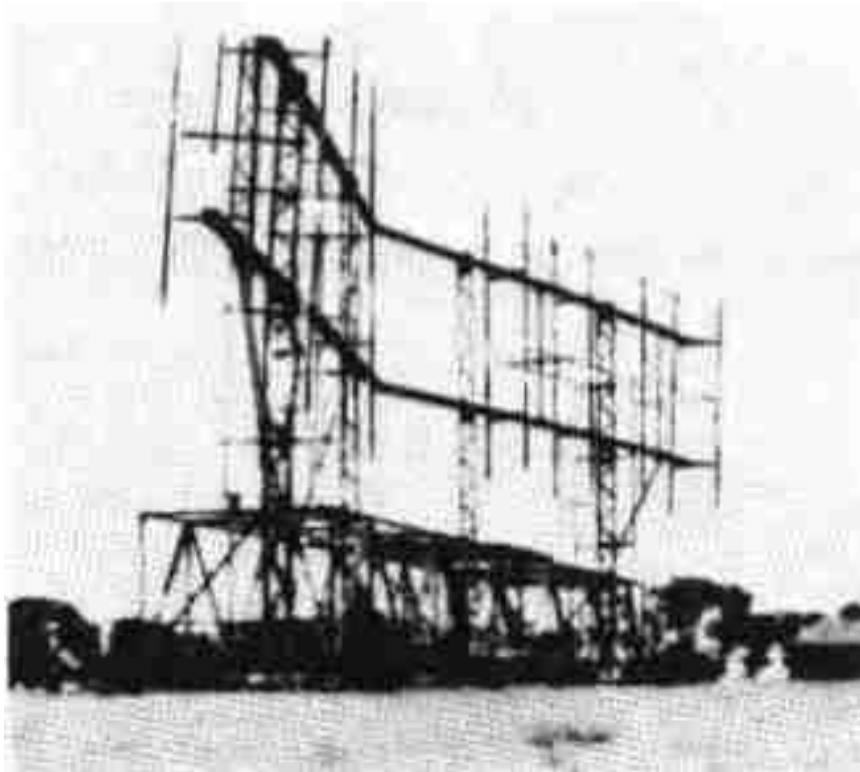


La bataille des faisceaux

Par

Pierre Goyette



e-mail: piergoyet@sympatico.ca

Brossard, QC, le 8 avril 2003

La bataille des faisceaux

Première partie

*Ces articles sont une traduction et une adaptation d'une série publiée initialement dans le **Practical Wireless**, PW Publishing Ltd., en janvier, février et mars 1988, par D.V. Pritchard, G4GVO. Ils racontent le combat des scientifiques britanniques pour contrer les bombardements de l'aviation allemande sur la Grande-Bretagne, pendant la Seconde guerre mondiale.*

Nous vivons à une époque où il est maintenant possible de connaître sa position sur la terre en manipulant un petit récepteur qui va calculer les signaux transmis par satellite. Il est nécessaire de se pénétrer du niveau de technique qui existait en 1940 pour bien comprendre la problématique à laquelle faisaient face les belligérants. Si, lorsque vous visitez un hamfest, vous voyez un émetteur-récepteur militaire datant de cette période, vous aurez une idée de ce qu'étaient les communications radio il y a 60 ans.

L'acteur principal anglais de ce combat fut le professeur R.V. Jones, officier du renseignement scientifique, à qui on confia la tâche de découvrir les applications électroniques que les Allemands avaient mises en place. Ses recherches amenèrent Jones à penser que l'ennemi utilisait un système de radio-navigation pour guider les bombardiers sur les cibles anglaises, la nuit. Les méthodes de navigation de nuit étaient assez rudimentaires et consistaient à se fier aux étoiles, avec la boussole, le sextant et des cartes, ce qui était loin d'assurer la précision requise.

L'intuition de Jones fut confirmée par la récupération de matériel dans des bombardiers abattus, l'interrogatoire de prisonniers et le déchiffrement des communications de l'état-major de la *Luftwaffe*.

Knickebein

Les documents capturés mentionnaient le mot *Knickebein*, qu'on pourrait traduire par « Jambe pliée », avec des coordonnées topographiques et des fréquences radio de 30, 31.5 et 33.3 MHz.

Or, en 1940, les conditions de propagation à ces fréquences étaient méconnues, et plusieurs scientifiques anglais ne croyaient pas qu'une onde radio à ces fréquences pouvait suivre la courbe de la terre, pour atteindre un récepteur distant de plusieurs centaines de kilomètres. D'autre part, la possibilité de créer des faisceaux étroits nécessiteraient des complexes d'antennes à des fréquences trop élevées pour l'époque.

L'atterrissage sans visibilité pour l'aviation tant civile que militaire, se faisait par la méthode Lorenz . Le Lorenz consistait en un radiophare d'une portée de 3 à 5 km qui, placé en bout de piste, transmettait une porteuse entre 30 et 33.5 MHz, modulée à 1150 Hz, à une dipole avec des traits d'un côté et des points de l'autre, grâce à un mécanisme alternatif. À l'intérieur d'un arc de 3 °, le navigateur entendait un note continue, lui indiquant qu'il était aligné avec la piste.

Ce système fut perfectionné par les scientifiques allemands, pour répondre aux besoins de guidage des avions sur de longues distances, dans des conditions de black-out. L'ensemble des antennes était supporté par des poutrelles métalliques de 30 mètres de hauteur et 90 mètres de longueur, qui pivotaient sur un tablier circulaire. Au centre de ce tablier, un émetteur de 50 watts était réglé sur des fréquences de 30 à 33.3 MHz . Ce cadre métallique supportait 16 dipôles et réflecteurs verticaux, en deux groupes de 8 antennes à deux éléments, à 165 ° l'un de l'autre. En 1940, les Allemands avaient construits 10 systèmes *Knickebein* plus petits. Ces derniers étaient placés sur un tablier circulaire de 45 mètres de diamètre, et chaque côté de l'antenne était formé de 4 ensembles de dipôles verticales avec un élément réflecteur. Le système à 8 antennes avait une largeur de faisceau de $\pm 0.6^\circ$. Afin de permettre une plus grande largeur de bande, les petits *Knickebein* étaient bâtis avec des tuyaux à large diamètre. On voit, par ces données techniques, que la construction d'antennes répond à des principes physiques immuables au fil du temps.

Les récepteurs à bord des bombardiers allemands étaient des versions ultrasensibles de ceux utilisés pour le système Lorenz, et pouvaient capter le faisceau d'ondes à une distance de 500 km et à une altitude de 6500 m. C'est d'ailleurs cette sensibilité accrue qui intrigua les techniciens britanniques qui examinèrent les carcasses des appareils abattus, car aucun autre équipement radio n'avait été installé dans le poste de pilotage.

Donc, aussi longtemps que le pilote gardait le cap, un son continu lui parvenait par le récepteur. S'il déviait à gauche ou à droite, il entendait des traits ou des points, lui indiquant qu'il devait corriger sa route, jusqu'à ce qu'il reçoive un son continu. À une distance prédéterminée de l'objectif, un second faisceau modulé sur une autre fréquence, se superposait au premier, indiquant au pilote sa distance de l'objectif. C'était le principe de triangulation, mais cette fois avec deux signaux intersectant un point commun, au lieu d'un signal perçu en deux azimuts différents.

Évidemment, tout ceci était inconnu des Britanniques en 1940! Le Docteur Jones eut à convaincre les responsables militaires et politiques de l'existence de tels faisceaux. Une équipe de pilotes survola un corridor indiqué par les documents capturés tout en tentant de capter les faisceaux. Et effectivement, leur récepteur Hallicrafters perçut une transmission de points à 31.5 MHz. Tournant vers le nord, ils entendirent un son continu puis, tel que prévu, une zone de traits. La porteuse était modulée à 1150 Hz. Ils détectèrent également un autre faisceau qui, combiné avec le premier, indiquait comme cible la ville de Derby, où l'usine de Rolls-Royce produisait des moteurs d'avions pour la Royal Air Force.

On peut deviner le soulagement du professeur Jones, lorsque les équipages lui rapportèrent le fait. Sa théorie, jusqu'alors battue en brèche par des sommités scientifiques et des responsables militaires du plus haut rang, se trouvait confirmée sans équivoque: Les Allemands guidaient leurs bombardiers la nuit par un système de faisceaux à ondes courtes, à partir d'émetteurs situés en Allemagne et dans les pays occupés.

Contre-attaque

Il fallait trouver une parade à cette méthode, car les bombardements de nuit créaient d'immenses dégâts et de nombreuses pertes parmi la population civile. La première étape consistait à répertorier les faisceaux, leurs fréquences, leurs azimuts, les endroits visés, etc. En installant des récepteurs au sommet des pylônes de leur chaîne de radars, les Anglais purent apprendre les caractéristiques des faisceaux et préparer une contre-mesure.

Les premiers brouillages furent faits avec des appareils de diathermie, méthode thérapeutique utilisée pour cautériser des plaies, à l'aide de chaleur produite par un courant de haute fréquence. On réquisitionna ces appareils dans les hôpitaux et ils furent resynchronisés sur les fréquences *Knickebein*. Utilisant les antennes des stations de police, ils émettaient un signal parasite se superposant au signal continu reçu par les bombardiers.

Ce brouillage rudimentaire fut remplacé par un système d'émetteurs qui envoyaient un signal court se confondant avec celui des émetteurs allemands. Le signal court anglais était transmis dans la zone continue du signal allemand. Le pilote, entendant les deux ondes déviait vers la zone des signaux longs, pour espérer retrouver uniquement le son continu, ce qui l'amenait encore plus loin de son objectif, dans sa propre zone de sons longs, qui souvent se confondaient avec les signaux courts anglais pour créer un faux corridor de sons continus.

Malgré les dévastations causées par les bombardements, les Anglais constatèrent que de plus en plus de bombes tombaient en pleine campagne après des raids nocturnes, un signe évident que leurs mesures de brouillages devenaient plus efficaces. La reconnaissance photographique aérienne, le déchiffrement des communications ennemies et les rapports fournis par la Résistance, leur permirent de fixer de façon précise l'emplacement des émetteurs allemands.

Après la guerre, les Anglais apprirent que les pilotes allemands avaient perdu toute confiance dans leur système de faisceaux, et préféraient se fier à leurs méthodes habituelles de navigation, toutes imparfaites qu'elles soient. Ils étaient convaincus que les Anglais avaient trouvé le moyen de "courber" les faisceaux. Il s'écoula plusieurs mois avant que le chef de la *Luftwaffe*, Herman Goëring, fut mis au courant, tellement on craignait sa réaction!

Bibliographie:

1. JONES, R.V. La guerre ultra-secrète. Traduit de l'anglais par Philippe Sabathé. Paris, Plon , 1978, 503 pages.
2. WEST, Nigel. The Sigints Secrets. William Morrow and Company, Inc. New-York, 1986, 347 pages.

La bataille des faisceaux 2^{ème} partie

Dans le premier article, nous avons vu que les Allemands avaient mis au point une méthode de guidage de leurs bombardiers pour les missions nocturnes sur la Grande-Bretagne. Baptisé *Knickebein* en raison de l'angle que formaient entre eux les deux ensembles d'antennes, ce système permettait de se rendre sur la cible grâce à des croisements de faisceaux radio. L'équipe du professeur R.V.Jones avait réussi à identifier ces ondes et à les brouiller, diminuant ainsi radicalement la précision des bombardiers.

Néanmoins, dès 1934, alors que *Knickebein* en était à ses premiers balbutiements, les scientifiques allemands éprouvaient déjà des doutes quant à sa résistance à un brouillage éventuel. D'autres équipes travaillaient sur des appareillages plus évolués. Afin d'obtenir un faisceau très étroit, de l'ordre de $0,1^\circ$, avec un réseau d'antennes de dimensions raisonnables, il fallait envisager des fréquences entre 66 et 77MHz. Car au-delà des contraintes de fabrication d'antennes gigantesques, il fallait aussi garder à l'esprit que ces antennes devraient être camouflées aux observations ennemies.

Vers 1938, les Allemands avaient construit des installations facilement démontables et transportables, avec des cabines pour les opérateurs et un réseau d'antennes assemblées sur une plate-forme pouvant pivoter de 360° . Les antennes étaient fixées à des échafauds et distantes de 14,75 mètres, ce qui correspondait à 3,5 longueurs d'onde. Au début, de simples dipôles verticales mesurant une demi-longueur d'onde étaient utilisées, mais on y ajouta des éléments directeurs et réflecteurs pour augmenter la puissance et la portée. Ce système générait un éventail de 14 faisceaux ayant chacun une largeur de $0,05^\circ$. L'équipement de réception radio aéroporté avait aussi été radicalement amélioré, entre autres par le Dr Telefunken, qui avait développé un récepteur superhétérodyne pouvant opérer entre 66 et 77 MHz, et dont le nom de

code *Anna* allait être découvert plus tard par les Anglais. Ce système de guidage portait le nom de *X-Gerät*.

X-GERÄT

Des 14 faisceaux générés, un était désigné pour agir comme faisceau directeur. Celui-ci, orienté sur la cible fournissait le tracé à suivre par l'avion. Comme *Knickebein*, le pilote observait un cadran indicateur lui indiquant s'il était à gauche ou à droite du faisceau directeur. Les bombardiers, afin de tromper l'ennemi, ne volaient pas le long du faisceau directeur immédiatement après leur envol. À approximativement 30 km de l'objectif, l'avion entendait le premier faisceau de croisement lui aussi formé de traits et de points, mais sur une fréquence différente de celle du faisceau directeur. L'opérateur radio à bord du bombardier utilisait une sorte de calculateur qui intégrait les caractéristiques du faisceau de croisement, le type d'avion, la vitesse et l'altitude.

Lorsque l'avion traversait un deuxième faisceau de croisement, un autre bouton sur le calculateur était enfoncé. Finalement, le faisceau de croisement principal était situé à 5 km de la cible. Si toutes les données avaient été entrées correctement dans le calculateur, les bombes seraient larguées automatiquement sur l'objectif, sans autre intervention de l'équipage du bombardier.

Encore une fois, tous ces renseignements techniques furent connus de façon complète à la fin du conflit seulement, lorsque les Britanniques purent interroger les responsables scientifiques allemands. Pendant la période des bombardements, l'équipe du professeur Jones procédait avec tâtonnement, recoupant inlassablement les renseignements fournis par la Royal Air Force, les rapports transmis par les résistants en pays occupés et le déchiffrement des communications radio interceptées par entre autres les *Voluntary Interceptors*, un groupe de radioamateurs qui écoutaient sans interruption, les différentes transmissions allemandes et relayaient les messages aux autorités. Jones se doutait que les Allemands utilisaient à la fois le *Knickebein* et le *X-Gerät* pour guider les escadrilles de bombardiers. Cela lui fut confirmé par le déchiffrement

d'un message qui mentionnait le mot *X-Gerät* associé à l'équipement d'une escadrille d'élite de la *Luftwaffe*.

ANNA

La récurrence du mot ANNA avec une série de nombres amena les Anglais à conclure qu'il s'agissait de fréquences de cristaux à installer pour une mission particulière. D'autres écoutes indiquèrent que les nombres ANNA indiquaient les fréquences des faisceaux larges et étroits entre 65 et 75 MHz. Armés de ces renseignements, les Britanniques pouvaient espérer mettre en place des mesures de brouillage et aussi intercepter les bombardiers. Mais quoique le brouillage de *Knickebein* fonctionnait, le *X-Gerät* semblait imperméable.

COVENTRY

Pour être capable de brouiller les faisceaux allemands, il fallait pouvoir émettre une pulsation modulée à la fréquence que les filtres des récepteurs laisseraient passer. Et c'est à ce niveau que se produisit l'erreur qui allait mener à la catastrophe de Coventry. Les messages codés aux équipages de bombardiers allemands n'avaient pu être déchiffrés avant l'attaque. Jones avait donc fourni un ensemble de fréquences de faisceaux à brouiller selon son expérience et ses suppositions. Le bombardement eut lieu avec des pertes civiles élevées et des dégâts matériels très lourds. Apparemment le brouillage anglais n'avait pas eu l'effet escompté. Lorsque les messages déchiffrés furent remis à Jones le lendemain de l'attaque, il constata que ses suppositions quant aux fréquences des faisceaux étaient correctes. Un bombardier allemand s'étant écrasé près de la côte, les Anglais purent examiner le récepteur dans la cabine de pilotage. Les techniciens découvrirent que le filtre audio était calibré pour laisser passer une note de 2000 Hz, alors que les appareils de brouillage anglais avaient été réglés pour une note de 1500 Hz. Cette négligence, inexcusable aux yeux de Jones car il était facile de déterminer la fréquence requise, avait coûté la vie à plus de 500 personnes.

La modulation des ondes de brouillage fut ajustée à 2000 Hz. Plus tard, les Allemands bombardèrent Birmingham, mais cette fois leurs bombes s'égarèrent dans la nature pour la plupart. Comme avec le *Knickebein*, la confiance des pilotes ennemis diminua quand ils s'aperçurent que les Anglais avaient trouvé le moyen de perturber le système. Pour Jones et son équipe, le combat continuait.

Bibliographie:

1. JONES, R.V. La guerre ultra-secrète. Traduit de l'anglais par Philippe Sabathé. Paris, Plon , 1978, 503 pages.
2. WEST, Nigel. The Sigints Secrets. William Morrow and Company, Inc. New-York, 1986, 347 pages.

La bataille des faisceaux

3^{ème} partie

Le Système Y

Pendant que les Anglais réussissaient à brouiller les faisceaux *Knickebein* et *X-Gerät*, de nouveaux messages adressés à un émetteur au nord-ouest de Cherbourg mentionnaient un système Y. Ces messages étaient différents des précédents car ils ne mentionnaient pas une direction à suivre mais plutôt des coordonnées précises de la cible choisie. Les Anglais en vinrent à la conclusion que ce nouveau système n'utilisait qu'un seul faisceau avec une méthode de mesure des distances parcourues.

Fonctionnement

Les réseaux d'écoute signalèrent que les Allemands émettaient des faisceaux sur des fréquences de 40 à 50 MHz. Ces signaux étaient différents des *Knickebein* et *X-Gerät*. Au lieu de traits et de points de part et d'autre de la direction à suivre, les signaux étaient de même durée et se répétaient de la façon suivante: signal transmis par le faisceau de droite, pause, signal du faisceau de gauche, pause, et à nouveau signal de droite, etc. De plus, les Anglais découvrirent que les pilotes allemands, au lieu d'écouter des tonalités suivaient maintenant leur progression à l'aide d'un cadran qui leur indiquait s'ils déviaient du parcours déterminé.

Les antennes de ce nouveau système étaient un assemblage de 7 dipôles parallèles avec leurs réflecteurs, ce qui générait un lobe allongé et deux petits lobes latéraux. À une demi-longueur d'onde en avant de cet ensemble deux autres dipôles espacées d'une longueur d'onde créaient un patron de propagation en forme de cardioïde (voir la photographie prise par un résistant norvégien).

Deux groupes de faisceaux étaient ainsi transmis, un pour le trajet aller et un pour le retour de mission. Les antennes directionnelles

produisant le lobe allongé fournissaient un signal de 176 impulsions par minute, suivies par les antennes à patron de cardioïde.

Les Anglais récupérèrent le carnet de notes d'un pilote abattu qui contenait les fréquences du faisceau et du système de mesure des distances. De façon générale, la station terrestre émettait un signal modulé selon une sinusoïde sur 42,5 MHz. Ce signal était détecté, amplifié et retransmis de l'avion à 46,9 MHz vers la station terrestre. La distance de l'avion à l'objectif était calculée à partir du délai entre le signal émis et le signal reçu par la station terrestre. De plus, une forme d'analyseur visuel indiquait au pilote s'il déviait de sa route.

Tout au long de cette lutte, les Britanniques ne cessaient de s'étonner du laxisme des Allemands, qui permettaient à leurs équipages de s'envoler avec des renseignements aussi révélateurs que les coordonnées des cibles. Cela fut une confirmation de plus que le déchiffrement des transmissions *Enigma* était toujours un secret bien gardé, ce qui expliquait que les Allemands étaient moins sur leurs gardes, croyant que leurs messages codés étaient inviolables. Rappelons que ce n'est qu'en 1974 qu'un coin du voile fut levé sur cet aspect de la guerre secrète.

La contre-attaque

Le professeur Jones, qui était un pince-sans-rire redoutable pour ses collègues, imagina une parade au système Y dès que son fonctionnement fut connu. Les stations d'écoute anglaises pouvaient recevoir très clairement le signal de 46,9 MHz transmis par l'avion allemand. On devine la suite: il s'agissait de retransmettre à l'avion, sur 42,5 MHz, la fréquence terrestre des émetteurs allemands, un signal qui serait émis vers la station allemande de Cassel (voir l'illustration). On peut comparer le résultat à celui de hauts-parleurs qui agissent sur un microphone et créent un effet *feedback*. Comme le signal anglais aurait fait un circuit de plus avant de parvenir à la station terrestre cela tromperait les opérateurs allemands sur la distance de l'avion à son

objectif. La BBC possédait un émetteur de télévision (oui déjà à cette époque!) à Alexandra Palace qui opérait dans la bonne bande de fréquences. Le résultat fut tel que prévu. Les échanges acrimonieux entre les pilotes de bombardiers et leurs guides terrestres attestèrent que la ruse anglaise fonctionnait.

Épilogue

Les trois systèmes de faisceaux pouvaient maintenant être brouillés, ce qui ne signifiait pas la fin des raids de bombardement de la part des Allemands, mais au moins leur efficacité serait grandement diminuée.

Les informations en provenance d'Europe donnèrent une image de plus en plus complète de la façon avec laquelle les Allemands avaient utilisé les faisceaux.

Les premiers émetteurs X avaient été déployés lors des raids sur Varsovie en 1939, puis pendant la campagne de France en 1940. Ce n'est qu'après l'échec de la *Luftwaffe* d'éliminer l'aviation anglaise pendant l'été 1940 et le brouillage des faisceaux *Knickebein*, que les stratèges allemands se résolurent à accorder de l'importance aux réseaux X et Y. De l'aveu même du professeur Jones, si les Allemands avaient choisi de mettre tous les faisceaux en opération simultanément, il aurait été pratiquement impossible de les contrer et les destructions et les pertes de vie résultant des bombardements auraient été beaucoup plus sévères. D'ailleurs, les premières contre-mesures des Allemands furent de multiplier le nombre d'émetteurs, selon la théorie que les Anglais ne pourraient tous les brouiller, ce qui à la limite était vrai, car il fallait, par exemple, trois émetteurs pour brouiller un seul faisceau directeur.

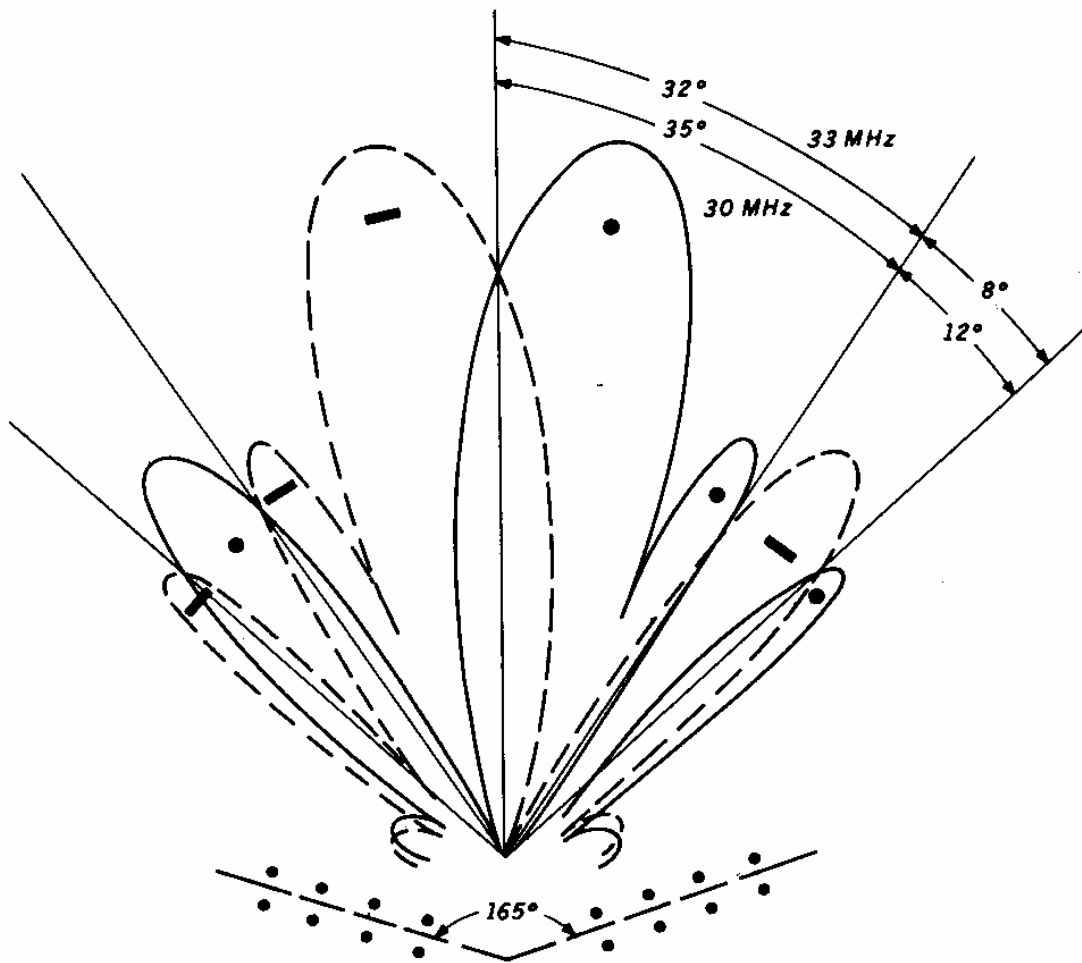
De plus, la menace d'un débarquement en Angleterre n'était pas complètement écartée en 1940. En février 1941, les Allemands continuaient à bombarder les ports anglais, la guerre sous-marine rendait le rationnement encore plus sévère, car les équipes de

déchiffrement britanniques ne parvenaient pas à percer le secret des *Enigma* de la marine allemande.

L'événement majeur qui permit aux Anglais de prendre progressivement l'avantage de la guerre aérienne fut la décision d'Hitler d'attaquer l'URSS en juin 1941, ce qui l'amena à déplacer ses ressources vers l'Europe de l'Est en vue de cette opération. L'entrée en guerre des Etats-Unis, après l'attaque de Pearl Harbor le 7 décembre 1941, renversa complètement la situation. Mais cela est une autre histoire...

Bibliographie

1. JONES, R.V. La guerre ultra-secrète. Traduit de l'anglais par Philippe Sabathé. Paris, Plon , 1978, 503 pages.
2. WEST, Nigel. The Sigints Secrets. William Morrow and Company, Inc. New-York, 1986, 347 pages.
3. WINTERBOTHAM, F.W. The Ultra Secret. Dell Publishing, New-York, 1974, 286 pages.



The antenna pattern of the Knickebein array.

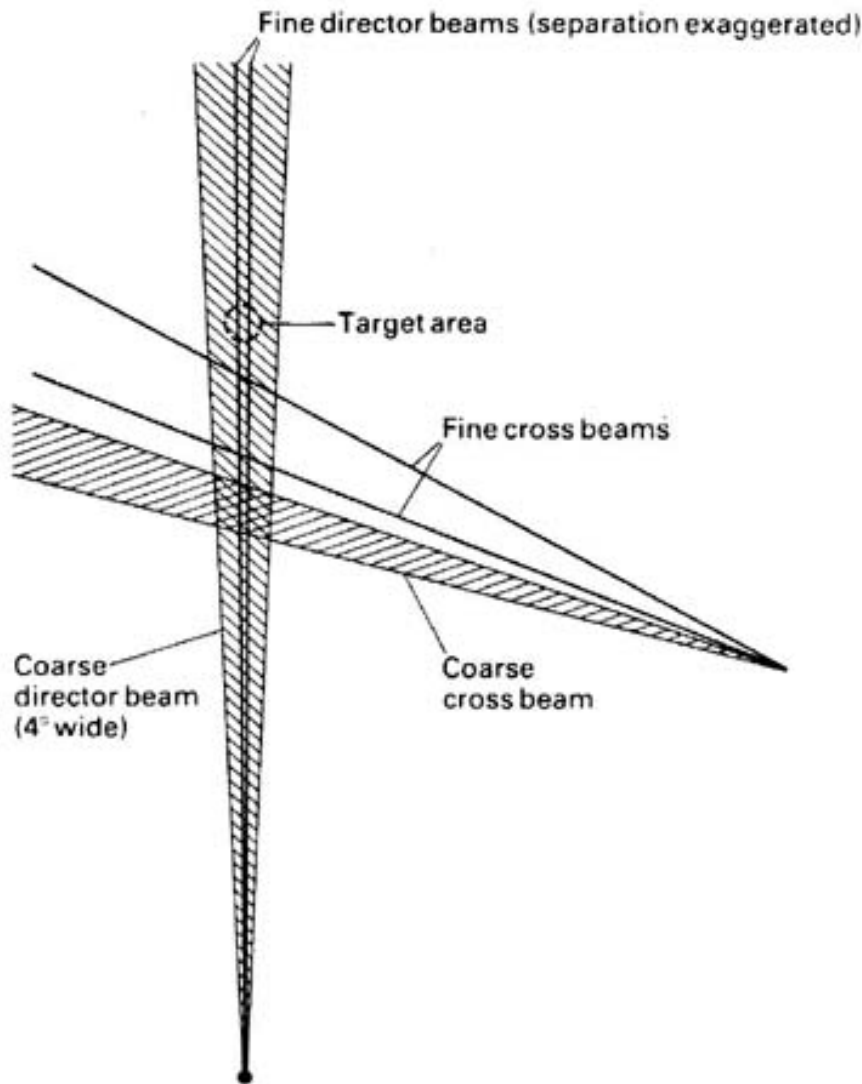


FIG. 9.2 **X-Gerät** X-Gerät was on the same principle as Knickebein but answered the need for more accurate beams and precision timing of bomb release, plus resistance to countermeasures. Working at about 75 megahertz, it used three approach beams: one broad, with two fine beams within it either serving for precision approach. The first cross beam was broad, serving to alert the crew. The second was fine, encountered normally 20 kilometres before the target. It was the signal to start a stop-watch with two hands, one moving faster than the other. The third beam, 15 kilometres further on and 5 kilometres before the target, was the signal to press the stop-watch knob again. This stopped the fast hand. When the slow hand caught up, an electrical contact caused bomb release. In other words the stop-watch measured the aircraft's time to cover 15 kilometres and allowed for another 5 kilometres to be traversed, assuming the same speed. To discount the forward distance the bombs would travel after release. Depending on height, an auxiliary hand, moving with the fast hand, was off-set backwards by an adjustable amount; this hand made the electrical contact. Jamming of X-Gerät was not very effective.

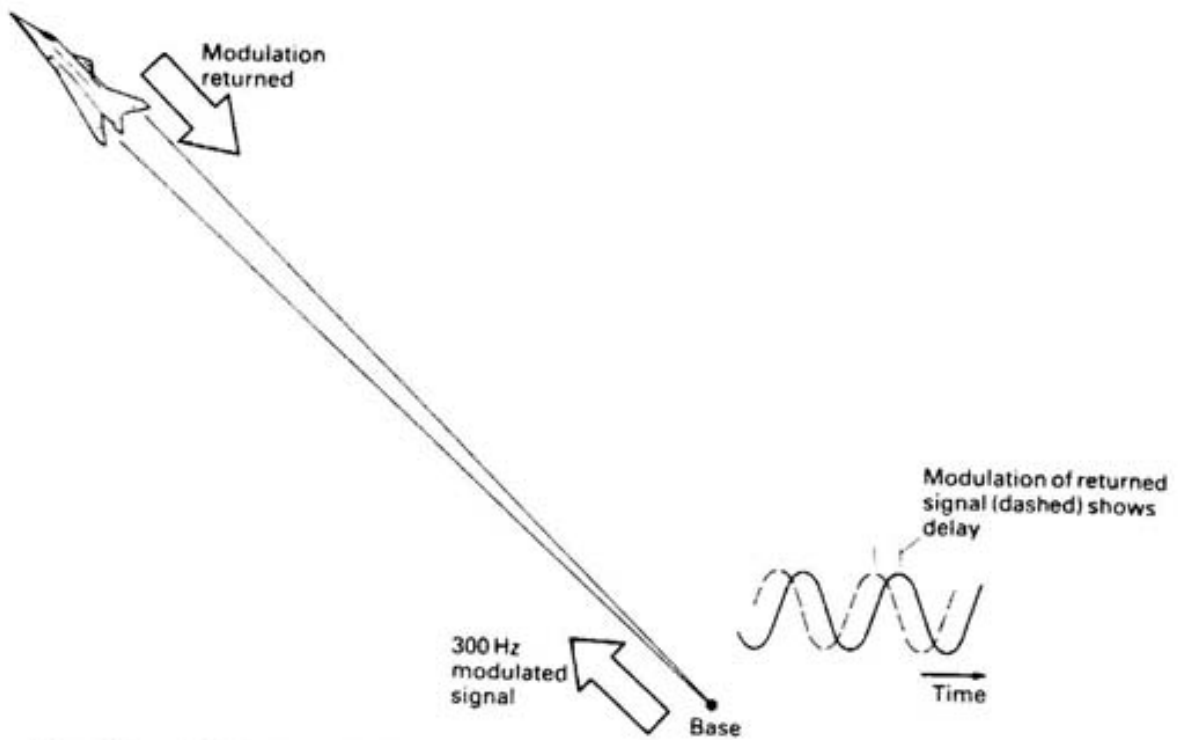


FIG. 9.3 **Y-Gerät** Y-Gerät attempted high precision by commanding bomb release when the bomber, flying along its beam, had reached an exactly determined range from the base station. The range was measured by transmitting to the bomber a 300 hertz signal, carried as a modulation on the radio beam at about 45 megahertz. The bomber returned the modulation on a slightly different carrier frequency, enabling the base to measure the phase shift due to the time taken to go out and back. This gave the range. The two-way communication proved easy to jam and Y-Gerät was not successful.