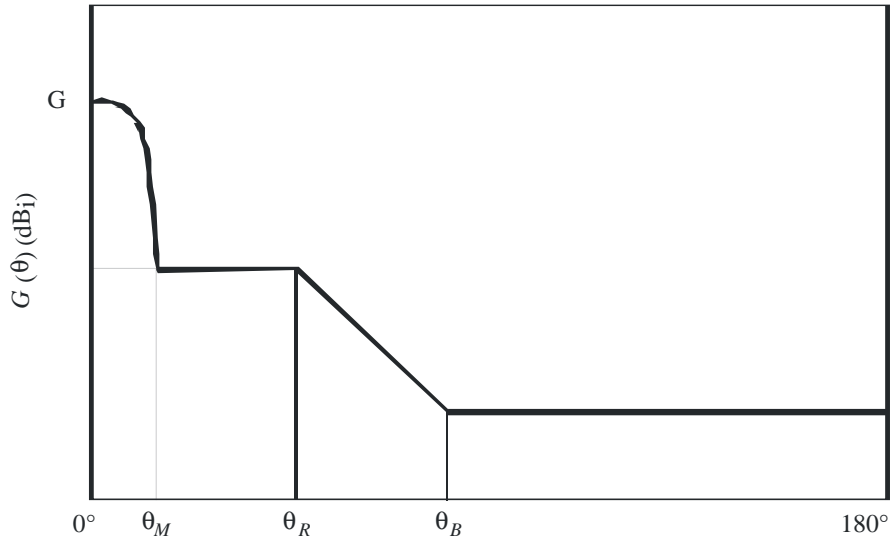
- Les radars de poursuite ont été modélisés d'abord en choisissant un positionnement et un angle de visée initial aléatoires, puis en les pointant directement vers l'horizon opposé.
- Les radars maritimes ont été modélisés, en les pointant d'abord en direction de l'horizon de la zone rurale, puis en direction du centre de la zone urbaine.

- Les radars aéroportés ont été modélisés en les pointant d'abord en direction de l'horizon de la zone rurale, puis au-dessus du centre de la zone urbaine.
- Les études ont retenu les radars suivants:
 - C, I, K, P et S, visés dans la Recommandation UIT-R M.1638.
- Pour les radars au sol, on a utilisé pour déterminer l'affaiblissement sur le trajet de propagation associé à chaque dispositif WAS, un facteur de propagation aléatoire compris entre 20 et 35 $\log D$ ainsi qu'un facteur aléatoire pour l'affaiblissement dû au relief et aux bâtiments compris entre 0 et 20 dB. Une distribution uniforme a été appliquée pour déterminer ces valeurs.
- Pour les radars aéroportés, un affaiblissement de propagation en espace libre de +17 dB.
- Pour les radars maritimes, un affaiblissement de propagation en espace libre compris entre 0 et 20 dB.
- Enfin, un calcul en visibilité directe pour une Terre régulière; les éventuels dispositifs WAS situé au-delà de la ligne de visibilité directe ont en effet été écartés.

Appendice 1 à l'Annexe 6

Etant donné qu'il n'existe pas actuellement à l'UIT de diagramme d'antenne radar de référence, le diagramme ci-après a été choisi comme diagramme de base. Un modèle de gain d'antenne statistique est utilisé pour déterminer le gain d'antenne radar suivant les directions d'azimut et d'élévation. Il donne le gain d'antenne en fonction de l'angle hors axe (θ) pour un gain d'antenne/de faisceau principal donné (G). Il comprend des algorithmes différents pour les antennes à gain très élevé, à gain élevé et à gain moyen, ce qui correspond respectivement à des gains supérieurs à 48 dBi, à des gains compris entre 22 et 48 dBi et à des gains compris entre 10 et 22 dBi. La forme générale de la distribution du gain d'antenne est illustrée sur la Fig. 1. Les équations correspondant aux angles θ_M (premier lobe latéral), θ_R (région des lobes latéraux proches) et θ_B (région des lobes latéraux éloignés) sont indiquées dans le Tableau 7. Les gains d'antenne en fonction de l'angle hors axe sont indiqués respectivement dans les Tableaux 8, 9, et 10 pour les antennes à gain très élevé, à gain élevé et à gain moyen. L'angle θ est exprimé en degrés et toutes les valeurs de gain sont exprimées en décibels par rapport à une antenne isotrope (dBi).

FIGURE 1



M.1652-01

TABLEAU 7

Définitions des angles

Gain très élevé ($G > 48$ dBi)	Gain élevé ($22 < G < 48$ dBi)	Gain moyen ($10 < G < 22$ dBi)
$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 27,466 10^{-0,3G/10}$ $\theta_B = 48$	$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 250 / 10^{G/20}$ $\theta_B = 48$	$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 250 / 10^{G/20}$ $\theta_B = 131,8257 10^{-G/50}$

TABLEAU 8

Equations pour les antennes à gain très élevé ($G > 48$ dBi)

Intervalle angulaire (degrés)	Gain (dBi)
0 à θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$
θ_M à θ_R	$0,75 G - 7$
θ_R à θ_B	$29 - 25 \log(\theta)$
θ_B à 180	-13

TABLEAU 9

Equations pour les antennes à gain élevé ($22 < G < 48$ dBi)

Intervalle angulaire (degrés)	Gain (dBi)
0 à θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$
θ_M à θ_R	$0,75 G - 7$
θ_R à θ_B	$53 - (G/2) - 25 \log (\theta)$
θ_B à 180	$11 - G/2$

TABLEAU 10

Equations pour les antennes à gain moyen ($10 < G < 22$ dBi)

Intervalle angulaire (degrés)	Gain (dBi)
0 à θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$
θ_M à θ_R	$0,75 G - 7$
θ_R à θ_B	$53 - (G/2) - 25 \log (\theta)$
θ_B à 180	0

Appendice 2

à l'Annexe 6

Diagrammes d'antenne WAS

Le diagramme d'antenne WAS en azimut est équidirectif. Le diagramme d'antenne WAS en élévation a été déterminé après examen des diagrammes d'antenne WAS. Le diagramme utilisé est décrit dans le Tableau 11. Il convient de noter que l'utilisation d'antennes WAS directives, présentant la même p.i.r.e., pourrait entraîner des niveaux moins élevés du brouillage subi par le récepteur de radiopérage mais pourrait conduire à des niveaux beaucoup plus élevés du brouillage subi par le récepteur WAS si un couplage faisceau à faisceau venait à se produire.

TABLEAU 11

Diagramme d'antenne WAS en élévation

Angle d'élévation, φ (degrés)	Gain (dBi)
$45 < \varphi \leq 90$	-4
$35 < \varphi \leq 45$	-3
$0 < \varphi \leq 35$	0
$-15 < \varphi \leq 0$	-1
$-30 < \varphi \leq -15$	-4
$-60 < \varphi \leq -30$	-6
$-90 < \varphi \leq -60$	-5

Pour rayonner une p.i.r.e. de 1 W, la plupart des dispositifs devront disposer généralement d'un gain d'antenne de 6 dBi. A ce diagramme correspond la description ci-après qui est conforme à la Recommandation UIT-R F.1336:

$$G(\theta) = \max[G_1(\theta), G_2(\theta)]$$

$$G_1(\theta) = G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_3} \right)^2$$

$$G_2(\theta) = G_0 - 12 + 10 \log \left[\left(\max \left\{ \frac{|\theta|}{\theta_3}, 1 \right\} \right)^{-1,5} + k \right]$$

$$\theta_3 = 107,6 \times 10^{-0,1G_0}$$

où:

$G(\theta)$: gain d'antenne (dBi)

θ : angle d'élévation (degrés)

$k = 0,5$

$G_0 = 6$ dBi.

Annexe 7

Analyse des résultats de l'évaluation des brouillages et recommandations concernant les valeurs de seuil DFS

Un résumé des résultats des simulations effectuées à partir des méthodes présentées dans les Annexes 5 et 6 concernant premièrement, les brouillages statiques causés par un seul dispositif WAS et, deuxièmement, les brouillages cumulatifs causés par un déploiement de dispositifs WAS à un récepteur radar est présenté ci-après pour les radars concernés fonctionnant dans la bande des 5 GHz.

Le Tableau 12 donne les valeurs obtenues avec les calculs de l'Annexe 5 dans le cas de brouillages causés par un seul dispositif WAS.

TABLEAU 12

Valeurs obtenues avec les calculs de l'Annexe 5

Radar (cas de l'Annexe 5)	Analyse du bilan des liaisons (cas de l'Annexe 5)	-62 dBm pour un dispositif de 1W de p.i.r.e.
		-55 dBm pour un dispositif de 0,2 W de p.i.r.e.
		-52 dBm pour un dispositif de 0,1 W de p.i.r.e.

On trouvera dans le Tableau 13 un résumé des niveaux de seuil de protection requis obtenus à partir des calculs de modélisation des brouillages cumulatifs.

TABLEAU 13

Niveaux de seuil de protection requis

Type de radar	Scénario de simulation	Seuil DFS de protection (T_{DFS}) (Note 1)
Radars tournants A, C, E, F, G, H, I, J. Radars P et Q	Celui de l'Annexe 6	-52 dBm, assorti de considérations opérationnelles liées aux systèmes radars
Radar I	Celui de l'Annexe 6 mais avec une hauteur de l'antenne radar comprise entre 500 et 1 000 m	-62 dBm
Radar S	Celui de l'Annexe 6	Voir la Note 2
Radar K	Celui de l'Annexe 6	-67 dBm
	Celui de l'Annexe 6 mais avec une densité de dispositifs WAS réduite de moitié	-64 dBm
	Celui de l'Annexe 6 mais avec une p.i.r.e. de 50 mW pour tous les dispositifs WAS	-62 dBm

NOTE 1 – On suppose un gain d'antenne de réception normalisé à 0 dBi pour un dispositif WAS.

NOTE 2 – La situation de partage entre ce radar et les dispositifs WAS est extrêmement difficile. Les calculs initiaux fondés sur les résultats de base indiquent que le seuil de détection DFS devrait être inférieur au seuil du bruit de fond opérationnel. Après discussions, il est apparu que l'utilisation des systèmes radars en question se limitait aux seuls avions militaires. Il a été convenu de ne pas tenir compte de ce type de radar lors de la fixation d'un seuil de détection.

Notes relatives aux paramètres et aux méthodes utilisés

On peut résumer comme suit l'incidence d'une modification de paramètres ou de la méthode utilisés:

- a) Une diminution de moitié de la densité des dispositifs actifs conduit à accroître T_{DFS} de 3 dB. Inversement, un doublement de la densité des dispositifs actifs conduit à diminuer T_{DFS} de 3 dB.
 - b) La puissance d'émission d'un seul brouilleur retenue dans les calculs du bilan des liaisons a une incidence directe dB par dB sur le seuil de protection requis. Dans le cas de l'analyse des brouillages cumulatifs, cette incidence dépend de la distribution des niveaux de puissance utilisée pour la simulation.
 - c) Dans la plupart des cas, la façon dont les variables interagissent dans le modèle des brouillages cumulatifs n'est pas intuitive, et des conclusions simples ne peuvent donc pas être tirées de modifications apportées à une seule variable.
-