

Étude approfondie des mystérieux enregistrements radar des F-16

Auguste Meessen

Professeur émérite de physique théorique à l'UCL

Au cours de la nuit du 30 au 31 mars 1990, deux radars militaires au sol ont détecté des échos dont la source était inconnue, mais réelle. On fit donc monter deux chasseurs F-16 pour investiguer. Bien que les pilotes ne virent pas d'objet, il y eut d'étonnants contacts radar, confirmés par des enregistrements. Dans une première phase, nous avons démontré que les échos anormaux détectés par les radars militaires au sol, provenaient de masses d'air humide, où les molécules d'eau ne sont pas condensées. Puisque le radar Doppler aéroporté d'un F-16 mesure la vitesse du réflecteur et supprime ce qui est lent par rapport au sol, les échos venant de ces « nuages invisibles » devaient être exclus. Ceux qui furent détectés avaient d'ailleurs un comportement très différent. À ce stade, il n'y avait donc pas d'explication conventionnelle, logiquement acceptable, mais par la suite, nous avons pu montrer que **la mesure de la vitesse par effet Doppler peut être faussée**. C'est surprenant, mais ce cas le prouve. Bien que les ovnis de la vague belge furent difficilement détectables par les radars, nous avons trouvé deux traces non identifiées. La meilleure fut détectée pendant le vol des F-16.

1. Introduction

La vague belge et l'intervention des F-16

La vague d'OVNI sur la Belgique était exceptionnelle par son ampleur et par certaines de ces caractéristiques [1]. Elle débuta de manière très massive au cours de la soirée du 29 novembre 1989, et j'ai vérifié moi-même que les témoignages étaient dignes de confiance. Il s'agissait d'ailleurs presque toujours d'observations rapprochées, permettant de bien discerner des détails de structure et de comportement. La forme de ces ovnis était différente de celle des « disques » et d'autres structures classiques, ayant un axe de symétrie, puisque chez nous, les témoins virent presque toujours *des plates-formes à trois ou quatre coins*. Près de chacun de ces coins, il y avait souvent d'énormes « phares », intégrés dans la face inférieure et projetant des faisceaux lumineux vers le bas. Le fait que tellement de témoins indépendants se mirent brusquement à décrire un nouveau type d'ovnis excluait l'hypothèse psychosociologique. Celle d'un avion secret fut réfutée par les démentis officiels, par le comportement de ces engins et par la variabilité de leurs formes. Ayant constaté tout cela, *j'ai voulu savoir si ces ovnis étaient détectés par les radars* qui surveillent notre espace aérien, jour et nuit.

La réponse n'était pas évidente, bien que dans le passé, des ovnis furent détectés parfois par les radars, puisqu'il s'agissait d'un nouveau type d'ovnis (I.351). S'il y avait quand même des traces, il serait utile de le savoir. J'ai donc pris contact avec le Contrôle aérien de *l'aéroport national* et avec le colonel *De Brouwer*, Chef des opérations de *la Force aérienne belge* (I.356). Par la suite, il fut promu Général et après sa retraite, il a mené différentes missions pour l'ONU. Quand je l'ai rencontré en janvier 1990, je lui ai demandé seulement d'être tenu au courant, si quelque chose de spécial devait apparaître sur les écrans des radars militaires. Il était prudent, mais lui aussi, il cherchait « la vérité. » J'ai d'ailleurs appris plus tard, qu'il avait déjà parlé de son côté avec des témoins directs et fiables.

Au début, mon étude de la détection radar des ovnis ne portait que sur les données de *l'aéroport civil*. Il a fallu convaincre la Régie des voies aériennes du bien-fondé de ma requête, mais on m'accorda l'autorisation de *copier sur vidéo* ce qui était apparu sur les écrans radar au cours de nombreuses soirées, que je choisisais en fonction des observations d'ovnis, signalées à tel ou tel endroit. Ensuite, j'ai analysé ces vidéos chez moi, en focalisant

mon attention sur les échos qui ne correspondaient pas à des avions, identifiés par transpondeur. En scrutant *plus de 180 heures d'enregistrements radar* de l'aéroport de Bruxelles, situé à Zaventem, je n'ai pas découvert de traces évidentes d'ovnis. Il est vrai qu'il y avait parfois des échos anormaux, s'accumulant à certains endroits, mais sans traces d'une arrivée ou d'un départ. Je découvris cependant qu'au cours de certaines soirées, il y avait des échos anormaux qui se déplaçaient de manière systématique.

Ils ne se présentaient pas à chaque tour de l'antenne et ils se déplaçaient lentement, mais ils formaient *des alignements*. Les contrôleurs aériens, pris par d'autres tâches et pratiquant seulement l'observation visuelle directe de l'écran, ne s'en étaient pas rendus compte. En analysant ces données, j'ai constaté que les déplacements tendaient à être parallèles, sans être corrélées avec la direction du vent. En outre, elles avaient toujours une longueur finie. Cela m'a permis de proposer une explication de type météorologique. Elle requiert une connaissance des processus physiques qui régissent la propagation des ondes radar.

Les micro-ondes interagissent en effet avec des *molécules d'eau*, puisqu'elles sont polaires et facilement mises en rotation à des fréquences de l'ordre du GHz. Même quand elles sont séparées les unes des autres, il en résulte non seulement une absorption, comme dans un four à micro-ondes, mais aussi *un changement de la vitesse de propagation*. En lumière visible, la fréquence est trop élevée pour que les molécules puissent suivre. Tout se passe alors comme s'il n'y en avait pas. Nous sommes donc incapables de percevoir le degré d'humidité avec nos yeux, mais quand les molécules d'eau se condensent pour former des gouttelettes, celles-ci diffusent la lumière incidente. Cela résulte du fait que des électrons y sont mis en oscillation de manière collective, ce processus étant contrôlé par l'apparition de charges de surface. Les dipôles (et multipôles) électriques oscillants qui en résultent rayonnent dans toutes les directions à la fréquence imposée. Les nuages et le brouillard sont donc bien visibles, mais les radars « voient » autre chose.

La vitesse de propagation des ondes radar est en effet modifiée en fonction de la densité des molécules d'eau qui se trouvent en suspension dans l'air atmosphérique. Là où cette vitesse change brusquement, il y aura *une réflexion partielle* de l'onde incidente. Puisque le degré d'humidité de l'air atmosphérique dépend de la température, on dit souvent que les ondes radar peuvent être réfléchies par *une couche d'inversion de température*. Elle provient du fait que normalement, la température diminue dans l'atmosphère terrestre pour des altitudes croissantes, mais il arrive que la température augmente brusquement à une certaine altitude. Bien que l'atmosphère reste optiquement transparente, les ondes radar peuvent y être partiellement réfléchies.

En 1991, j'ai présenté en détail les données et les explications qui se rapportaient à ce type d'échos anormaux (I.360-363 et 381-386). Cet effet m'était donc familier avant l'intervention des F-16 au cours de la nuit du 30/31 mars 1990. Pour les médias, cette action fit sensation, puisqu'on ne s'y attendait pas. Pour moi, elle déboucha sur *une grande énigme*. En fait, j'avais découvert entre-temps, au moyen des données des deux radars militaires au sol, que ceux-ci détectaient parfois un autre type d'échos anormaux. Il s'agit aussi d'un phénomène qui fait intervenir des molécules d'eau, mais il est différent de celui que nous venons de signaler. Nous en parlerons dans la suite. Pour l'instant, il importe seulement de savoir que ces échos anormaux étaient présents au cours de la nuit où les F-16 sont intervenus. Malgré cela, il était **logiquement impossible** d'expliquer les échos anormaux détectés et enregistrés par les F-16 d'une manière conventionnelle. Cet article montrera *pourquoi* il en était ainsi et *comment* je suis parvenu à résoudre ce problème.

Commençons par le début. Le soir du 30 mars 1990, vers 23 heures, le gendarme Renkin et son épouse ont remarqué sur le fond du ciel étoilé un point lumineux très brillant qui *bougeait parfois très fortement* autour d'une position moyenne. Le gendarme s'est référé à une ligne téléphonique intermédiaire pour en juger. En outre, ce « spot » changeait très

nettement et *longuement* de couleur. Ce comportement était donc différent du scintillement habituel des étoiles, résultant des nombreuses réfractions que la lumière subit en traversant l'atmosphère qui est agitée par des turbulences. Le gendarme Renkin pensa dès lors aux ovnis. Habitué aux objectivations, il téléphona au *radar militaire de Glons* et demanda si l'on y voyait quelque chose d'anormal. Quand on y examina ce qui se passait au-dessus de la région de Wavre, où se trouvait ce gendarme, on y découvrit effectivement *un écho radar non identifié*. Il réapparut presque à chaque tour de l'antenne (toutes les 12 secondes) et il se déplaçait de l'Est vers l'Ouest, mais seulement à une vitesse d'environ 45 km/h.

Vu du sol, le point lumineux continuait aussi à se manifester de la même manière. D'autres gendarmes rejoignirent M. Renkin et ils confirmèrent son observation initiale. À Glons, l'écho anormal poursuivait sa lente progression. Pour s'assurer qu'il ne s'agissait pas d'un mirage, résultant d'une réflexion partielle au niveau d'une couche d'inversion de température, on prit contact avec *l'autre radar militaire, situé à Semmerzake*. L'écho anormal y apparaissait également au-dessus de la même région. Sa source se déplaçait d'ailleurs avec la même vitesse et suivant la même direction. Contrairement aux radars civils, les radars militaires peuvent déterminer l'altitude, sans l'aide d'un transpondeur. Il apparut ainsi que la source des échos anormaux évoluait à *une altitude d'environ 3000 m*, aussi bien pour le radar de Semmerzake que pour celui de Glons. Il s'agissait donc bien d'un réflecteur réel. Sa position et son altitude fluctuaient plus fortement que pour des avions, mais de toute façon, il ne s'agissait ni d'un avion, ni d'autre chose qui soit connu.

Vers minuit, donc environ une heure après le signalement initial, *on fit monter deux F-16 à partir de la base de Beauvechain*. Ces chasseurs étaient munis de leur armement habituel (1 canon de 20 mm et 4 missiles AIM-9N Sidewinder). La mission des pilotes était d'identifier la source des échos radar et s'il s'agissait d'un intrus, ils pourraient l'intercepter. Ils ont exploré le ciel, en étant constamment guidés par le CRC (Control Reporting Center) de Glons, mais les deux pilotes utilisaient aussi leurs propres radars aéroportés. Pour l'un et l'autre, il y eut parfois des contacts radar très intrigants, puisque *la source de ces échos semblait se comporter à la fois de manière provocante et évasive*. Ils l'ont traquée pendant environ une heure, mais n'ont pas vu d'objet, malgré de bonnes conditions de visibilité. Le pilote du second F-16 a enclenché parfois la caméra vidéo pour enregistrer ce qui apparut sur son écran radar. Il existe donc un document objectif que nous pouvons analyser.

Tout le monde est perplexe

Les pilotes des F-16 étaient expérimentés et connaissaient évidemment leur système radar. L'un était capitaine et l'autre, lieutenant. Pour eux, ce qui s'est passé n'était pas banal. À leur retour, ils disaient qu'ils avaient vécu quelque chose de tout à fait extraordinaire (I.234). Le 11 juillet 1990, *le colonel Wilfried De Brouwer* prit la responsabilité d'une conférence de presse, spécialement consacrée à ce sujet et il ne cachait pas sa surprise. L'objet détecté par les radars des deux F-16 a effectué des déplacements dont aucun type d'avion existant ne serait capable. Dans une des séquences enregistrées, la « cible », comme on dit dans le jargon militaire, *passa en quelques secondes de 280 km/h à plus de 1800 km/h*. Aucun contact n'a duré plus de vingt secondes, puisque chaque fois quand les intercepteurs ont « verrouillé » leur radar sur la source d'un de ces échos, l'ovni a entamé une manœuvre évasive, en modifiant sa trajectoire et sa vitesse (I.234). Le terme *ovni* est à prendre ici dans son sens littéral : quelque chose qui est détectable et qui se comporte comme un objet volant, mais qui est non identifié.

Entre le 29 novembre 1989 et le 30 mars 1990, le nombre des observations visuelles d'ovnis s'était déjà accru en Belgique jusqu'à environ 500 (II.360). Les médias n'avaient fourni que des données très partielles, mais chacun savait au moins que des objets volants aux formes et comportements étranges avaient été observés. Un des deux pilotes a déclaré [2] qu'avant l'intervention, il avait *vu lui-même* un de ces objets triangulaires, doté de puissantes

lumières dirigées vers le bas. Cet appareil était resté immobile à environ 100 m au-dessus du sol, jusqu'à ce qu'il décroche. Le pilote a précisé par ailleurs que pendant leur mission d'investigation, les contacts radar semblaient indiquer que « cela vous attend jusque vous vous êtes approchés à 20 miles et alors ça dit: 'OK, c'est assez près, nous sommes partis'... J'avais l'impression que nous chassions *quelque chose qui jouait avec nous* et qui avait tout sous contrôle. » C'est ce qu'il pouvait conclure des données instrumentales.

Le *squadron leader*, Yves Meelsbergs, interrogé sur ce qu'il pensait pendant ce fameux vol [3] a déclaré : « J'imagine que cet objectif insaisissable bouge étrangement dans tous les sens. Visiblement l'ovni continue de tourner autour de nos deux chasseurs... Le mystérieux écho radar remonte en altitude à 4500 m, position "droit devant" en face de nos F-16, pour soudainement plonger vers le sol... La nuit est claire, avec une visibilité excellente sur 8 à 15 km... Je ne vois toujours rien à l'extérieur... *Je ne m'explique pas* ce que j'ai bien pu poursuivre cette fameuse nuit. Je n'écarte aucune hypothèse. »

Lors de la conférence de presse, le général De Brouwer a rappelé que l'intervention des F-16 était justifiée par les observations cohérentes de *deux radars militaires au sol*. « De mémoire de contrôleur aérien, on n'avait jamais observé de tels phénomènes, d'une telle ampleur et d'une durée aussi longue. Si des conditions d'observation analogues devaient se présenter, des appareils re-décolleraient très certainement » (I.234). Après le retour des F-16, la Force aérienne belge a évidemment vérifié le bon fonctionnement des appareils et procédé à une évaluation des données recueillies. M. De Brouwer a précisé lors de la conférence de presse: « Nous sommes très prudents et nous ne voulons pas lancer des hypothèses, comme celles d'apparitions extraterrestres. *La conclusion des études effectuées n'a cependant pas permis de déterminer la nature de l'objet.* » Il s'agit de la source des échos anormaux.

En 1990, le général Fleury, à l'époque chef d'Etat-Major de l'Armée de l'Air en France a déclaré à des journalistes [4] qu'il avait « vu les enregistrements des F-16, que l'affaire est des plus sérieuses et qu'elle *demeure inexpliquée* à ce jour. » Tout cela n'aurait sans doute pas suscité autant d'intérêt, si ce n'était pas arrivé pendant la vague des observations d'ovnis. Il fallait qu'on soit sensibilisé au fait qu'il peut y avoir *des choses que l'on ne comprend pas*. Arriver à les expliquer quand même constitue un défi d'ordre scientifique. Une explication conventionnelle serait bienvenue, mais il faut évidemment qu'elle soit justifiée.

La recherche d'une explication rationnelle

Après diverses démarches, j'ai finalement eu accès au contenu de l'enregistrement radar du second F-16 et à toutes les données des deux radars militaires au sol que je désirais obtenir. C'est le *Ministre de la Défense Nationale, Guy Coëme*, qui me donna l'autorisation à titre personnel, en tant que scientifique. Il m'a dit au téléphone : « *je suis pour la transparence.* » Je peux donc en parler. Nous savons bien que de nombreuses observations d'ovnis eurent lieu partout dans le Monde, surtout depuis la Seconde guerre mondiale, mais que certains milieux politiques et militaires ont toujours empêché une étude scientifique approfondie et indépendante des faits observés. Il convient dès lors de *saluer l'ouverture d'esprit et le sens de l'objectivité* dont les autorités civiles et militaires belges ont fait preuve. Cela honore notre petit pays.

En faisant monter des F-16 dans le cadre de la vague belge, la Force aérienne ne devait pas seulement être prête à faire face à une technologie inconnue, mais également à une opinion publique qui semble trouver normal que les militaires ne s'intéressent pas aux ovnis. En outre, il y a des contemporains qui sont tentés de se donner un air supérieur, en faisant usage de dérision, sarcasmes et moqueries, pour discréditer ceux qui ne sont pas de leur avis. Le Général De Brouwer a reconnu que « la peur du ridicule est réelle... Certains milieux étaient étonnés et incrédules de voir une instance officielle s'occuper d'une affaire qui, à première

vue, semblait absurde » (I.484). En réalité, *il serait seulement absurde de ne pas vouloir examiner les faits observés, quand on ne les comprend pas.*

Certains résultats de mon étude ont été explicités déjà dans deux rapports [5]. Dans celui de 1991, j'ai montré que les radars militaires au sol et le radar de l'aéroport civil ont détecté deux types d'échos anormaux différents. C'est lié au fait que le radar civil utilise *un faisceau en éventail*, déployé verticalement et tournant à vitesse constante autour d'un axe vertical, tandis que les radars militaires scrutent le ciel avec *un faisceau étroit*, ressemblant à un crayon. Le faisceau en éventail permet de déterminer la direction d'un réflecteur, dont la distance résulte de la mesure du temps de parcours pour un aller et retour. Ce système a l'avantage de n'imposer aucune restriction sur le nombre des avions détectés, jusqu'à la limite de la portée du radar, mais il ne peut pas déterminer l'altitude d'un avion. C'est lui qui doit fournir ce renseignement, au moyen d'un transpondeur.

L'existence d'une couche d'inversion de température conduit à l'apparition d'échos qui viennent du sol, mais leurs sources semblent être situées dans le ciel. On essaye d'éliminer ces « mirages » au moyen du filtre MTI (*Moving Target Indicator*). En fait, on détermine la vitesse à partir du changement de position pendant un tour de l'antenne (12 secondes) et l'on supprime ce qui se déplace trop lentement. Quand j'ai examiné les données des radars de Glons et de Semmerzake, j'ai constaté que ce type d'échos anormaux n'y apparaissait pratiquement jamais. J'expliquerai plus loin, à quoi cela est dû, mais je fus surtout surpris de voir que les radars militaires au sol détectaient *des échos anormaux d'un autre type* (I.379-381 et 386-387). Ils provenaient de « quelque chose » d'inconnu, mais qui était un réflecteur réel, se déplaçant très lentement à une certaine altitude. Les contrôleurs aériens des deux radars militaires ne pouvaient l'identifier. Conformément à sa mission de surveillance, la Force aérienne belge fit donc monter les F-16.

Par après, l'étude de la littérature m'a permis de constater que des radars, spécialement conçus à cet effet, avaient réussi à détecter parfois des « bulles de convection. » Il s'agit de masses d'air humide, délimitées en haut par une sorte de coupole (I.386-387). Je préfère parler d'un « nuage invisible », puisque la forme peut être plus irrégulière et puisqu'il ne s'agit que d'une plus grande densité de molécules d'eau, séparées les unes des autres. Sans gouttelettes et sans cristaux de glace, c'est une entité invisible, mais détectable par des radars. En 1991, j'ai déjà fourni des arguments pour justifier l'idée que les deux radars militaires au sol avaient détecté des échos de ce genre. Quant à l'enregistrement ramené par le second F-16, j'ai expliqué le mode d'acquisition des données et décrit le comportement de la source des échos anormaux. En fait, j'ai synthétisé les données de manière graphique, en représentant *les trajectoires des « objets » par rapport au F-16* (I.368 à 378). J'appelle ainsi les réflecteurs qui ont produit les échos radar enregistrés, quelle que soit leur nature.

J'ai évidemment pensé aux « nuages invisibles », puisque j'avais moi-même découvert qu'ils étaient présents au cours de cette nuit et qu'ils pouvaient être détectés par les radars militaires au sol. Le radar aéroporté d'un F-16 devait donc pouvoir les détecter aussi, mais ses filtres électroniques devaient supprimer tout écho parasite de ce genre, comme il le fait aussi pour ceux qui viennent du sol. De toute manière, la source des échos enregistrés se déplaçait beaucoup plus vite par rapport au sol que les « nuages invisibles » et son altitude changeait très fortement. J'étais pourtant réticent à l'idée qu'il puisse s'agir d'ovnis.

Je me méfiais surtout du *filtre de Kalman*. Par mon étude des données des radars militaires au sol, j'avais appris à connaître ses effets bénéfiques et pervers. Il intervient parce qu'on peut perdre la trace d'un avion, quand il se présente de profil et ne fournit plus de réponse assez forte pour qu'elle soit retenue. L'ordinateur fait alors une prévision et *augmente la sensibilité* dans un domaine qui sera progressivement élargi. Quand la recherche reste infructueuse, elle est arrêtée après peu de temps. Dans les sciences appliquées, on doit souvent se contenter d'un compromis. D'une part, on peut retrouver des avions. D'autre part,

il y a un risque, parce que quand une trace radar a été amorcée par un écho qui fait partie du bruit de fond et quand le filtre de Kalman permet de trouver assez rapidement d'autres échos de ce genre, cela peut générer *une trace fictive* (I.361, 371 et 394). Je me demandais donc si des échos radar venant d'une ou de plusieurs masses d'air humide avaient pu induire le radar des F-16 en erreur. J'ai consulté deux spécialistes militaires de l'électronique de ce radar. Ils étaient formels : le filtre de Kalman ne peut pas rendre compte des enregistrements !

Par ailleurs, j'ai interrogé plusieurs fois le gendarme Renkin et d'autres gendarmes impliqués dans l'observation visuelle initiale, mais je n'ai jamais trouvé de faille dans leur récit. Un des « sceptiques » affirma qu'ils ont pris des étoiles pour des ovnis, mais il ne tenait pas compte du fait que les témoins avaient observé de grands changements de position et de longues modifications de la couleur. En 1991, il y avait donc tout un ensemble de faits observés et des arguments rationnels qui m'obligeaient à reconnaître que « *la seule hypothèse raisonnable* est celle d'Objets Volants Non Identifiés, dont les performances indiquent [alors] clairement une origine non terrestre » (I.394). Cela ne résultait pas du tout d'une tendance à promouvoir l'hypothèse extraterrestre, mais d'arguments strictement techniques et rationnels.

Au lieu de s'accuser mutuellement entre sceptiques et ufologues de « croire » à l'une ou l'autre thèse, il serait plus utile qu'on s'en tienne à l'idée qu'*il y a deux hypothèses de travail possibles*. Nous devons les examiner à fond, l'une et l'autre. En principe, les radars pouvaient détecter des ovnis, observés visuellement par de nombreux témoins, qui n'étaient pas tous des fantaisistes. Cela ne m'empêche pas de chercher une explication conventionnelle, mais il faut qu'elle soit justifiée. J'avais déjà découvert et expliqué la présence d'échos anormaux, dont les sceptiques n'avaient aucune idée. En ce qui concerne les enregistrements radar des F-16, j'étais pourtant forcé de reconnaître que « *la conclusion qui s'impose logiquement* est que toute autre hypothèse que celle des ovnis est exclue à pratiquement 100% » (I.394).

Je n'ai pas fermé la porte complètement à la possibilité qu'une explication conventionnelle puisse encore surgir. N'étant *pas dogmatique*, je n'ai aucun problème pour modifier une conclusion antérieure, du moment qu'il y a des arguments rationnels qui le justifient. C'est normal en science, puisque la vérité est parfois fort complexe et difficile à découvrir. On doit toujours être prêt à « voir plus loin. » En 1991, mes recherches sur l'interprétation des données radar des F-16 n'étaient d'ailleurs pas terminées. Puisque la SOBEPS estimait devoir faire le point sur la vague belge, j'ai accepté de publier des résultats intermédiaires. Certaines conclusions étaient définitives. D'autres étaient provisoires. Après la publication du premier rapport, *l'étude phénoménologique* des données qui venait d'être entamée au Centre de guerre électronique s'est poursuivie, en effet. J'y ai participé, mais conscient de l'obstacle logique, apparemment insurmontable, j'ai réexaminé de mon côté *les bases théoriques* qui justifiaient son existence. Le radar des F-16 pouvait évidemment détecter les « nuages invisibles » dont j'avais découvert la présence, mais cela ne rendait pas du tout compte de ce qui avait été observé et l'hypothèse de réflexions provenant du sol n'était pas réaliste.

En 1994, dans le second rapport de la SOBEPS, j'ai fourni les lignes directrices de l'explication que j'ai finalement proposée (II.399-407). Elle partait de l'idée que le radar des F-16 sert normalement à détecter et à analyser des échos renvoyés par des avions. Ce sont des « cibles dures », tandis que des masses d'air humide sont des « cibles molles. » Elles sont déformables et le siège de turbulences internes. Dans ce cas, *c'est le principe même de la mesure de la vitesse par effet Doppler qui est mis en cause*. Par ailleurs, les données des radars militaires démontraient que l'atmosphère fut exceptionnellement peu turbulente au cours de la nuit du 30/31 mars 1990 (II.394-399), ce qui rendit compte de la perplexité des gendarmes. La lumière venant de Sirius fut réfractée plus rarement, mais plus fortement que d'habitude (II.407-413). Nous y reviendrons dans la suite.

En 1998, j'ai détaillé l'analyse des données et justifié mon explication [6]. Jean-Pierre Petit semblait vouloir la contester [7], mais il fallait plus que ses arguments qualitatifs

concernant les effets des turbulences dans une masse d'air humide pour comprendre ce qui se passe. Il est vrai que la discussion générale après l'émission sur ARTE ne permit pas non plus de détailler mes arguments, mais il est faux que le professeur Schweicher, spécialiste des radars à l'École royale militaire, serait d'avis que mon explication ne tenait pas la route. C'est le contraire qui est apparu quand nous en avons discuté, en présence du colonel Salmon. Puisque j'avais abandonné l'hypothèse d'un ovni, M. Petit osa même suggérer que je puisse faire partie des « ufologues-savants » qui d'après lui, « sont manipulés par des services secrets ou travaillent à leur solde dans un but de désinformation. » C'est totalement loufoque. En 1994, je m'étais contenté cependant d'un exposé succinct, parce que le deuxième rapport de la SOBEPS s'adressait à un public assez large et parce que d'autres problèmes, comme celui des voyages interstellaires relativistes, me semblaient plus importants. Mon étude de la photographie de Petit-Rechain était pratiquement terminée, puisque j'en ai parlé à ce moment lors de conférences publiques, mais elle aussi fut publiée seulement plus tard [8].

Cet article-ci refait la synthèse, pour l'Internet. Il porte presque le même titre que le texte précédent [6], mais il est remodelé et complété par d'autres arguments. En fait, je répondrai aux questions suivantes que chacun se pose tout naturellement.

- Comment peut-on justifier l'existence des nuages invisibles ?
- Pourquoi le radar Doppler des F-16 a-t-il pu être induit en erreur ?
- Est-ce que les données enregistrées sont en accord avec l'explication proposée ?
- Et les ovnis de la vague belge, n'ont-ils jamais été détectés par les radars ?

2. Deux types d'échos insolites pour les radars au sol

Les « mirages » des radars de l'aéroport civil

J'ai analysé les vidéos que j'avais prises à l'aéroport de Zaventem, en utilisant une méthode qui était adaptée pour voir si les échos anormaux surgissaient de manière aléatoire ou non. Ainsi, j'ai découvert qu'il y avait parfois des alignements (I.360). Les échos qui ne correspondent pas à des avions sont usuellement appelés des « anges radar », mais ceux que j'avais découverts se déplaçaient de manière systématique. Je les ai donc appelés des « *anges qui volent* » (I.362). Je suis cependant arrivé assez rapidement à montrer que leur origine est d'ordre météorologique. La figure 1 fournit un exemple de données obtenues au moyen de ballons-sondes. En fait, elles s'appliquent à la nuit, où les F-16 sont intervenus.

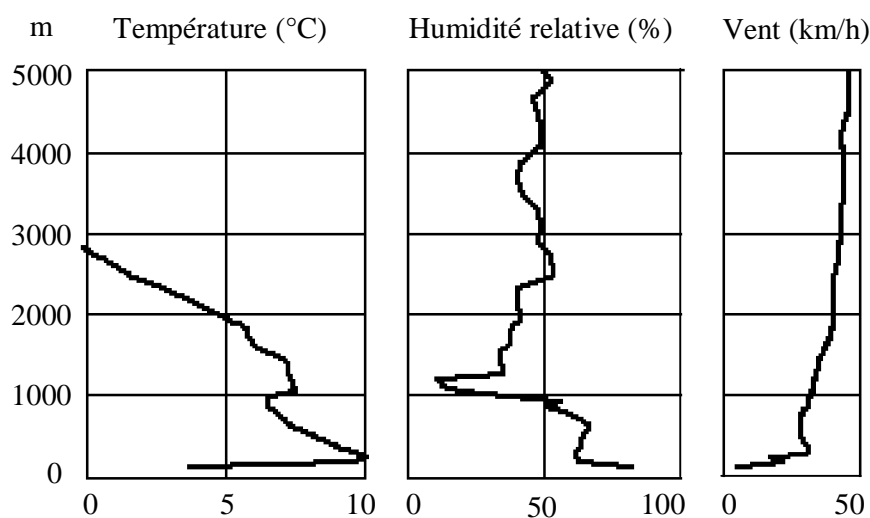


Figure 1: Données météorologiques à minuit, le 30/31 mars 1990.

La température continue à décroître au-dessus de 3000 m, mais il apparaît aussi qu'il y a *une inversion de température* à environ 1000 m du sol. L'humidité relative de l'air est assez élevée en dessous de 1000 m. Près du bord supérieur de cette « couche limite », la densité des molécules d'eau diminue fortement, mais progressivement. Ensuite, elle augmente brusquement. Il y a dès lors deux mécanismes envisageables pour la propagation anormale des ondes radar. Pour une variation *progressive* de la densité des molécules d'eau et par conséquent aussi de la vitesse de propagation, un faisceau radar venant du sol peut être *courbé* vers le bas, de telle manière que le résultat global est équivalent à une réflexion totale. Quand la densité des molécules d'eau varie *brusquement* à l'échelle de la longueur d'onde (de l'ordre de 3 cm pour les ondes radar), le faisceau d'onde y est réfracté et partiellement réfléchi. Il y a donc une partie qui traverse la couche d'inversion et l'intensité de la partie réfléchie augmente avec *la différence entre les vitesses de propagation* de part et d'autre de l'interface où la vitesse de propagation varie pratiquement de manière discontinue.

Le faisceau réfléchi finit par toucher le sol. Il peut y subir une rétro-diffusion et revenir vers l'antenne émettrice en repassant par le même chemin. Cela produit alors des échos anormaux qu'on essaye d'éliminer au moyen du filtre MTI. Ce qui ne bouge pas (ground clutter) et ce qui se déplace assez lentement (voitures et trains) est supprimé, avec un seuil adaptable. J'ai déjà signalé dans l'introduction que les mirages sont apparus beaucoup plus souvent pour le radar civil que pour les deux radars militaires au sol. C'est dû au fait que les radars militaires utilisent un faisceau étroit, ressemblant à un « crayon », tandis que le radar civil utilise un faisceau « en éventail. » Il s'étend du zénith jusque près de l'horizon, avec un maximum de sensibilité vers 45°. Quand une partie de ce faisceau est localement déviée vers le sol, elle peut y être renvoyée et revenir à l'émetteur, mais une couche d'inversion n'est pas parfaitement plane. Nous pouvons l'imaginer comme équivalente à un ensemble de petits miroirs semi-transparents, dont les inclinaisons fluctuent de manière statistique. Globalement, l'écho sera donc renforcé. Le faisceau étroit des radars militaires est plus sélectif. Quant à la longueur finie des traces formées par les mirage supérieurs, elle résulte du fait que la réflectivité dépend de l'angle d'incidence (I.385).

Les échos anormaux provenant de « nuages invisibles »

Les radars militaires au sol font apparaître *des échos anormaux d'un autre type*. Ils proviennent d'un réflecteur qui se trouve réellement dans le ciel, mais ce n'est pas un avion ou un autre corps matériel. Au cours de *la nuit du 30/31 mars 1990*, il y en avait beaucoup. La figure 2 montre les traces formées par ce type d'échos, d'après le radar de *Semmerzake*. On m'y a fourni les données sous forme électronique, au moyen de disquettes que mon ordinateur personnel parvenait à lire. Ainsi, je pouvais sélectionner à volonté des suites d'échos pour tel ou tel avion. En cliquant sur un écho individuel quelconque, je trouvais de suite les coordonnées géographiques et l'altitude de la source.

Je disposais également de listings (sur papier) de tout ce que le radar de *Glons* avait détecté pendant cette nuit au-dessus de la partie centrale de la Belgique. L'extraction des échos anormaux conduisait à des résultats pratiquement identiques à ceux de *Semmerzake*. La figure suivante montre que deux échos anormaux sont apparus à 22 h 17 et 22 h 58. Ils se sont déplacés pendant 3 à 4 heures, en suivant des trajets courbés. Pour établir des graphiques continus par ordinateur, j'ai remplacé 00 par 24 heures. J'ai encadré la partie de la trace supérieure, décrite par l'écho anormal qui fut découvert au radar de *Glons* à la suite du coup de téléphone du gendarme *Renkin*. Les contrôleurs aériens ne l'avaient pas remarqué avant cela, mais par la suite, il retint toute leur attention jusqu'au retour des F-16.

On n'avait pas remarqué non plus les autres traces, apparues plus tard. Certaines d'entre elles sont plus courtes et elles ont parfois des orientations un peu différentes, mais les données

qu'on m'avait confiées m'ont permis de constater que ces *échos non identifiés* se déplaçaient à environ 45 km/h suivant la direction locale du vent au moment considéré. Le radar civil n'a détecté que des mirages, se déplaçant un peu plus vite et perpendiculairement aux traces de la figure 2 (I.381). Le fait qu'à Glons et à Semmerzake, on se soit brusquement étonné de la présence et du comportement de cet écho anormal prouve bien que *ce phénomène y était inconnu*. Il s'agissait pourtant de radaristes bien formés et expérimentés.

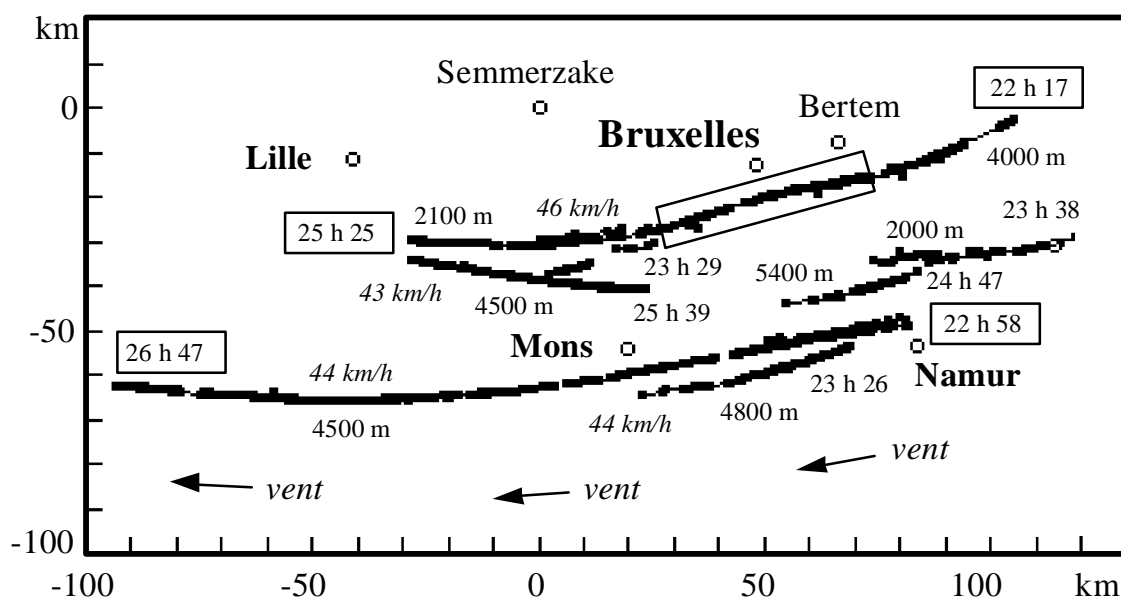


Figure 2: Échos anormaux, détectés le 30/31 mars 1990 par le radar militaire de Semmerzake.

Dans le rapport de 1991, j'ai attribué ce type d'échos radar à des masses d'air humide. Il devait s'agir en effet de « quelque chose » qui se déplaçait avec le mouvement général de l'atmosphère. L'IRM (Institut Royal Météorologique) avait décrit la situation atmosphérique de la manière suivante : « Un noyau de *haute pression* situé sur l'Est de l'Angleterre et nos régions se déplace lentement vers l'E et influence favorablement notre temps. » En Belgique, on se trouvait au sud du centre anticyclonique, autour duquel l'air tourne toujours dans le sens horloger. Le vent y venait effectivement de l'Est. Les deux radars militaires au sol situaient la source des échos anormaux à une altitude d'environ 3000 m, où la vitesse du vent était justement de l'ordre de 45 km/h (figure 1).

L'étude de la littérature concernant les radars m'apprit par ailleurs qu'il est possible de détecter des « *bulles de convection* » (I.386), mais il semblait qu'elles survivent tout au plus pendant une heure. D'après la figure 2, il fallait donc que l'atmosphère soit *particulièrement peu turbulente* au cours de la nuit du 30/31 mars 1990. Cela se justifie aussi par le fait que les mêmes conditions météorologiques prévalaient déjà depuis quelques jours. J'ai trouvé des traces de ce genre pour d'autres nuits de la même époque, mais elles n'étaient jamais aussi longues que celles de la figure 2. Puisqu'il peut y avoir des endroits où la densité des molécules d'eau est plus élevée, sans qu'il y ait condensation, l'atmosphère reste optiquement transparente. Les radars peuvent détecter par contre des ondes qui sont renvoyées aux endroits où la densité des molécules d'eau varie assez brusquement. Il ne doit pas nécessairement y avoir une coupole supérieure, comme indiqué dans la littérature. *Le rapport Condon* consacre un long chapitre aux « anges radar », puisqu'ils pourraient être pris pour des ovnis [9], mais il ne mentionne pas la possibilité d'une détection de « nuages invisibles. » Cela confirme que ce phénomène n'était pas ou seulement très peu connu, même chez des spécialistes.

Pour en savoir davantage, j'ai déterminé l'altitude des échos anormaux individuels pour les deux longues traces de la figure 2 (II.397). Cela m'a permis de constater que pour la trace

supérieure, la source est descendue progressivement de 4000 à 2100 m, tandis que l'altitude est restée constante pour l'autre trace. J'ai également constaté que les fluctuations de l'altitude mesurée étaient plus fortes que pour des avions et que ces fluctuations sont particulièrement grandes au début et parfois à la fin des traces. Cela renforce l'idée qu'il s'agit de masses d'air humide, constituées progressivement et disséminées peu à peu. Notons que le centre de contrôle de Glons a fait évoluer les F-16 à 10.000 pieds (3000 m), puisque c'était l'altitude de l'écho radar non identifié, dont on avait pris conscience à ce moment.

Étant donné qu'il y avait peu de turbulences au cours de la nuit du 30/31 mars 1990, *nous comprenons aussi les observations visuelles des gendarmes*. J'avais déjà établi la carte du ciel, montrant que Sirius y était visible pour eux (I.389). Or, pour une étoile, les effets de la réfraction atmosphérique sont plus importants que pour les planètes. Bien qu'elles soient très lumineuses, elles sont très éloignées et leur image est donc pratiquement ponctuelle. Il y a moins d'effets de moyenne et ce soir là, les réfractions atmosphériques n'étaient pas aussi chaotiques que d'habitude. Lors du passage occasionnel d'une masse d'air, réfractant plus fortement, la source lumineuse semblait changer de position et la couleur se modifia assez longuement (II.407-414). On peut objecter qu'en lumière visible, ce n'est pas l'humidité qui importe, mais *la densité* de l'air. Celle-ci dépend de la température, mais des courants de convection ont pu se produire localement. Cela a pu créer des « poches d'air chaud » plus ou moins grandes, mais ce qui importe surtout, c'est que ces structures restaient plus facilement cohérentes au cours de cette fameuse nuit. Jupiter était également visible, mais plus haut dans le ciel (I.389), ce qui a diminué l'importance des réfractions atmosphériques.

L'altitude des « nuages invisibles »

C'est le degré d'humidité qui importe pour la détection radar des « nuages invisibles. » Nous devons donc nous demander comment ces entités ont pu se former et pourquoi ils se sont stabilisés à une certaine altitude. D'après la figure 2, l'air humide a pu provenir de cheminées d'usine ou des tours de refroidissement de centrales nucléaires. À pression et température donnée, tout gaz (idéal) contient le même nombre de particules par unité de volume, mais la masse d'une molécule d'eau est un peu plus petite que celle des molécules d'azote et d'oxygène (dans un rapport de 18 à 28 et 32). Par conséquent, *l'air humide est plus léger que l'air sec*. Une masse d'air humide a donc tendance à monter, ce qui est encore accentué pour de l'air humide et *chaud*. En montant, cette masse d'air est soumise à des pressions de plus en plus basses. Elle se dilate, mais il s'agit d'une expansion adiabatique, avec conservation de l'énergie thermique emmagasinée.

Le traitement mathématique de cet effet [10, 11] conduit au concept d'une *température virtuelle potentielle*, mais nous n'avons pas besoin de tellement de détails. Il est cependant intéressant de signaler qu'on doit tenir compte du fait qu'à une température donnée, l'énergie de rotation par molécule n'est pas la même pour une molécule d'eau (triatomique) que pour des molécules d'azote et d'oxygène (diatomiques). L'air humide et chaud qui montait continuellement à partir d'un endroit donné s'est d'abord accumulé au bord supérieur de la couche limite, jusqu'à ce que son volume fut suffisant pour « percer le plafond. » Nous savons en effet que le pouvoir ascensionnel d'un ballon dépend à la fois de la densité moyenne de son contenu et du volume total qu'il occupe. On parle d'une instabilité sélective.

Pendant sa montée, la « bulle de convection » présentait une face supérieure arrondie, comme un champignon, mais finalement, *elle s'est stabilisée à une certaine altitude*. Son poids était alors équilibré par le fait que la pression atmosphérique est un peu plus forte en bas qu'en haut. Cela revient à dire que la masse spécifique moyenne y est identique à celle de l'air ambiant (Archimède). Au lieu de considérer les densités, on peut comparer les températures qui seraient celles de l'air humide et de l'air sec pour une pression standardisée (généralement 1000 mb). Cette méthode de calcul s'applique aussi à la couche limite [12] et

aux panaches de fumée [13]. Certaines usines peuvent même créer un microclimat, avec des précipitations accrues [14].

Le nuage invisible qui fut détecté par les deux radars militaires au sol et qui a donné lieu à la montée des F-16 a pu être assez grand et *sa forme pouvait être assez irrégulière*. La réduction de l'altitude que j'avais constatée dans certains cas peut résulter des échanges thermiques avec l'air ambiant et donc de la forme et de la grandeur de l'entité considérée. Notons qu'en été, le soleil provoque une évaporation plus forte à certains endroits. De l'air humide et chaud y monte alors de manière continue. Il y aura donc *des courants ascendants* que nos yeux ne perçoivent pas, mais certains oiseaux et des pratiquants de vol à voile s'en servent pour atteindre des altitudes très élevées. Le record pour des planeurs est de 16000 mètres [15]. Parfois, on voit en été des nuages de type *cumulus*, séparés les uns des autres, mais ayant un fond plat au même niveau. Cela provient du fait que la condensation de la vapeur d'eau est seulement possible quand la température et la pression y sont favorables. En fait, nous voyons alors les sommets de différents courants thermiques ascendants, entre les quels il y a des courants descendants. Le concept des « nuages invisibles » est donc justifié.

3. Le radar Doppler pulsé des F-16

Un radar très performant

La firme américaine General Dynamics qui a construit les F-16 les avait équipés du radar *APG-66 de Westinghouse*. C'est ce système qui fut utilisé au cours de l'intervention du 30/31 mars 1990, puisque le contrat pour son remplacement par le système Carapace de Dassault venait à peine d'être signé [16]. Cette modernisation allait doter nos F-16 d'éléments passifs de contre-mesure électronique (ECM), pouvant détecter et analyser des ondes radar venant d'autres émetteurs. Ce système, intégré dans la structure de l'avion, comporte 7 antennes, réparties sur la surface externe et permet donc de détecter des signaux venant des côtés et de l'arrière. On y a ajouté un système *actif* américain (ALQ 131). Il est fixé au-dessous de l'avion et permet de brouiller les radars ennemis.

Si nous cherchons à comprendre ce qui a pu arriver au cours de la mission du 30/31 mars 1990, nous devons connaître au moins les principes de fonctionnement du radar utilisé. Il explore l'espace devant l'avion, en modifiant l'orientation du faisceau de manière appropriée au mode de fonctionnement (*search, situation awareness mode, air combat mode, tracking*). Quand ce radar est « verrouillé » sur une cible particulière, il la suit de manière presque exclusive et fournit des informations plus détaillées à son égard. Il doit cependant continuer à surveiller le ciel environnant, puisque cela pourrait être vital. Ce qui importe, en fait, c'est que le radar Doppler aéroporté détermine *la vitesse* de la « cible » choisie de manière pratiquement continue. Les radars au sol peuvent seulement mesurer la vitesse des avions à partir de leur changement de position quand l'antenne a effectué un tour complet, donc 12 secondes plus tard. *La distance* de la « cible » par rapport à l'avion est déterminée à partir de la mesure du temps qui s'écoule entre l'émission d'une impulsion d'ondes et son retour. *L'azimut et l'élévation* de la « cible » par rapport au F-16 sont déterminés à partir de l'orientation instantanée du faisceau radar. C'est indispensable pour les commandes de tir, mais un radar aéroporté doit aussi être pourvu d'excellents filtres électroniques pour *éliminer les échos venant du sol*. C'est tout aussi indispensable pour être efficace.

Ayant découvert que les radars au sol pouvaient détecter des « nuages invisibles », il était évident pour moi, que le radar des F-16 devait pouvoir les détecter également, mais ces masses d'air humide se déplaçaient par rapport au sol à une vitesse d'environ 25 nœuds (45 km/h). Puisque cette vitesse est inférieure à la vitesse des véhicules terrestres, ces échos devaient être exclus. Les chasseurs volaient à environ 740 km/h (400 nœuds), en gardant

pratiquement une altitude constante (3000 m). Ce qui fut détecté par le radar des F-16 montait et descendait par contre dans des proportions ahurissantes et à des vitesses allant jusqu'à plus de 1000 nœuds (1850 km/h). Les « nuages invisibles » ne se comportent pas comme cela !

Il n'y avait que deux possibilités, dont chacune était problématique. Si le radar des F-16 avait vraiment détecté *un objet volant*, celui-ci devait être capable de performances extraordinaires et même vouloir narguer les pilotes. S'il s'agissait par contre d'échos venant de *nuages invisibles*, il était incompréhensible pourquoi ils n'avaient pas été éliminés par les filtres électroniques et pourquoi ils avaient un comportement tellement étrange. Puisque la deuxième hypothèse était logiquement exclue et puisque nous ne savons pas vraiment de quoi les ovnis sont capables, surtout quand il d'agit d'ovnis d'un nouveau type, comme c'était le cas en Belgique, je me sentis contraint d'accepter la première. Je me suis cependant demandé s'il n'y avait pas de faille dans l'argument qui excluait la seconde. *Serait-il possible que la mesure de la vitesse par effet Doppler soit faussée pour des nuages invisibles ?*

Dans ce cas, les filtres électroniques deviendraient inefficaces et le radar serait induit en erreur, mais il faudrait le prouver. Il était donc nécessaire de passer en revue tous les maillons de la chaîne qui permet de déterminer la vitesse Doppler et d'éliminer les échos inadéquats. Cette partie est plus technique, mais je la rends aussi simple que possible, tout en étant assez explicite pour que l'argumentation soit logiquement acceptable. Cela fournit à chacun de nous une occasion pour apprendre, ce qui n'est jamais inutile. Ceux qui sont pressés peuvent passer cependant à la section qui traite de l'élimination des échos non désirés.

L'effet Doppler pour un réflecteur en mouvement

Lorsqu'une voiture de course s'approche de nous et s'éloigne ensuite, le son se transforme. La fréquence passe brusquement d'une valeur élevée à une valeur plus basse. C'est également le cas quand le son est capté par un microphone. C'est une propriété générale des ondes qui s'applique donc aussi aux ondes lumineuses. La fréquence de la lumière émise par des galaxies qui s'écartent de nous est effectivement « décalé vers le rouge », donc du côté des basses fréquences. La situation est un peu plus complexe pour *un radar aéroporté*, parce que l'émetteur éclaire un réflecteur en mouvement. Pour expliquer ce qui se passe, j'ai imaginé une méthode graphique, plus intuitive que l'argument analytique habituel (figure 3).

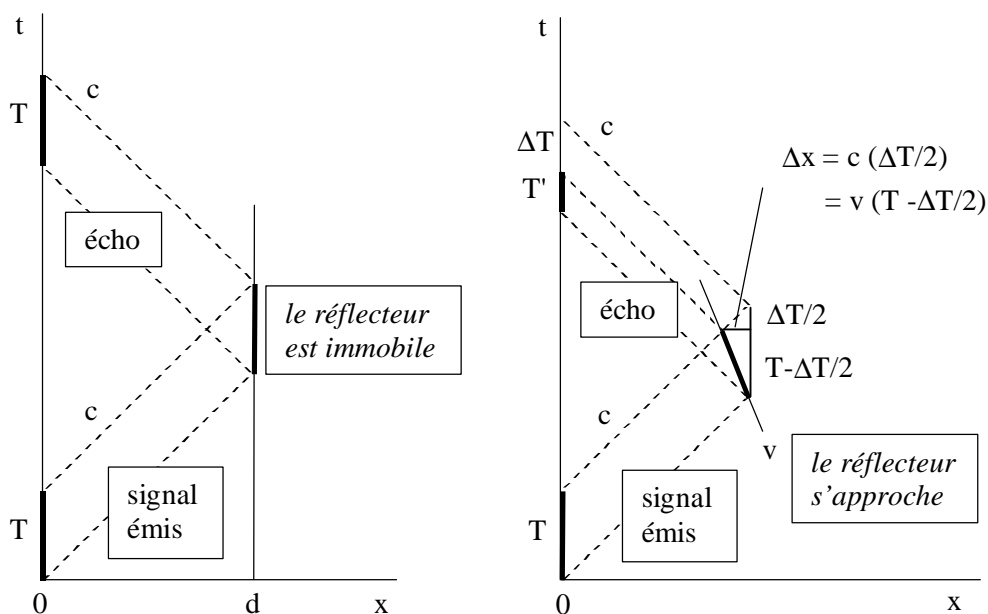


Figure 3. La propagation d'ondes à la vitesse c conduit à un changement de la période d'oscillation du signal réfléchi quand le réflecteur est en mouvement.

La partie gauche de cette figure se rapporte au cas d'un réflecteur *immobile* par rapport à l'émetteur-récepteur. Pour les F-16, c'est le même instrument, agissant alternativement dans l'un et l'autre mode. L'axe horizontal correspond à la direction de propagation de l'onde, tandis que le temps qui s'écoule est mesuré suivant l'axe vertical. Un signal est émis à l'instant $t = 0$ à partir de l'émetteur, situé en $x = 0$. Il se propage à la vitesse c vers le réflecteur qui agit comme un miroir plan, situé en $x = d$. L'onde revient à la même vitesse c . Un second signal, émis en $x = 0$ à l'instant $t = T$, revient à son tour avec un retard égal à T . Au lieu d'imaginer deux signaux, nous pouvons considérer une onde qui oscille à une fréquence donnée, $F = 1/T$. On comprend alors de suite que l'onde qui est captée par le récepteur aura *la même fréquence* que l'onde émise, s'il n'y a pas de mouvement relatif.

La partie droite de la figure 3 illustre ce qui se passe quand *le réflecteur s'approche de l'émetteur-récepteur* à une vitesse v . Il suffit d'inspecter la figure pour voir qu'on peut calculer le changement ΔT de la période, puisque $c(\Delta T/2) = v(T-\Delta T/2)$. Par conséquent, $(c+v)\Delta T = 2vT$. Quand $v \ll c$, il en résulte que $\Delta T = (2v/c)T$. La période du signal reçu est $T' = T - \Delta T = (1-2v/c)T$. Elle diminue, tandis que la fréquence $F' = 1/T'$ augmente. En fait, $F' = (1+2v/c)F$, quand $v \ll c$. Le changement de fréquence $\Delta F = F' - F$ est donc tel que $\Delta F/F = 2v/c$. Pour un émetteur et un récepteur qui s'approchent l'un de l'autre, on aurait obtenu $\Delta F/F = v/c$, où v est la vitesse d'approche relative (avec $v \ll c$). Un *réflecteur* en mouvement amplifie donc le changement de fréquence d'un facteur 2. Notons que la fréquence augmente quand le réflecteur s'approche et qu'elle diminue, quand il s'éloigne. On peut donc mesurer la grandeur et le signe de la vitesse radiale v , en comparant le signal qui revient à celui qui continue à être produit par l'oscillateur interne de l'émetteur-récepteur. Comment le fait-on ?

La mesure de la vitesse d'approche

Les signaux qu'on doit comparer peuvent être *représentés au même instant t* par deux vecteurs qui tournent à des vitesses angulaires différentes, comme l'indique figure 4. Le vecteur qui caractérise *l'oscillateur interne* a une grandeur A et tourne avec une vitesse angulaire $\omega = 2\pi/T$, puisqu'il fait un tour complet (2π radians) en un temps T . La grandeur A' du vecteur qui caractérise *l'écho* est inférieure à A , parce qu'une partie fut absorbée ou diffusée en cours de route. Quand il y a un effet Doppler, sa fréquence angulaire ω' est différente de ω .

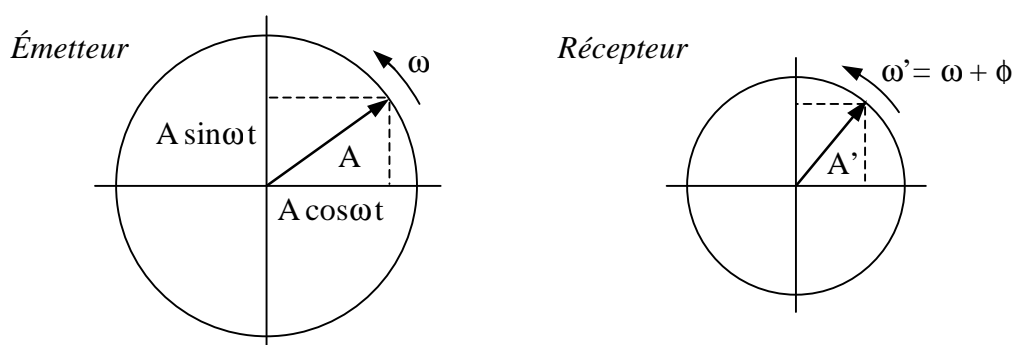


Figure 4: Le signal interne à l'émetteur et le signal capté par le récepteur sont représentés par deux vecteurs qui tournent à une vitesse angulaire donnée, pouvant être modifiée par effet Doppler.

Le changement relatif $\Delta\omega/\omega = \Delta F/F = 2v/c$ est positif quand le réflecteur s'approche. Quand sa vitesse v est *constante* depuis l'instant 0 jusqu'à l'instant t , nous pouvons affirmer que le déphasage $\phi = \Delta\omega t$. Quand la vitesse *varie*, l'angle ϕ s'accroît pendant un petit intervalle de temps dt d'une quantité $d\phi = \Delta\omega dt$. Donc $d\phi/dt = \Delta\omega = 2v/c$. La dérivée (rapidité du changement) de ϕ par rapport au temps fournit *la vitesse instantanée* v . Ce calcul est

effectué par traitement électronique du signal, en procédant de la manière suivante [17, 18]. Prenons le *produit* des composantes *horizontales* du signal reçu et du signal de référence au même instant, en posant $A = 2$. Ce produit est égal à la somme de deux fonctions trigonométriques, conformément à la première relation qui suit. Le produit des composantes *verticales* des deux vecteurs fournit la seconde relation.

$$2A' \cos(\omega t + \phi) \cos(\omega t) = A' [\cos \phi + \cos(\omega t + \phi/2)]$$

$$2A' \cos(\omega t + \phi) \sin(\omega t) = A' [-\sin \phi + \sin(\omega t + \phi/2)]$$

L'ordinateur de bord réalise ces opérations au moyen d'un « mélangeur électronique. » Les derniers termes à l'intérieur des deux crochets correspondent à des fonctions qui oscillent rapidement. On les élimine au moyen d'un filtre passe-bas, ce qui fournit continuellement deux signaux qui varient assez lentement :

$$I(t) = A' \cos \phi \quad \text{et} \quad Q(t) = A' \sin \phi$$

Pour déterminer le signe et la grandeur de ϕ avec une précision optimale, on utilisera ces deux fonctions $I(t)$ et $Q(t)$, en effectuant une transformée de Fourier rapide (FFT) au moyen d'un processeur digital. Il suffit de tenir compte ensuite du changement $d\phi$ de la phase pendant un très petit intervalle de temps dt , pour déterminer $\Delta\omega$ et donc *la vitesse de rapprochement* v à n'importe quel instant.

La mesure de la distance radiale

Jusqu'à présent, nous avons considéré un signal émis en continu. Puisque cela ne permet pas de déterminer la distance instantanée du réflecteur, on utilise des *impulsions*, afin de pouvoir mesurer le temps Δt nécessaire pour qu'une impulsion donnée effectue un aller-retour. Étant donné que le signal se propage à la vitesse c , il en résulte que la distance $d = c(\Delta t/2)$. On peut admettre en effet que la vitesse des micro-ondes est pratiquement égale à c , malgré les perturbations atmosphériques éventuelles. Il y a cependant *une ambiguïté*, puisque l'écho reçu pourrait être dû à une impulsion antérieure. La figure 5 montre que si elle résultait de l'impulsion précédente, le retard de réception serait égal à $T_0 + \Delta t$, où T_0 est l'intervalle de temps entre deux impulsions successives.

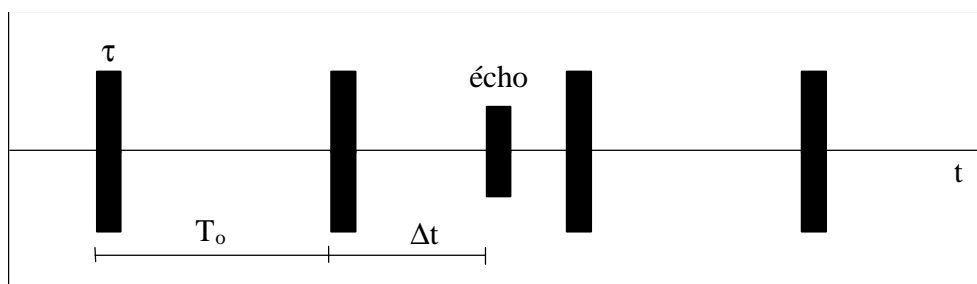


Figure 5: La détermination de la distance du réflecteur au moyen d'un train d'impulsions conduit à une ambiguïté quand on ne mesure que le retard Δt à l'intérieur d'un intervalle de temps T_0 .

On peut donc seulement affirmer que *la distance réelle* $D = d + nd_0$, où $d_0 = cT_0/2$ et $n = 0, 1, 2, \dots$. Mais on peut émettre successivement plusieurs trains d'ondes avec des intervalles différents: T_0, T_1, T_2, \dots . Cela fournit différentes *distances ambiguës maximales* d_0, d_1, d_2, \dots et un ensemble d'équations $D = d + n_0d_0 = d + n_1d_1 = d + n_2d_2 \dots$. Il apparaît que trois trains

d'ondes seraient suffisants pour déterminer la valeur de d , si l'on était certain qu'il y a un seul réflecteur, mais il peut y en avoir plusieurs. Le nombre maximal de cibles qu'un radar aéroporté est capable de discerner résulte d'un *compromis*. Le système APG-66 utilise 8 trains de 64 impulsions. Ils sont envoyés à 8 intervalles différents, ce qui détermine des fréquences de récurrence f_0, f_1, \dots . En pratique, on ne résout pas des équations, mais on détermine D au moyen d'un « corrélateur électronique » qui détecte simplement des coïncidences. Bien qu'il s'agisse d'un traitement analogique, il est robuste et suffisant.

La vitesse maximale mesurable

Puisque les F-16 sont dotés d'un *radar Doppler pulsé*, on est encore confronté à une autre difficulté. Elle concerne la mesure des vitesses. Revenons en effet au cas simple d'un radar qui émet de manière *continue* une onde sinusoïdale de fréquence F donnée. Le spectre des fréquences est alors constitué d'une seule raie, infiniment mince. Elle correspond à la fréquence F et il suffit de mesurer le changement ΔF de cette fréquence pour déterminer la vitesse v . Pour qu'on puisse mesurer aussi la distance du réflecteur, il faut moduler cette onde, pour obtenir un « train d'ondes. » Cela veut dire qu'on produit une suite d'impulsions, dont chacune comporte un certain nombre d'oscillations à la fréquence F . Les procédures sont alors plus compliquées, mais cela reste faisable.

La fréquence F des ondes radar se situe dans le domaine des GHz. La période T est donc de l'ordre de 10^{-9} s, mais on découpe cette onde en une suite d'impulsions rectangulaires, dont la durée τ est de l'ordre de 10^{-6} s. Ces impulsions se succèdent à des intervalles réguliers T_0 d'environ 10^{-3} s. La *fréquence de récurrence* $f_0 = 1/T_0$ se situe donc dans le domaine des kHz, mais dans ce cas, on ne peut plus dire que l'onde est monochromatique. Le spectre des fréquences est constitué d'un ensemble de raies, formant *une raie élargie*. Les raies individuelles y sont séparées les unes des autres d'un intervalle f_0 . Comme le montre la figure 6, l'enveloppe des amplitudes est donnée par une fonction qui est maximale pour la fréquence F , mais décroît avec des rebondissements. (C'est la transformée de Fourier d'une fonction rectangulaire de durée τ : son enveloppe varie comme la valeur absolue de « $\sin(x)$ divisé par x » et sa largeur caractéristique est $1/\tau$). Il faut envoyer différents trains d'impulsions. Chacun d'eux comporte N éléments. Les raies individuelles en seront élargies, mais N est assez grand pour que nous aboutissons à des raies assez minces (figure 6). Revenons maintenant à l'effet Doppler. Il modifie toutes les fréquences et produit donc un glissement général du spectre. Il se peut que le déplacement $\cdot F$ soit inférieur ou supérieur à la séparation f_0 entre deux raies voisines, puisqu'il dépend de la grandeur de la vitesse v .

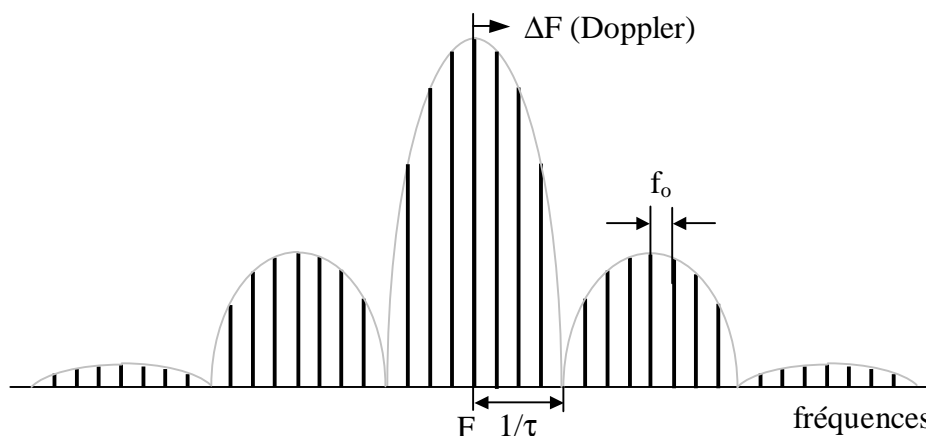


Figure 6: Le spectre des fréquences d'un train d'ondes et le changement de fréquence ΔF qui résulte de l'effet Doppler. Il faut que ΔF soit limité pour éviter une ambiguïté des vitesses.

Quand ΔF est exactement égal à un multiple entier de f_0 , le spectre du signal reçu se superpose au spectre du signal émis. On pourrait donc en conclure que la vitesse $v = 0$, même quand cela n'est pas vrai. Puisqu'on doit tenir compte aussi bien des « cibles » qui s'écartent du F-16 que de celles qui s'en approchent, on *exigera* que ΔF se situe dans le plus petit intervalle non ambigu, centré sur F . Sa largeur est f_0 , mais il s'étend de $-f_0/2$ à $+f_0/2$.

Par conséquent, il sera impossible de mesurer des vitesses supérieures à une certaine « vitesse relative maximale » v_m , telle que $f_0/2 = (2v_m/c)F$. La longueur d'onde de l'onde porteuse est $\lambda = c/F$. Donc $v_m = f_0 \lambda/4$. Pour pouvoir mesurer des vitesses relatives très élevées, il faudrait donc que la fréquence de récurrence f_0 soit très élevée, mais il y a une objection. La *distance ambiguë maximale* $d_m = c/2f_0$ serait trop petite, si f_0 était trop grand et il faudrait beaucoup de trains d'ondes différents pour lever l'ambiguïté en distance.

On acceptera donc de nouveau un compromis, en optant pour une fréquence de récurrence f_0 ni trop grande, ni trop petite. Il faut en tout cas que la vitesse relative maximale v_m soit suffisamment élevée pour ne pas être dépassé par la technologie aéronautique du moment. Le radar des F-16 est capable de détecter des vitesses relatives jusqu'à environ 600 nœuds [19]. Puisque la vitesse *absolue* par rapport au sol est calculée, elle peut être plus élevée, mais il y a également une limite.

L'élimination des échos non désirés

Pour le pilote d'un chasseur F-16, il est essentiel et même vital qu'il puisse se fier aux informations fournies par son radar. Il faut donc que celui-ci *élimine* les échos anormaux qui pourraient induire le pilote en erreur. Ces échos proviennent le plus souvent de réflecteurs situés au sol. Ils se rapprochent de l'avion avec une vitesse radiale qui dépend de la vitesse de l'avion par rapport au sol, de son altitude et de la distance du réflecteur considéré, mais tous ces paramètres peuvent changer. L'ordinateur du radar doit pourtant en tenir compte pour *déterminer la grandeur de la vitesse relative de l'endroit où le lobe principal du faisceau radar touche le sol*. La figure 7 illustre la situation pour un vol horizontal, en considérant plusieurs types d'échos possibles. Nous voudrions savoir comment l'ordinateur procède pour éliminer des échos venant du sol (S) et si cela permet aussi d'exclure des échos qui pourraient provenir d'une masse d'air humide (H). Cela se fait au moyen d'un algorithme qui permet de procéder à un examen systématique de toutes les possibilités.

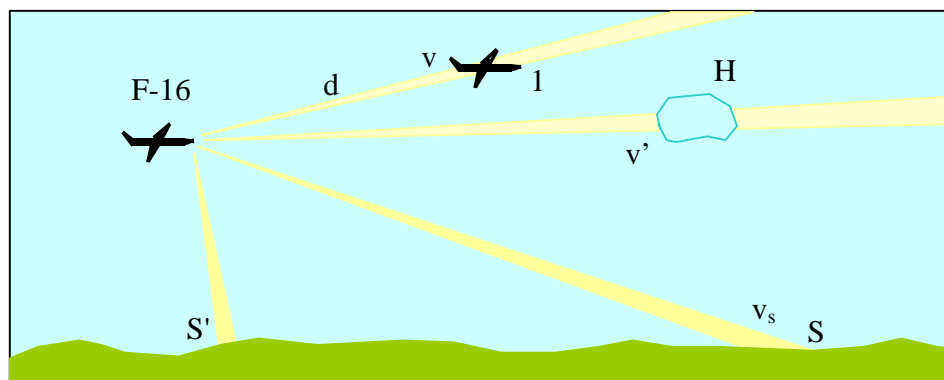


Figure 7: Chasseur, faisceau radar touchant le sol (S) et une masse d'air humide (H).

En fait, le radar échantillonne d'abord la partie du signal qui revient en premier lieu. Ensuite, il analyse les parties qui arrivent de plus en plus tard. En faisant cela, il découpe chaque fois le domaine des distances d possibles en portions de même largeur. Elle dépend de

la largeur des impulsions individuelles, puisqu'il ne serait plus possible de séparer ces impulsions les unes des autres, si les durées d'un aller-retour étaient inférieures à $\tau/2$ (figure 5). Par conséquent, le plus petit intervalle de distance mesurable est $\delta = c\tau/2$. On ouvre dès lors l'une après l'autre des « portes de distance » de largeur adéquate. La distance maximale d_m dépend par ailleurs de la fréquence d'échantillonnage f_0 , dont le choix est modifiable, mais en pratique, on se contente d'imposer un nombre maximal de portes de distance juxtaposées. Pour les F-16, il peut aller jusqu'à 128.

En fait, l'ordinateur analyse les signaux qu'il capte au fur et à mesure de leur arrivée pour en extraire uniquement ce qui est utile. Il pourrait y avoir plusieurs réflecteurs, mais on peut les discerner les uns des autres au moyen de leurs distances et de leurs vitesses par rapport au F-16. La vitesse relative v est mesurée par effet Doppler. Cette valeur peut se situer entre $-v_m$ et $+v_m$, le signe étant positif pour une vitesse d'approche (closing speed). Le radar mesure également la distance d des différents réflecteurs. La figure 7 indique ces paramètres pour un avion (1). Par conséquent, le radar peut répertorier les composantes du signal reçu dans le plan v - d , pour synthétiser à chaque instant t l'ensemble des informations qu'il a reçues. La figure 8 en fournit un exemple.

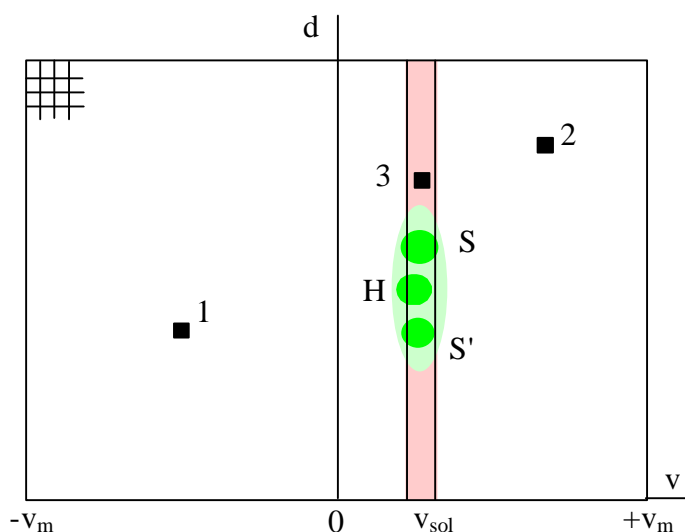


Figure 8: Classification des échos radar dans le plan d - v .

Pour chacune des portes de distance, c'est-à-dire pendant un laps de temps très bref, l'ordinateur examine l'ensemble des impulsions qu'il reçoit en retour pour le train d'onde considéré. Il détermine la vitesse relative v des différents réflecteurs à partir du changement de fréquence $\bullet F$ qui y correspond. Cela se fait au moyen d'un processeur électronique et d'un banc de filtres électroniques qui découpe le spectre des fréquences en 64 bandes de même largeur pour un signe donné. Les deux signes possibles fournissent donc 128 portes de vitesse. En fin de compte, il en résulte un ensemble de cases pour la portion du plan v - d qui a été retenue. Quelques-unes de ces cases sont représentées schématiquement dans le coin supérieur gauche de la figure 8. Les intensités du signal pour toutes ces cases définissent une matrice qui représente les informations reçues sous la forme d'une répartition des intensités.

Nous pouvons imaginer cette matrice comme un relief pour un domaine rectangulaire. Il y aura des maxima à certaines endroits, donc pour certaines cases du plan d - v . C'est ce qui permet au radar des F-16 de faire la distinction entre différentes « cibles » et de se verrouiller sur l'une d'elles. Il suffit de mettre un curseur à l'endroit approprié de l'écran. Les points 1 et 2 de la figure 8 désignent par exemple deux avions, dont le premier s'écarte du F-16, tandis que le second s'en approche, mais il y a aussi une répartition de l'intensité des signaux qui

sont renvoyés par des réflecteurs situés au sol. C'est le « *fouillis du sol* », représenté sur la figure 8 par la plage en vert clair. Il comporte des renforcements pour l'endroit (S) où le lobe principal touche le sol et pour l'endroit (S') au-dessous de l'avion, donc plus proche (figure 7).

Puisque la forme du faisceau radar est déterminée par des interférences, ce faisceau comporte des *lobes secondaires* qui contribuent également à l'émission et à la réception de signaux. Ceci explique la grandeur de la plage qui est indiquée sur la figure 8 en vert clair. L'endroit (S) où le lobe principal touche le sol défile à une certaine vitesse relative. Le radar la détermine par effet Doppler. Sur la figure 8, nous l'avons désignée par v_{sol} et nous l'avons encadrée par deux droites verticales. Elles délimitent *un domaine représenté en rose, où l'on supprime tous les échos*, puisqu'ils viennent presque toujours du sol. En fait, on déplace tout le spectre des fréquences pour qu'on puisse supprimer la bande des vitesses proches de v_{sol} au moyen d'un filtre. Cette vitesse change en fonction des paramètres de vol et de la configuration du terrain, mais on peut en tenir compte de manière automatique.

En éliminant le fouillis du sol, on court cependant le risque de supprimer des échos provenant de « cibles » réelles, comme ce serait le cas pour le carré 3 de la figure 8. Cela peut être dangereux, puisqu'un avion ennemi ne serait plus détecté s'il volait latéralement, en maintenant une vitesse radiale adéquate. Pour éviter de perdre ce type de cibles, on réalise un filtrage plus subtil. Dans chaque ligne du plan v-d, on groupe toujours trois cases adjacentes et l'on choisit celle où le signal est le plus intense, mais on ne le retient que s'il dépasse *un certain seuil*. Il est défini par la moyenne des deux autres valeurs, multipliée par une constante qui est modifiable en fonction du niveau général du bruit de fond ou de la recherche d'une cible qui pourrait vouloir se cacher en se présentant de profil. Cette procédure est d'ailleurs appliquée à tout le plan v-d.

Puisque le radar aéroporté doit tenir compte du fait que les véhicules peuvent se déplacer au sol dans n'importe quelle direction par rapport à celle du vol de l'avion, avec des vitesses allant au moins jusque 100 km/h, les nuages invisibles, qui ne se déplaçaient qu'à 45 km/h par rapport au sol, étaient nécessairement exclus. Ces entités ne pouvaient donc *pas* rendre compte des échos radar anormaux détectés par les deux F-16, mais il y a un problème.

La mesure de la « vitesse Doppler » peut être faussée !

Nous devons commencer par prendre conscience du fait qu'une masse d'air humide est presque transparente aux ondes radar. Il faut, en effet, qu'il y ait une variation assez brusque du degré d'humidité pour que les micro-ondes puissent y subir *une réflexion partielle*. Elle est faible, mais des réflexions sont possibles en de nombreux endroits. L'écho que le radar reçoit résulte de *la superposition de toutes ces ondes réfléchies*, sans que la technologie actuelle permette de les séparer. Pour éviter des complications secondaires, nous admettrons que toutes les surfaces qui donnent lieu à une réflexion partielle sont perpendiculaires à la direction du faisceau incident, comme l'indique la figure 9.

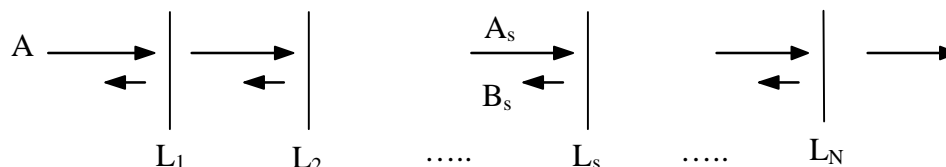


Figure 9: Réflexions partielles aux surfaces où la vitesse de propagation varie brusquement.

L'onde incidente a une amplitude A , mais elle rencontre un milieu où la densité des molécules d'eau n'est pas constante partout. La vitesse de propagation $v = c/n$, où l'indice de réfraction $n > 1$, mais la différence $n - 1$ augmente quand la densité des molécules d'eau augmente. Nous admettrons que le faisceau radar traverse le nuage invisible, en rencontrant

une suite de surfaces, où la densité des molécules d'eau varie assez brusquement pour donner lieu à des réflexions partielles. Elles sont situées à des distances L_1, L_2, \dots, L_N de l'émetteur. Ce sont les interfaces entre des portions du nuage invisible où la densité des molécules d'eau est pratiquement constante. Considérons maintenant la réflexion partielle qui a lieu à une distance particulière L_s de l'antenne émettrice et réceptrice. Juste devant cette interface, l'onde incidente passe par un milieu dont l'indice de réfraction est $n_s = 1 + \epsilon_s$ et juste derrière, il est $n_{s+1} = 1 + \epsilon_{s+1}$. Les écarts par rapport à 1 sont très petits, mais l'amplitude de l'onde réfléchie est $B_s = r_s A_s$, où $r_s = (n_s - n_{s+1}) / (n_s + n_{s+1}) = (\epsilon_s - \epsilon_{s+1}) / 2$.

Ce sont donc uniquement *les variations* de la densité des molécules d'eau qui importent. Il en résulte que des réflexions multiples donneraient lieu à des effets qui dépendent du produit de deux ou de plusieurs nombres très petits. C'est négligeable par rapports aux effets du premier ordre. L'onde qui est renvoyée par le nuage invisible peut donc être considérée comme étant une superposition d'ondes réfléchies à différents endroits, mais *toujours un seul*. Or, l'onde qui est réfléchie en L_s revient au radar après avoir parcouru une distance égale à $2L_s$ pour un aller-retour. Puisque la vitesse est pratiquement égale à c , le déphasage de cette « onde partielle » par rapport à l'onde émise est égal à $\phi_s = \omega t = \omega 2L_s / c$.

Quand nous posons $A = 1$, chaque onde partielle qui arrive au radar sera représentée dans le plan (dit complexe) de la figure 4 par un vecteur $B_s = r_s A e^{i\phi_s}$. Le carré de r_s définit la probabilité de la réflexion partielle considérée, tandis que l'angle de phase ϕ_s dépend du retard de cet écho quand il arrive à l'antenne réceptrice. Puisque le radar est incapable de séparer les différentes ondes partielles les unes des autres, il ne tient compte que de *la somme des petits vecteurs*. Nous pouvons juxtaposer les petits vecteurs de telle manière que leurs inclinaisons sont de plus en plus grandes, comme dans la figure 10. Nous supposons ici que tous les r_s sont positifs. Le cas plus général sera discuté dans la partie suivante.

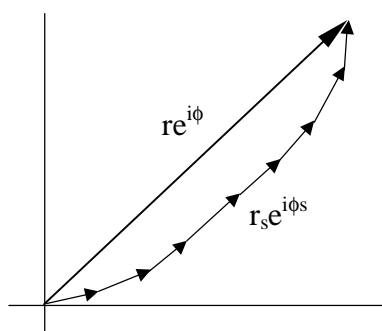


Figure 10 : Les ondes réfléchies peuvent interférer de manière constructive.

Le vecteur résultant aura lui-même une certaine grandeur et une certaine inclinaison. Nous le représentons par $re^{i\phi}$. Bien que des effets aléatoires tendent à se compenser mutuellement, la somme peut parfois être assez grande. Ce n'est pas fréquent, mais parfaitement possible. Ce mécanisme est à *la base de tous les phénomènes d'interférence*, mais normalement, on ne s'intéresse qu'à la grandeur du vecteur résultant. Dans le cas présent, ce n'est pas seulement l'intensité de l'onde résultante qui importe (pour dépasser le seuil de détection), mais également la phase, puisque c'est elle qui détermine la grandeur de la vitesse qu'on attribue au réflecteur. Si tous les ϕ_s étaient identiques et égaux à ϕ , le coefficient r serait égal à la somme des r_s . Puisque l'indice de réfraction monte ou descend à chaque interface, pour revenir finalement à sa valeur initiale, on aurait $r = 0$. Le nuage invisible ne serait pas détectable au radar, mais en général, les valeurs des phases ϕ_s sont différentes. Donc

$$r e^{i\phi} = \sum_s r_s e^{i\phi_s} \quad \text{et} \quad v r e^{i\phi} = \sum_s v_s r_s e^{i\phi_s}$$

La sommation (Σ) porte sur des termes caractérisés par différentes valeurs de s . La seconde relation résulte de la première, en prenant la dérivée par rapport au temps. Elle définit la *vitesse Doppler effective* v en fonction des vitesses de déplacement $v_s = dL_s/dt$ des différentes interfaces, puisque $\phi_s = \omega 2L_s/c$, tandis que $\phi = \omega 2L/c$, où L est la valeur moyenne des L_s . La vitesse mesurée v est donc une valeur moyenne *pondérée* des vitesses v_s . Souvenons-nous du fait que l'air humide est plus léger que l'air sec à la même pression et la même température. Il doit donc y avoir des mouvements ascendants et descendants dans un nuage invisible et par conséquent des turbulences. On parle de CAT (Clear Air Turbulence), mais cela se produit aussi dans les nuages visibles. Leur partie supérieure ressemble un peu à un chou-fleur. Les distances L_s se modifient de manière assez chaotique. Il apparaît dès lors que le radar aéroporté peut détecter parfois *un signal qui attribue au nuage invisible une vitesse Doppler différente de la vitesse moyenne* de cette entité. Elle pourrait même être de signe opposé.

L'écho se situera quelque part dans le plan d - v (figure 8), mais pas nécessairement dans le domaine d'exclusion et il peut être suffisamment intense pour être retenu. Puisque le nombre des échantillonnages qui sont réalisés par unité de temps est très élevé, les coïncidences fortuites ne sont pas négligeables. *Les vitesses Doppler apparentes des nuages invisibles peuvent donc être assez différentes de la vitesse du sol par rapport à l'avion, pour que ces échos échappent au filtre d'exclusion.* Je ne sais pas si les constructeurs des radars sont au courant de cet effet, mais ils auraient tort de l'ignorer, puisqu'il y a moyen de l'éviter quand on connaît le mécanisme sous-jacent.

Il n'est plus nécessaire, en tout cas, d'attribuer les mystérieux échos enregistrés par les F-16 à un ou plusieurs ovnis. Pour un avion, il y a également un ensemble d'ondes partielles, renvoyées à différents endroits, mais toutes les vitesses v_s sont identiques à la vitesse de déplacement de l'objet considéré, puisqu'il s'agit d'une « cible dure. » Les déformations sont insignifiantes par rapport à ce qui peut se passer pour un nuage invisible, à cause de son agitation interne. Les interférences entre différentes ondes partielles ne sont pas à confondre avec des interférences, conduisant à des perturbations de l'électronique du radar à cause d'actions externes de type électromagnétique. Le radar est d'ailleurs très protégé à cet égard. C'est vraiment le principe de base des radars Doppler qui est mis en cause.

Après avoir développé cette idée, j'ai évidemment cherché à savoir si elle avait déjà été proposée. Cela n'est pas apparu, mais on touche peut-être à des secrets qui relèvent du complexe militaro-industriel. J'ai trouvé cependant une idée apparentée dans un article [20] qui traite de l'étude des précipitations au moyen d'un radar Doppler pulsé. Les ondes partielles diffusées par des gouttes de pluie doivent être sommées, en tenant compte des phases, mais cela a peu d'effet pour des gouttes de pluie qui tombent presque toutes à la même vitesse. Notons que des radars Doppler au sol furent utilisés pour étudier *la convection* dans une atmosphère optiquement transparente [21]. Le traitement mathématique est complexe, mais les fluctuations y jouent un rôle important.

4. Les enregistrements radar des F-16

Le troisième verrouillage

Il importe maintenant de *vérifier* si le modèle proposé rend effectivement compte des faits observés. Il faut donc les examiner de manière détaillée. La figure 11 fournit l'ensemble de ces données pour le troisième verrouillage.

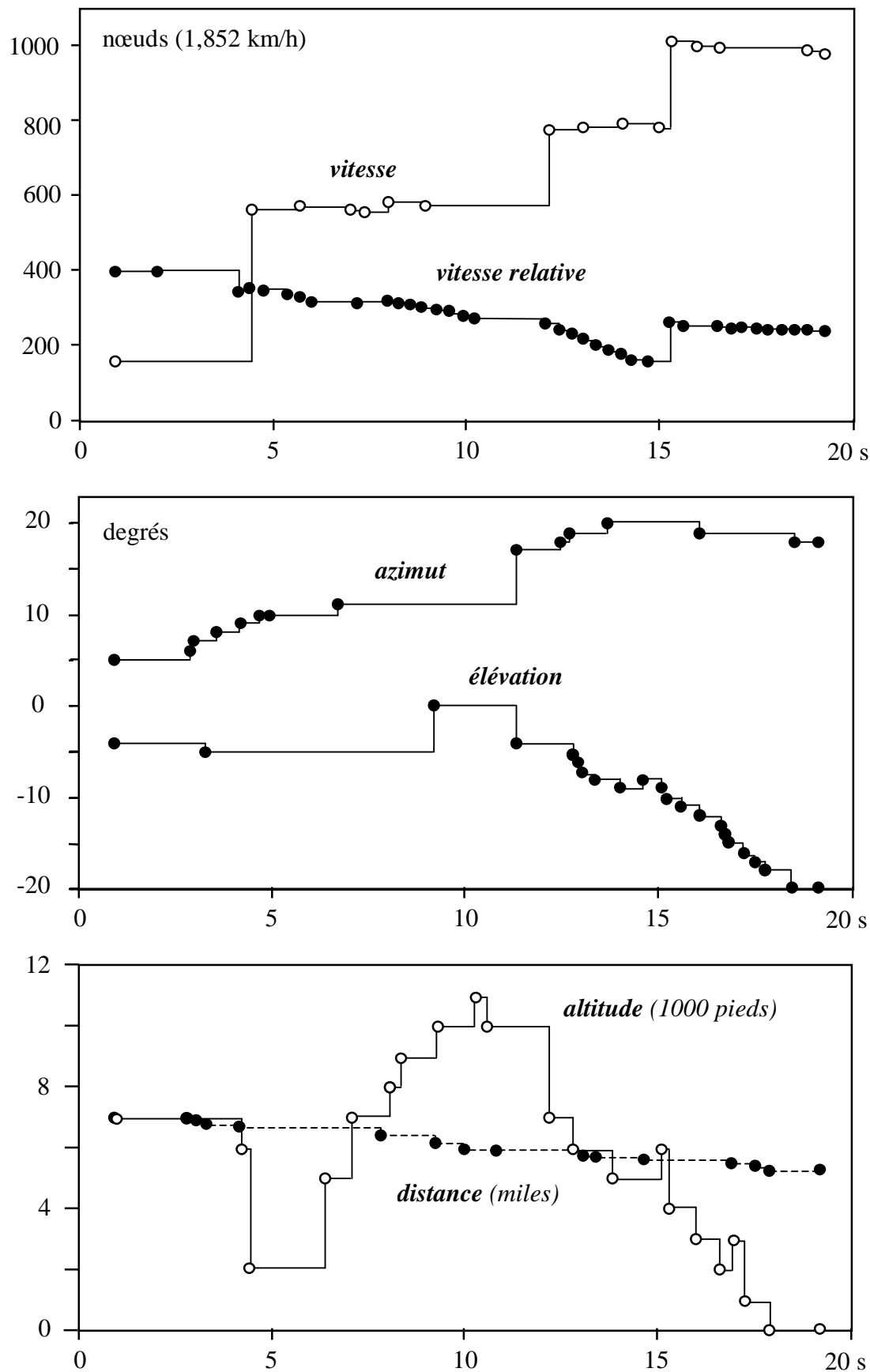


Figure 11 : Les valeurs des paramètres enregistrés pendant le troisième verrouillage.

Ce verrouillage était le plus long et c'est celui que le général De Brouwer a montré aux journalistes lors de la conférence de presse. Des images de l'écran radar ont été publiées (I, photos 6.3 et 6.4), mais ce sont uniquement *les valeurs des paramètres* qui y sont inscrites de manière numérique ou analogique qui doivent retenir notre attention. Les « points » de la figure 11 désignent des valeurs qui viennent d'être modifiées, tandis que les lignes horizontales indiquent que les valeurs affichées sont restées constantes. Cela ne veut pas dire nécessairement qu'il n'y eut pas de nouvelles mesures, puisqu'il y eut 30 images par seconde. Les valeurs qui résultent de mesures directes, indiquées par des « *points noirs* », n'ont d'ailleurs pas toujours été modifiées en même temps pour différents paramètres. Les « *points blancs* » fournissent des valeurs calculées par l'ordinateur de bord.

La « *vitesse* » est celle de la source des échos par rapport au sol, tandis que la « *vitesse relative* » est la composante radiale de la vitesse de cette source par rapport à l'avion. Elle est mesurée par effet Doppler et est positive quand il s'agit d'une vitesse d'approche. Nous constatons que le troisième verrouillage a débuté quand la vitesse relative était égale à 400 nœuds, mais par la suite, sa valeur fut abaissée. Or, d'après les pilotes, les F-16 volaient toujours à une vitesse proche de 400 nœuds par rapport au sol. L'écart grandissant entre la vitesse relative mesurée et 400 nœuds prouve bien *la sortie du domaine d'exclusion*.

Pourquoi ce verrouillage a-t-il débuté avec une vitesse relative de 400 nœuds, bien que cela dût être exclu ? Il y a deux explications possibles. Ou bien, l'avion volait à ce moment-là à une vitesse suffisamment différente de 400 nœuds. Ou bien, le signal était assez fort, pour être traité comme l'écho 3 de la figure 8. Nous constatons par ailleurs qu'il y a de petites séquences où la vitesse relative varie de manière linéaire. Ceci est attribuable au *filtre de Kalman*, mais l'ensemble des données démontre qu'il y eut quand même beaucoup de mesures réelles et pas seulement des prédictions. Une vitesse d'approche positive implique que la distance doit diminuer, ce qui est effectivement le cas.

Quant à *la vitesse par rapport au sol*, sa valeur initiale est déjà nettement supérieure à celle des nuages invisibles (24 nœuds). Par la suite, elle augmente encore et atteint même très rapidement des valeurs de l'ordre de 1000 nœuds ou 1852 km/h. Ce n'est pourtant pas incompatible avec la valeur relativement modeste de la composante de la vitesse radiale par rapport à l'avion, puisque les variations de l'angle d'élévation et de l'azimut (déterminés à partir de l'orientation du faisceau) indiquent que la source se déplaçait latéralement et verticalement par rapport à l'avion. Au début, l'angle d'élévation était négatif, ce qui est en accord avec le fait que l'altitude affichée est de 7000 pieds, puisque que les deux F-16 évoluaient à environ 10.000 pieds.

À première vue, il y a quand même un problème, puisque les deux radars militaires situaient la source des échos anormaux (pour la trace supérieure de la figure 2 au moment de l'intervention) à une altitude proche de 10.000 pieds. Les fluctuations de l'altitude mesurée (II.397) ne suffisent pas pour expliquer l'écart. L'altitude mesurée par le F-16 varie de plus en plus fortement. La source des échos anormaux descend même jusqu'au sol. Est-ce possible pour des échos venant d'une masse d'air humide ?

Oui, parce que le « nuage invisible » s'est formé à partir d'une *colonne de convection*, montant du sol à partir d'un endroit donné. Il pouvait donc y avoir des traces d'air humide qui subsistaient et qui ont été transportées par le mouvement général de l'atmosphère à la même vitesse que la grande masse d'air humide. Un nuage invisible, tout comme un nuage ordinaire, n'est que la partie supérieure d'une colonne de convection. Il est en quelque sorte *comparable à un champignon atomique*, avec un chapeau et un pied. Or, quand le radar du F-16 a détecté un écho venant du nuage invisible, il a continué à scruter le ciel, en étant guidé par *le filtre de Kalman*. Si l'écho suivant, sortant du domaine d'exclusion de la figure 8, venait de plus haut ou de plus bas, plus vers la gauche ou vers la droite, l'ordinateur de bord a

continué à chercher, avec une sensibilité accrue, dans un domaine qui suivit ce mouvement. Le radar a donc pu découvrir une trace de la colonne de convection initiale.

Le premier F-16, utilisé comme référence

À certains moments, le pilote du second F-16 a verrouillé son radar sur le premier F-16, afin de le suivre plus facilement au cours d'une suite de virages. Ceux-ci sont indiqués sur la vidéo par l'inclinaison des ailes du second F-16. La figure 12 montre les valeurs de certains paramètres pour les verrouillages 8 et 10.

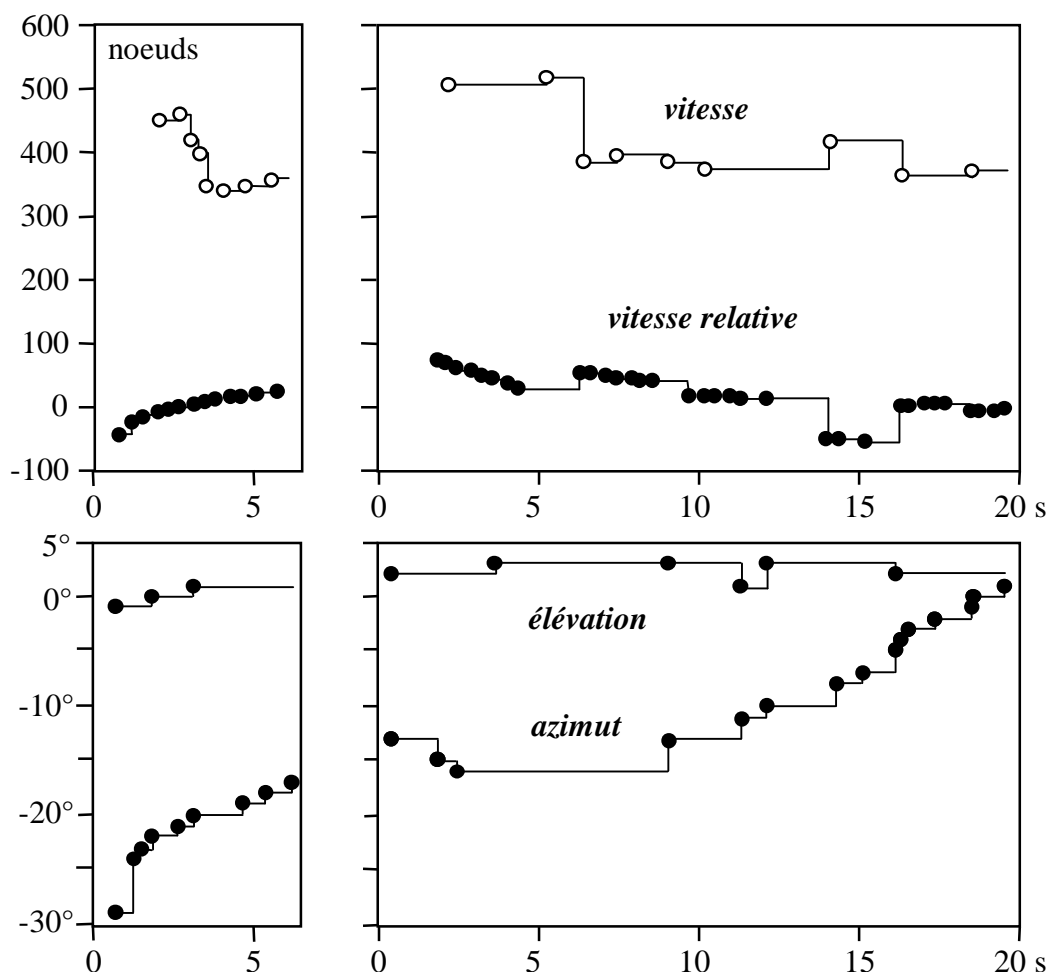


Figure 12 : Les enregistrements 8 (à gauche) et 10 (à droite) se rapportent au premier F-16.

Nous voyons que la vitesse par rapport au sol du premier F-16 n'était pas toujours tout à fait proche de 400 nœuds. Ce type d'écarts est donc possible et il suffit pour expliquer le début du verrouillage 3 (figure 11). Il apparaît également que les deux F-16 ne volaient pas constamment à la même vitesse, puisque la vitesse relative s'est écartée assez sensiblement de zéro. Cela se comprend, puisqu'on voit aussi que le premier F-16 effectuait des virages et tendait à s'échapper latéralement. Les deux avions continuaient cependant à voler au même niveau. Il est particulièrement important de noter qu'il doit y avoir eu plus de mesures que les points noirs pourraient le faire croire.

La figure 13 se rapporte au 9^e verrouillage, qui fut le plus long. Sur la vidéo, on voit que pendant cette séquence, le second F-16 effectua plusieurs virages alternés vers la gauche et vers la droite. Nous voyons que la vitesse d'approche était positive. Le second F-16 essaya donc de rattraper le premier, mais les virages impliquèrent des changements de la vitesse relative. Même quand il s'agit de la détection d'un avion, la vitesse relative est affichée sous

la forme de petites séquences linéaires, à cause de l'intervention du filtre de Kalman. Au Centre de guerre électronique, il a été vérifié, par une analyse très détaillée de la vidéo, que le radar du second F-16 se trouvait alors effectivement en mode « *search* », mais cela n'a que peu d'influence sur le comportement observé. Ce n'est donc pas cela qui explique les échos anormaux, détectés par les deux F-16.

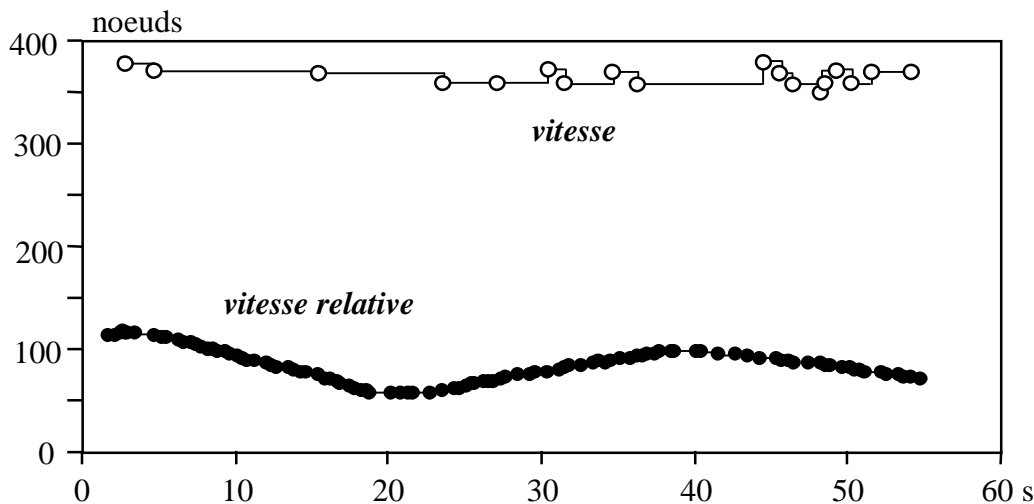


Figure 13 : L'enregistrement numéro 9 concerne également le premier F-16.

Caractéristiques générales des échos anormaux

Nous voudrions savoir aussi quelles sont les propriétés de *l'ensemble* des échos anormaux, détectés par les F-16 au cours de la nuit du 30/31 mars 1990. Pour la clarté, nous ne reprenons que quelques échos sur la figure 14, mais ils sont représentatifs des différents verrouillages, indiqués par des numéros. Ils correspondent certainement à *des mesures réelles*, puisque plusieurs paramètres furent modifiés en même temps. Nous caractérisons les sources de ces échos au moyen des valeurs de la vitesse relative et de l'altitude. Pour des nuages invisibles, la vitesse relative devrait normalement être proche de 400 noeuds puisque c'est la vitesse moyenne des F-16 par rapport au sol. En outre, leur altitude devrait être pratiquement celle du niveau de vol des F-16, soit 10 mille pieds, d'après les indications du radar militaire au sol.

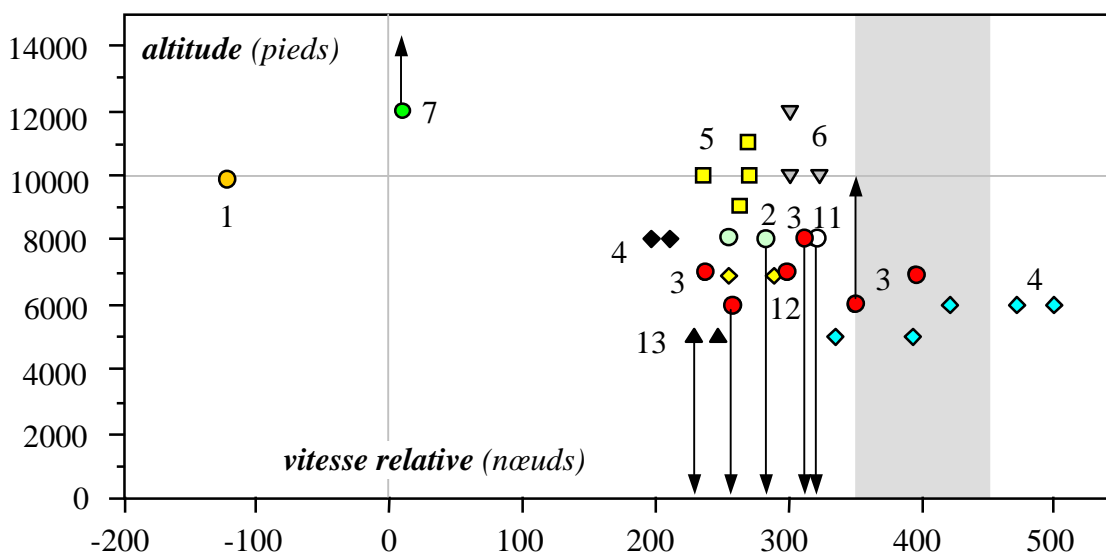


Figure 14 : Répartition de points de mesure pour les échos anormaux.

Est-ce que l'explication que nous proposons rend compte de ces particularités étonnantes ? Occupons-nous d'abord des valeurs de la vitesse relative, mesurées par effet Doppler. L'écart par rapport à 400 nœuds démontre clairement que la mesure a été faussée. L'écho 3 qui se situe dans la « bande interdite » est celui qui initialisa la séquence de la figure 11. Nous en avons déjà fourni une explication plausible. La distribution des vitesses relatives n'est pas symétrique par rapport à 400 nœuds. En fait, les valeurs mesurées sont le plus souvent comprises entre 200 et 350 nœuds. Pourquoi en est-il ainsi ? Reportons-nous à la figure 10, en nous souvenant du fait que les valeurs des amplitudes r_s peuvent être négatives ou positives, suivant que la densité des molécules d'eau augmente ou diminue. Nous pouvons donc sommer d'une part les petits vecteurs pour lesquels r_s est positif et d'autre part, les petits vecteurs pour lesquels r_s est négatif. Statistiquement, ces deux vecteurs résultants auront tendance à se compenser mutuellement. Normalement, les nuages invisibles restent donc indétectables par les radars, mais le grand nombre d'échantillonnages permet de trouver des exceptions, où les deux vecteurs sont suffisamment différents pour que la résultante soit retenue.

La figure 15a montre un exemple de deux vecteurs de ce genre. Chacun d'eux tourne un peu pendant un intervalle de temps Δt , comme l'indique la figure 15a. La résultante, obtenue en juxtaposant tous les vecteurs concernés, est représentée en rouge sur la figure 15b. Ce vecteur tourne donc également et c'est uniquement cette rotation-là qui détermine la valeur de la vitesse relative affichée. Elle tend à être inférieure la vitesse moyenne du nuage invisible.

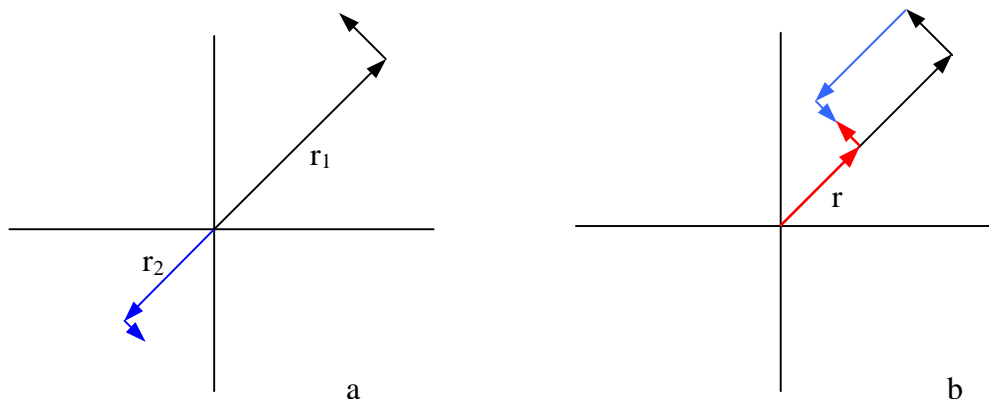


Figure 15 : Détermination de la vitesse relative effective, en décomposant les sommations.

Les écarts par rapport à 400 nœuds peuvent même être assez grands. Pour l'écho 1, la vitesse relative est négative, mais ce verrouillage fut rapidement arrêté. C'est logique, puisque même avec l'aide du filtre de Kalman, il devait être difficile de trouver un autre écho dans la même partie du plan d-v. La répartition des vitesses relatives (figure 14) fournit donc *un argument supplémentaire* en faveur de l'explication proposée.

Venons en maintenant au problème qui résulte du fait que nous pensons que les échos anormaux, enregistrés par les F-16, provenaient de « nuages invisibles », que les deux radars militaires au sol situaient à une altitude proche de 10000 pieds. La figure 14 montre pourtant que pour le radar du second F-16, elle est en général *inférieure* à ce niveau. Les flèches verticales indiquent *un déplacement ultérieur vers le haut ou vers le bas*. Le verrouillage 7 a duré 9,3 s, mais la source des échos est montée de 12000 à 30000 pieds en 9 secondes (I.375). Les sources des échos 3, 4, 5 et 13 sont montées de manière passagère, sans dépasser le niveau de vol des F-16. La figure 11 en fournit un exemple, mais la source de l'écho 3 descendit ensuite jusqu'au sol. Il en est de même pour les sources 2, 11 et 13. Ces descentes étaient très rapides et presque verticales (I.368, 370 et 378). Comme je l'ai déjà expliqué pour

le verrouillage 3, on peut l'attribuer aux *vestiges de la colonne de convection initiale et au filtre de Kalman*. L'énorme montée de la source pour le verrouillage 7 indique, par contre, qu'un peu d'air humide a pu monter bien au-delà du niveau où la majeure partie du nuage invisible s'est stabilisée.

Les données qui furent enregistrées sont donc en accord avec l'explication proposé : *La mesure de la vitesse Doppler est faussée pour des nuages invisibles*. C'est au fond la qualité du radar des F-16 qui permit de s'en rendre compte, bien que des circonstances assez extraordinaires aient également été nécessaires. Je suppose que le résultat final n'est pas sans intérêt pour les militaires, dont l'ouverture d'esprit fut ainsi récompensée. Même les concepteurs de radars Doppler pourraient en profiter, puisqu'il est possible d'éviter cet inconvénient quand on sait qu'il existe et quand on connaît ses causes.

L'étude menée au Centre de guerre électronique

Elle fut effectuée par le candidat officier de réserve Gilmard, sous la direction du major Salmon, maintenant colonel (I.367). Les données que M. Gilmard a soigneusement extraites de l'enregistrement m'ont permis, en 1991, de reconstruire les trajectoires de la source des échos anormaux par rapport au second F-16 (I.368-378). Nous voulions aussi, de commun accord, reconstruire les trajectoires *par rapport au sol*. Monsieur Gilmard, qui venait d'être brillamment promu ingénieur à l'UCL, l'a fait par lissage des données contenues dans la vidéo. La figure 10.5 du second rapport [5] en donne un exemple. La vidéo fournissait en effet la position instantanée du F-16 par rapport à la base de Beauvechain, ainsi que l'azimut et la distance du réflecteur par rapport au F-16. Cela permit de déterminer la position géographique de « l'objet » (encore non identifié à cette époque) pour différents verrouillages. Ces résultats sont situés sur la figure 16 dans les *plages vertes, anguleuses*. J'avais inclus cette figure dans le dossier photo du second rapport [5], mais pas dans mon texte [6] de 1998. Il est cependant utile de la reproduire et d'en discuter la signification. La grandeur et le contour de ces pages résultent du fait que certaines données furent inscrites avec une précision limitée, mais suffisante pour les pilotes. La dispersion de ces plages est plus étonnante.

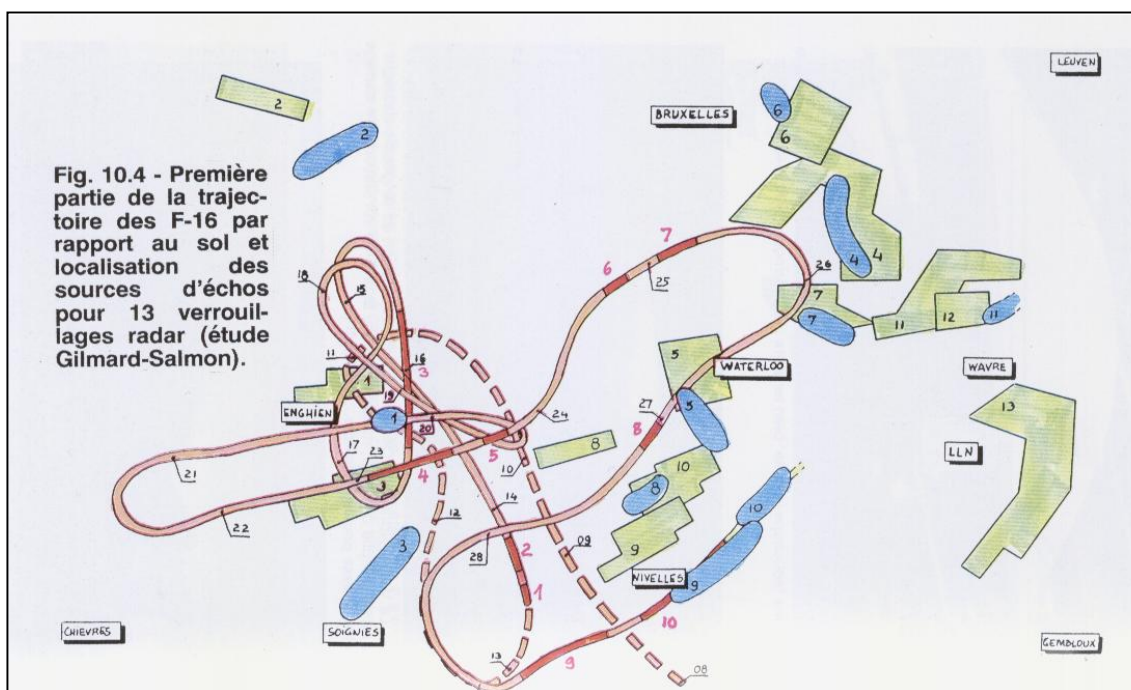


Figure 16 : Un des résultats de l'étude *Gilmard-Salmon*, effectuée au Centre de guerre électronique.

Puisque la position par rapport à la base de Beauvechain dépendait de *la plate-forme d'inertie*, nous avons pensé à une défaillance éventuelle de celle-ci. Les services techniques de la Force aérienne belge avaient vérifié qu'elle fonctionnait correctement, mais un contrôle supplémentaire ne ferait pas de tort. J'ai donc fourni à M. Gilmard la disquette que j'avais reçue du radar de Semmerzake, permettant de suivre *la trajectoire du premier F-16*, dont le transpondeur était allumé. Nous fournirons plus loin les données brutes, parce que M. Gilmard les a un peu affinées, pour « reconstruire » la trajectoire la plus probable du premier F-16, indiquée en rose sur la figure 16. Il y a ajouté des repères (en noir) pour l'heure après minuit et des repères (en rouge) pour marquer *les endroits où le second F-16 se trouvait probablement* au moment des verrouillages. Ces endroits ont été déterminés à partir des virages effectués par celui-ci, en tenant compte de l'inclinaison de ses ailes et en *supposant* qu'il suivait toujours le premier F-16 d'assez près. Utilisant ensuite l'azimut et la distance du réflecteur par rapport au second F-16, on peut le situer dans *les plages bleues, arrondies*.

Ce qui importe, c'est que les décalages entre les zones bleues et vertes apparaissent aussi quand le second F-16 observe le premier F-16 (verrouillages 8, 9 et 10). Ces écarts ne dépendent donc pas de la source, mais du fait que la position réelle du second F-16 par rapport au premier reste inconnue. Quand M. Gilmard termina son étude des enregistrements des F-16, à la fin de son service militaire, les réflecteurs étaient encore toujours *non identifiés*. Il a cependant pu tirer trois conclusions importantes.

1. Aucune erreur grossière n'a été commise par la plate-forme d'inertie.
2. Les positions des cibles ne semblent pas former une structure régulière.
3. Les interceptions 8, 9 et 10 sont relatives au premier F-16.

La seconde conclusion est actuellement la plus importante, puisque depuis lors, nous avons attribué les échos anormaux à des « nuages invisibles. » Il apparaît, en effet, qu'*il n'y avait pas une seule masse d'air humide, bien localisée*, comme les radars au sol pouvaient le faire croire. À première vue, cela semblait s'opposer à l'interprétation des mystérieux enregistrements des F-16 en terme de nuages invisibles, mais cela s'explique. Les radars militaires au sol ne travaillent plus de manière analogique (raw data), mais de manière numérique. Cela convient parfaitement pour des avions et clarifie l'image radar pour les contrôleurs aériens, mais implique que les ondes partielles, renvoyées simultanément à différents endroits par une masse d'air humide, sont représentées par *un seul point*.

Cela donne l'impression qu'il y avait qu'une seule source, bien localisée, mais ce n'est que le résultat d'un calcul, valable à un moment donné. Ceci explique aussi qu'à petite échelle, il y avait des écarts latéraux des échos individuels par rapport à la trajectoire moyenne (figure 2) et des fluctuations assez importantes de l'altitude mesurée (II.397). Il est donc établi maintenant qu'il y avait *un groupe de nuages invisibles*, ce qui augmente d'ailleurs, pour les F-16, la probabilité d'interférences entre des ondes qui furent renvoyées à différents endroits. Nous avons dû combiner une série d'indices indirects, mais cela a pu se faire de manière cohérente. Ce genre de procédure est utilisé de plus en plus souvent en sciences, parce que qu'on y aborde aussi bien dans « l'infiniment petit » que dans « l'infiniment grand » des éléments de la réalité physique auxquels on n'a pas d'accès direct. Dans ce cas, on attache évidemment beaucoup d'importance à la convergence des arguments utilisés.

5. Le phénomène ovni

Les deux radars militaires détectent un ovni

Ceux qui sont *a priori* persuadés que le phénomène ovni n'est pas réel auront tendance à penser que si les F-16 n'ont détecté que des « nuages invisibles », cela prouve qu'il n'y avait

pas d'ovnis. Cette conclusion serait abusive, non seulement parce que « l'absence d'évidence n'est pas une évidence d'absence », mais aussi parce qu'elle est contredite par les nombreuses observations visuelles rapprochées, faites au cours de la vague belge. Elle est même invalidée par la détection radar d'une « trace non ambiguë d'un ovni » (I.373). Cela s'est justement passé au cours de la nuit du 30/31 mars 1990, pendant l'intervention des F-16. La figure 17 synthétise les données des deux radars militaires au sol à cet égard.

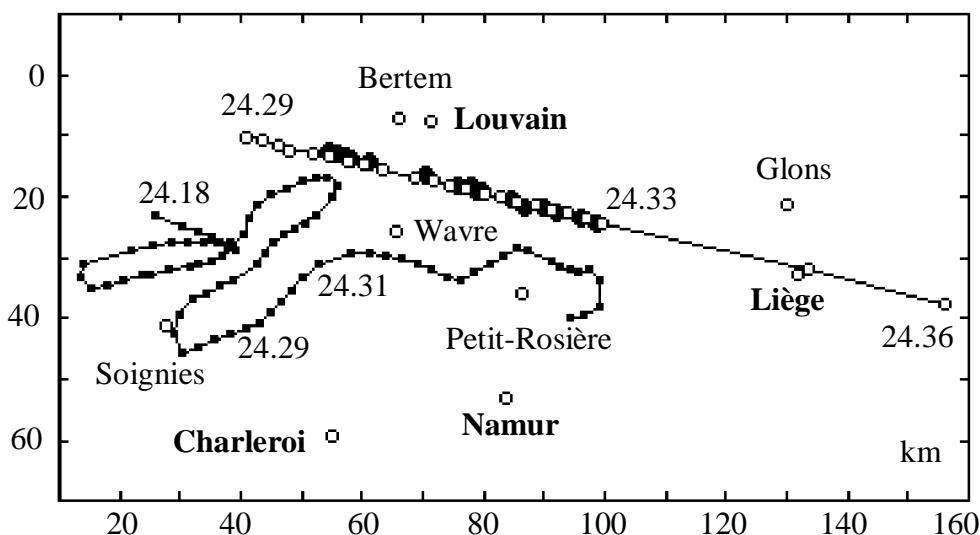


Figure 17: La ligne droite est la trace d'un ovni, détecté par deux radars militaires pendant le vol des F-16.

La trace bouclée définit une partie de la trajectoire suivie par le premier F-16, mais j'ai indiqué seulement les échos qui furent effectivement enregistrés à partir du signal IFF (*identification friend or foe*) du premier F-16. Un peu après 24h18, il effectua un virage très serré, mais la petite boucle située au-delà de la pointe n'est pas indiquée. La détection par un radar au sol dépend en effet de l'orientation de l'avion par rapport à cette antenne. On connaît cependant le temps qui s'est écoulé et c'est cela qui a permis à M. Gilmard de reconstruire la trajectoire probable (figure 16). J'ai indiqué ci-dessus quelques repères de temps, pour les comparer à ceux qui accompagnent la trace rectiligne, détectée à Semmerzake (point ouverts) et à Glons (points fermés). Le premier écho de cette série est apparu à Semmerzake, à 24 h 29. Le radar de Glons est plus ancien, mais il a détecté des échos qui s'accordent parfaitement dans l'espace et dans le temps avec ceux de Semmerzake.

Rappelons que la vitesse des F-16 par rapport au sol était toujours proche de 400 nœuds (740 km/h). *La vitesse de l'objet radar non identifiée est supérieure à celle des F-16.* Cela se voit de suite, puisque la séparation entre des points ouverts successifs est en moyenne, plus grande que celle des points successifs qui définissent la trajectoire du F-16, les intervalles de temps étant toujours les mêmes (12 secondes). La vitesse de l'objet insolite, déterminée par les deux radars militaires au fur et à mesure de l'apparition des échos, *fluctuait* entre 820 et 1200 km/h. Or cette valeur est déterminée à partir des changements de position et celles-ci fluctuaient plus fortement que pour un avion. Cela veut dire que les radars au sol ont dû capter un ensemble d'ondes et déterminer une valeur moyenne, relativement fluctuante. Même, en ne considérant que les points extrêmes sur la figure 17 et le temps écoulé (indiqué en secondes dans les enregistrements), j'ai trouvé une vitesse moyenne de 825 km/h pour Semmerzake et de 900 km/h pour Glons. *La grandeur et les fluctuations de la vitesse* indiquent, tout comme la difficulté de la détection, qu'il ne s'agit pas d'un réflecteur banal.

L'altitude est passée de 900 m à 4000 m entre 24h29 et 24h36. Puisque près de Liège, la source des échos se trouvait encore à une altitude de 2000 m, cette source semble être *partie*

vers le haut, en devenant de plus en plus difficilement détectable. Il est particulièrement étonnant que le radar de l'aéroport national n'ait pas réussi à détecter cet objet insolite, bien que l'antenne de ce radar soit située à Bertem, donc assez près de la trajectoire suivie (figure 17). Le radar civil détecte évidemment tous les avions, mais il n'y avait pas le moindre écho qui aurait pu être associé à la trace détectée. Il devait donc s'agir d'un objet volant qui ne renvoyait qu'un signal très faible, éliminé par le radar civil, parce qu'ils ne se détacha pas suffisamment du bruit de fond. Les radars militaires au sol sont plus sensibles et leur résolution est meilleure, mais même pour eux, cet objet fut difficilement détectable.

Un avion n'apparaît pas de cette manière et il ne disparaît pas simplement à cette altitude. Ce n'était évidemment pas un ULM (ultra léger motorisé), bien qu'un soi-disant sceptique ait eu l'audace de prétendre que toute la vague belge des observations d'ovnis s'explique par ce type d'appareils [22]. Ce n'était pas un nuage invisible, ni un ballon emporté par le vent, puisque la direction et la grandeur de la vitesse seraient alors différentes. Nous pouvons également exclure un effet de mirage, puisque les deux radars militaires observaient la source suivant des directions différentes. La coïncidence spatiale aurait été impossible et le mouvement aurait été très lent. En outre, les mirages sont détectés plus facilement par le radar de l'aéroport civil. Ce n'était pas non plus un avion furtif américain. Cette hypothèse n'est soutenue par aucun fait objectif et l'Ambassade américaine à Bruxelles l'a formellement démentie.

Bien que j'aie déployé beaucoup d'effort et fait preuve de pas mal de créativité pour arriver à expliquer des échos radar insolites de manière conventionnelle, je ne vois pas d'autre possibilité dans le cas présent que celle d'un ovni. Étant donné que la trace rectiligne de la figure 17 échappa à la vigilance des radaristes militaires, on ne peut pas exclure qu'à d'autres moments, il ait pu y avoir des traces radars d'ovni, sans qu'on s'en rende compte.

Le radar civil a également détecté un objet insolite

Déjà en visionnant à l'aéroport national ce qui y avait été enregistré pour la soirée du 18 mars 1990, mon attention se porta très rapidement sur un écho particulier. Il apparut brusquement à 20h30, un peu au sud de la voie aérienne Bruxelles-Liège, sans identification. Après quelques défaillances initiales, l'écho est apparu à chaque tour de l'antenne, mais il se mit à zigzaguer. La figure 17 présente (en rouge) les 34 derniers points (sur 44), avant que l'objet ne sorte de l'écran du côté du Grand-duché du Luxembourg.

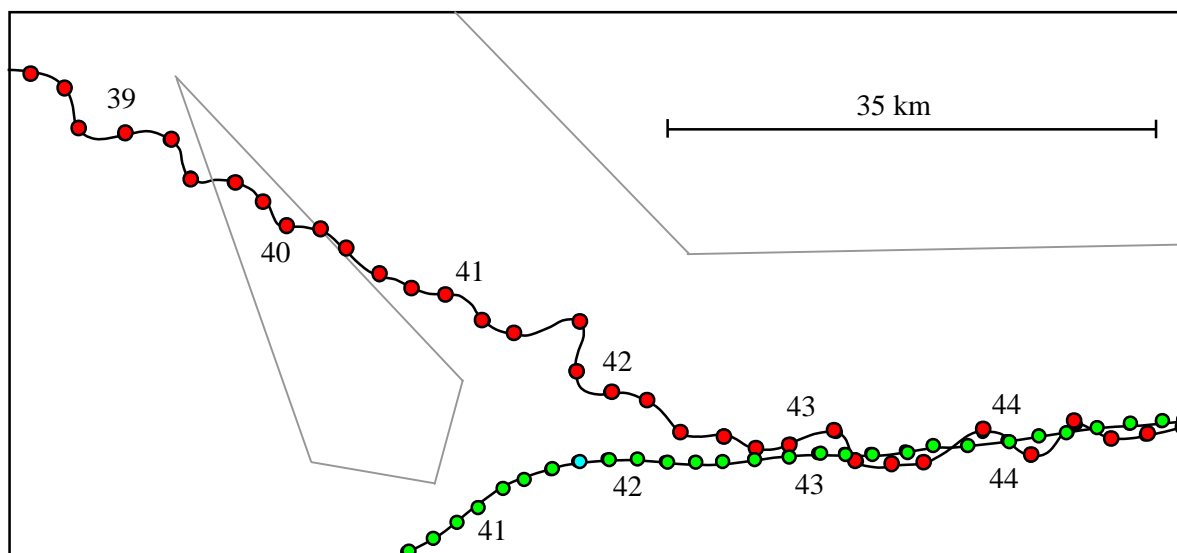


Figure 18: Un alignement inhabituel d'échos rejoint la trace d'un avion avant de disparaître de l'écran.

Les traits fins définissent des repères liés aux voies aériennes. Les chiffres fournissent l'échelle de temps, en nombre de minutes après 20 h. L'objet s'approcha d'un avion, bien identifié par transpondeur (points verts). On dirait cependant que l'objet inconnu *a suivi cet avion, en passant de manière répétée d'un côté à l'autre*. Je ne connais pas la différence d'altitude, puisque le radar civil est incapable de la déterminer sans l'aide d'un transpondeur. Les séparations entre les points successifs montrent immédiatement que l'objet non identifié se déplaçait plus rapidement que l'avion. Sa vitesse moyenne est de l'ordre de 800 km/h, tandis que l'avion volait à environ 650 km/h. J'ai observé énormément de traces d'avions, évoluant sur l'écran du radar civil, mais je n'y ai jamais vu un comportement de ce genre.

J'espérais trouver une confirmation et des informations complémentaires auprès des radars militaires au sol, mais ces données y étaient déjà effacées. Il y avait en effet tellement de données du radar civil que je voulais examiner, que je fus obligé de demander qu'on mette des bandes magnétiques en réserve pour que je puisse les visionner et les copier un peu plus tard. Dans ce cas-ci, le délai a dépassé un mois et les deux radars militaires avaient réutilisé la bande magnétique correspondante. Cette trace est cependant très remarquable. Puisqu'elle fut très bien détectée, il s'agissait peut-être d'un « disque » classique. Des témoins visuels semblent en avoir aperçu parfois pendant la vague belge et dans une autre étude, j'ai montré que *les ovnis classiques peuvent se déplacer de manière oscillante* [23].

Une propriété des ovnis de la vague belge

Après avoir visionné plus de 180 heures d'enregistrements radar de l'aéroport national et examiné en détail beaucoup de données des deux radars militaires au sol, en plus de ceux de la soirée et de toute la nuit du 30/31 mars 1990, mon analyse ne laisse subsister que *deux* traces radar non identifiées. Je peux donc affirmer que *les ovnis de la vague belge étaient très difficilement détectables par les radars*. Au lieu d'y voir un échec, je considère ce résultat comme un renseignement physique qui s'ajoute à beaucoup d'autres, dont on a besoin pour mieux connaître le phénomène ovni et pour arriver finalement à le comprendre. Il est vrai que les ovnis de la vague belge ont pratiquement toujours été observés à très basse altitude. Ils échappaient alors à la vigilance des radars au sol, mais à d'autres moments, ils devaient *traverser l'espace aérien*. Nous devons donc nous demander pourquoi les ovnis de la vague belge étaient si difficilement détectables par les radars.

La raison principale est que leur forme était différente de celle des ovnis classiques. En général, la partie inférieure était plane et même les surfaces latérales étaient telles qu'elles *pouvaient réfléchir un faisceau radar comme un miroir*, au lieu d'en diffuser une bonne partie vers l'arrière. On sait que les F-117 américains, spécialement conçus pour leur assurer une « furtivité radar », ont une surface externe qui comporte de grandes parties planes. La Navy construit actuellement des navires, dont la superstructure est cachée sur de grandes surfaces planes qui réfléchissent un faisceau radar comme un miroir. En outre, elles sont constituées de *matériaux qui absorbent* les micro-ondes, ce qui n'est évidemment pas exclu pour des ovnis.

J'ai de bonnes raisons empiriques pour penser que les ovnis de la vague belge étaient entourés d'air ionisé [8]. Cela se justifie également pour des raisons théoriques, puisque cela fait partie du modèle d'une Propulsion EM Pulsée que j'ai développé par ailleurs. On pourrait donc objecter qu'un plasma devrait être facilement détectable par les radars, mais cela n'est pas nécessairement vrai. La réflectivité dépend en effet de la répartition spatiale des électrons libres. Quand elle est assez étalée et varie de manière assez progressive, elle dévie le faisceau incident au lieu de le renvoyer. Il est bien connu que depuis la vague belge, on a souvent observé des « ovnis triangulaires », un peu partout dans le Monde. J'ai suivi ce dossier dans une certaine mesure, mais je n'ai jamais trouvé d'évidence d'une détection radar assez aisée de ces engins.

Conclusions

Cette étude de la détection radar des ovnis a été instructive pour les raisons suivantes :

- Elle a démontré qu'une excellente collaboration avec *les autorités civiles et militaires* est possible et utile, aussi bien pour eux que pour les ufologues.
- Nous avons constaté que les radars civils détectent parfois des « mirage » et nous avons expliqué pourquoi les radars militaires au sol n'en détectent pratiquement jamais.
- Ils peuvent détecter par contre des échos anormaux qui proviennent de « *nuages invisibles* », c'est-à-dire de masses d'air humide, où les molécules d'eau ne sont pas condensées. Même le rapport Condon n'a pas signalé cette possibilité.
- La présence d'échos anormaux de ce type a causé, au cours de la nuit du 30/31 mars 1990, la montée de deux F-16, mais cela n'expliquait pas les échos anormaux, détectés et enregistrés par ceux-ci. Leurs filtres électroniques auraient dû les exclure, en effet, et les comportements étaient très différents.
- Cela conduisit à une grande énigme qui ne fut résolue qu'en se rendant compte du fait que *la mesure de la vitesse par effet Doppler peut être faussée*. Cela résulte du fait que les ondes renvoyées par différentes parties d'un nuage invisible interfèrent entre elles, ce qui peut simuler une « vitesse Doppler » différente de la vitesse moyenne de cette entité. En général, elle est inférieure et cela s'explique également.
- Les ovnis de la vague belge étaient difficilement détectables par les radars, ce qui est attribuable surtout à leur forme, favorisant des réflexions spéculaires. Malgré tout, il y eut *deux traces radar non identifiées*. Celle qui est la mieux documentée apparut justement pendant l'intervention des F-16.

Le plus important, à mes yeux, est de voir qu'un problème de ce genre peut être traité sans préjugés, en appliquant une méthodologie scientifique. Quant au phénomène ovni, il est utile de rappeler *un conseil d'Einstein* : « Il faut rendre tout problème aussi simple que possible, mais pas plus simple que cela. »

Je remercie monsieur le Ministre Guy Coëme et le général Wilfried De Brouwer, les colonels Schweicher, Salmon et Billen, et l'ingénieur Gilmard d'avoir rendu cette recherche possible ou d'y avoir contribué.

Références

1. SOBEPS : *Vague d'OVNI sur la Belgique. Un dossier exceptionnel*, 1991, 502 pages et *Vague d'OVNI sur la Belgique. Une énigme non résolue*, 1994, 480 pages. Ces rapports seront désignés dans la suite par les symboles I et II, suivis du numéro des pages concernées.
2. T. Grassington : *F-16 pilot speaks on the record*, Interview, UFO Magazine. Nov/Dec.1996, 26-27.
3. Y. Meelsbergs : *L'ovni tournait autour de nos F-16, VSD hors série. OVNIS les preuves scientifiques*, juillet 1998, 24- 25.
4. R. Roussel : *OVNI Les vérités cachées de l'enquête officielle*, Albin Michel, 1994, 249.
5. A. Meessen : *La détection radar*, 1991 (I.351-396). *Observations, analyses et recherches*, 1994 (II.387-432).
6. A. Meessen : *Etude approfondie des mystérieux enregistrements radar des F-16*, Inforespace, n° 97, 9-48, décembre 1998. [<http://home.nordnet.fr/~phuleux/analyse.htm>]
7. J.P. Petit : *Phénomène de rumeur ou problème scientifique?* Le magazine des parallèles, Incroyable et scientifique, n° 9, sept/oct. 64-73.1997.
8. A. Meessen : *Analyse et implication physiques de deux photos de la vague belge*, Inforespace, 100, 5-40 (2000) et *Compléments à l'analyse de deux photos et propriétés des radiations ionisantes*, Inforespace, 101, 57-630 (2000). [<http://www.meessen.net/AMeessen/Photo1/>] et idem [/Photo2/](http://www.meessen.net/AMeessen/Photo2/)
9. R.H. Blackmer et al. : *Radar and the Observation of UFOs*, in *Scientific Study of Unidentified Flying Objects*; The complete report commissioned by the U.S. Air Force, E.U. Condon, 1969 (655-716).
10. J.P. Triplet & G. Roche : *Météorologie générale*, Ecole Nationale de la Météorologie, 198.
11. K.A. Emanuel : *Atmospheric convection*. Oxford Univ. Press, 1994.

12. R.B. Stull: *An Introduction to boundary Layer meteorology*. Kluwer Acad. Publ. 1988.
13. G.A. Briggs: *Plume rise*, U.S. Atomic Energy Commission. 1969.
14. *Factory made rain*, Scient. Amer. April 1968, 49-50.
15. Météo-France: *Les prévisions météo de A à Z*. Ass. amis du Mont-Aiguéal, 1992, 159.
16. M. Vanesse: *Des pilotes belges ravis de se réfugier sous leur Carapace*. Le Soir; 29 sept. 1998. Voir également les éditions du 27 sept. et du 1er oct.1998.
17. E. Schweicher: *Radar Begrippen*, VUB, Brussel, 1985.
18. F. Gilmard: *Le radar F-16*, annexe A du rapport Gilmard-Samon, 1991.
19. L.J. Battan: *Radar observation of the atmosphere*, Ch. 10. Clear-Air Echoes, Ch. 8. Pulsed-Doppler Rader, Univ. Chicago Press, 1973.
20. T.G. Konrad: *The convective process in the clear air as seen by radar*. 14th. Radar Meteorology Conference, nov. 1970, Tucson, 57-60.
21. J.H. Richter: *Remote radar sensing of atmospheric water vapor fluctuations in Atmospheric Water Vapor*; A. Deepak, T.D. Wilkerson and L.H. Ruhnke ed. Acad. Press. 1980, 405-418.
22. W. Walter: *UFOs Die Wahrheit*, Heel, 1996.
23. A. Meessen: *Les mouvements oscillatoires des ovnis et leur explication*, Inforespace, n° 102, 2001, 27-55.
<http://www.meessen.net/AMeessen/Oscillations.pdf>