



Malgré 600 tonnes de MTOW, l'Airbus A380 ne pose aucun problème sur les pistes du fait de ses 22 roues et de la disposition des quatre jambes principales partagées entre le fuselage et les ailes.



La Tortue : une machine extraordinaire d'apparence banale.

La Tortue : un Airbus surprenant !

Jean-Pierre Otelli

Dans la concurrence impitoyable que se livrent Airbus et Boeing, un concept inattendu est apparu ces dernières années : le *Pavement Experimental Program* ou « PEP »... Cette appellation barbare a été rapidement remplacée par un surnom beaucoup plus familier : « La Tortue ». Récit d'une aventure peu ordinaire !

Lorsqu'un constructeur décide de lancer un nouvel avion gros porteur, la conception du futur train d'atterrissage est l'un des problèmes les plus difficiles à résoudre pour les bureaux d'études. Le nombre de roues... l'espacement des essieux... le nombre de jambes ainsi que de leurs positions sous le fuselage ou sous les ailes, sont des paramètres qui auront des répercussions considérables sur les performances de l'appareil. Tout sera différent : l'aérodynamique, la quantité de carburant embarquée, la masse maximale, la masse minimale, mais c'est surtout au niveau des pistes utilisables que tout va changer. Selon les options retenues, l'avion pourra atterrir partout dans le monde ou bien il sera limité à quelques rares aéroports équipés d'une infrastructure particulièrement résistante.

Une piste, c'est plus fragile qu'on le croit !

Avant de parler de la résistance des pistes, il faut commencer par apporter une précision importante : *pendant l'atterrissage, ce n'est absolument pas au moment où les roues de l'avion prennent contact avec la piste que les dégâts se produisent.* Du fait de la vitesse à l'arrondi, la portance est encore très importante et le temps d'impact est extrêmement bref. La piste ne souffre pas... En réalité, c'est lorsque l'avion roule à très basse vitesse pour rejoindre le parking que se produit

un effet de rouleau compresseur particulièrement destructeur. On pourrait également penser que la pression qui s'exerce sur chaque centimètre carré de piste est le seul facteur qui peut la déformer, pourtant, ce n'est qu'un paramètre parmi beaucoup d'autres (voir plus loin). Par ailleurs, la répétition des roulages est un facteur aggravant. Au fil des ans, les pistes s'usent : les dalles de béton se fissurent et des ornières apparaissent sur les surfaces asphaltées. Notons que la fatigue des pistes et des taxiways est très similaire à ce qu'on peut rencontrer sur une route en mauvais état. Même si la résistance d'une nationale n'a aucun rapport avec celle d'un taxiway, le passage répété des camions de 38 tonnes finit par provoquer des ornières et des enfoncements dangereux pour les usagers.

Souples ou rigides ?

Il existe principalement deux types de pistes qui sont réparties dans le monde dans une proportion sensiblement équivalente :

- les « rigides ». Ce sont les pistes dont les revêtements sont composés de plaques de béton, celles sur lesquelles on entend parfois des « cloc-cloc » lorsque les pneus passent d'une dalle à l'autre. Elles sont plus coûteuses à construire mais elles demandent peu de frais en entretien. On les trouve plus fréquemment dans les pays de l'Est

et aux USA, un peu moins en Europe.

- Les « souples ». Ce sont les pistes recouvertes d'asphalte. Elles sont plus lisses et plus confortables car le roulage y est en général plus silencieux que sur les pistes bétonnées. Elles sont économiques à construire mais demandent un entretien plus régulier.

Le classement des pistes : le PCN

Les pistes sont classées en plusieurs catégories selon un barème international défini par l'OACI : c'est le PCN ou *Pavement Classification Number*. Ce paramètre est différent selon que la piste est asphaltée ou bétonnée mais c'est lui qui caractérise la portance. Il se présente sous la forme d'un chiffre brut qui permettra de savoir si un avion peut rouler sans écraser la piste.

Ce n'est pas au moment de l'impact qu'un avion provoque des dégâts sur la piste.



Le classement des avions : l'ACN

C'est l'*Aircraft Classification Number*. Il dépend de plusieurs paramètres :

- la géométrie du train d'atterrissage,
- le nombre de roues et leur écartement,
- le nombre d'essieux,
- la masse maximale de l'avion au décollage,
- sa masse minimale.

En fonction de ce qui vient d'être dit, on comprend que c'est l'adéquation entre la résistance de la piste (le PCN) et les caractéristiques de l'avion (l'ACN) qui permettra ou non à un avion d'atterrir sur une piste. Si un avion possède un ACN plus faible que le PCN de la piste, il atterrira sans problème. Si c'est le contraire, il y aura un risque de le voir tracer une belle ornière dans le revêtement et les gestionnaires de l'aéroport

devront faire leur compte pour savoir combien va leur coûter la réparation. Par ailleurs, c'est l'ACN qui va définir le coût de la taxe d'aéroport. Il est évident que plus le chiffre est élevé et plus la facture sera salée pour la compagnie aérienne.

Le classement des sous-sols : A-B-C-D

Rien ne sert de faire une piste solide si le sous-sol est trop mou pour la supporter. C'est la raison pour laquelle, les sous-sols des aéroports sont classés en quatre catégories :

- A : haute résistance.
- B : résistance moyenne.
- C : faible résistance.
- D : ultra-faible résistance.

Car il est évident qu'une plaque de béton n'offrira pas la même stabilité selon qu'elle est posée sur un sol marécageux ou sur du granit.

Ce sont les Américains, et eux seuls, qui ont établi les critères de résistance des sous-sols. Ils ont été définis en... 1929 par une société californienne. C'est le « CBR » ou *Californian Bearing Ratio*. Il a été calculé par des géologues et il sert aujourd'hui de référence internationale lorsqu'il s'agit de construire un aéroport dans le monde. C'est ainsi que le sous-sol de l'aérodrome de St Nazaire a été classé en catégorie « D » parce que la piste a été construite sur d'anciens marécages. Ce handicap a eu des conséquences importantes sur l'activité de la plate-forme : malgré une main-d'œuvre locale qualifiée et une usine implantée sur place, Airbus n'a pas pu retenir la ville comme site de production de l'A380. La piste n'aurait jamais supporté les mouvements des gros porteurs. Il en va de même pour le sous-sol du tristement célèbre « Notre-Dame-des-Landes » qui est également classé en catégorie « D ». Rien de plus logique... chacun sait que ce futur aéroport est le fruit d'une volonté politique qui ne s'appuie pas sur de véritables considérations techniques.

La Tortue et la rivalité Airbus/Boeing

On ne peut parler de la construction de la Tortue sans évoquer la lutte impitoyable qui se joue entre les deux géants de l'aéronautique. Les faits peuvent se résumer ainsi : lorsque les gens de chez Boeing ont appris qu'Airbus envisageait de construire un gros porteur dont la masse dépasserait celle du 747, ils ont adressé discrètement un avertissement aux gestionnaires des grands aéroports : « Vos pistes ne supporteront jamais un avion aussi lourd. Il va tout casser et vous aurez



très vite d'énormes ornières. Ça vous coûtera une fortune en réparation... ». Et bien évidemment, le message a été reçu 5/5 par les intéressés qui se sont dit que ce nouveau Jumbo serait certainement superbe mais qu'ils ne pourraient jamais l'accueillir sur leur piste !

Les Européens ne disposaient d'aucun paramètre scientifique

Et c'est justement là que se trouvait le problème... En 1997, le constructeur européen arrive au stade où il doit publier l'ACN de son futur A380 (qui s'appelle encore l'AXX). L'avion devrait peser près de 600 tonnes et il n'existe rien qui permette de calculer *scientifiquement* le chiffre fatidique qui va ouvrir ou fermer les portes de certains aéroports. À cette époque, il faut se référer à un canevas empirique publié par l'OACI. Car, aussi étonnant que cela paraisse, le calcul des ACN n'a jamais été calibré par une mesure physique réelle. Tout s'est fait à partir de chiffres sortis du chapeau d'un fonctionnaire inconnu. Or, du fait de ces estimations « pifométriques », l'ACN du futur A380 atteignait des valeurs étonnement fortes, en particulier au niveau des trains à six roues. Ainsi quand on le comparait au Boeing 747 et surtout au 777, les résultats étaient irréalistes et bien évidemment tout à fait défavorables au futur Jumbo européen. *Malheureusement, c'était la réglementation et il fallait la respecter.* Airbus ne possédait aucun élément objectif qui permette de contester les chiffres.

Vue aérienne de la piste d'expérimentation construite spécialement à Blagnac. Les marquages blancs correspondent aux différents types de pistes et de sous-sols.

fres. Circulez et allez atterrir ailleurs ! Ainsi, en 1998 lorsque le projet de l'A380 est présenté à la conférence des aéroports et des compagnies aériennes, il en résulte que l'appareil ne pourra jamais atterrir sur des aéroports aussi importants que New-York JFK, Londres, Hong Kong ou Francfort. Autant dire que le projet A380 était mort-né. La seule solution était donc de lancer une étude scientifique à partir de laquelle, il serait possible de publier des chiffres incontestables qui démentiraient ceux des Américains. Oui, mais comment ?

La conception de la Tortue : six mois pour sortir les premiers chiffres

Airbus propose alors à Françoise Castel, une ingénieure aéronautique, de concevoir un système qui permettrait de publier des chiffres fiables sur les ACN et les PCN. La jeune femme est nommée chef de projet et on lui donne six mois pour fournir des résultats qui orienteront la configuration du train d'atterrissage du futur Airbus 380. Son cahier des charges est clair : l'avion doit pouvoir se poser partout !

C'est ainsi que naît l'idée de fabriquer une Tortue ! Françoise fait alors appel à une petite entreprise toulousaine qui se met au travail afin de concevoir un « véhicule » apte à reproduire avec précision le roulage d'un gros porteur sur une piste. La société est dirigée par Alexis Albin, un chef d'entreprise atypique. Surnommé « Géo Trouvetout » par les gens d'Airbus, il est capable de fabriquer



Les moteurs hydrauliques montés sur le moyeu des roues. La présence du technicien en train de travailler sur le moteur RVI donne une idée de la taille de l'engin. Dans le cas présent, la Tortue est arrêtée sur un taxiway « rigide » bétonné.



Transformation d'un « Boeing 747 » de 400 tonnes en « A380 » de 600 tonnes. (chaque brame rouge pèse 25 tonnes).

tout et n'importe quoi et il adore les défis. Bien évidemment, la construction de cette « chose » le passionne au plus haut point et il ne met que trois mois pour concevoir un engin absolument hors norme...

La Tortue reproduit tous les avions

C'est une machine modulable qui peut recevoir un grand nombre de configurations. Elle est construite à l'échelle 1 et peut donc reproduire en grandeur réelle n'importe quel avion gros porteur, aussi bien Airbus que Boeing. Sa masse peut monter jusqu'à 659 tonnes grâce à l'utilisation de

brames métalliques dont les plus lourdes pèsent 25 tonnes. Tout est variable : la masse de la bête, la géométrie des trains étudiés, l'espacement des essieux, l'empattement, la position du train avant, etc. Tout cela permet de copier à l'identique tous les avions déjà en service ou en projet. Les trains d'atterrissage peuvent être déplacés, ajoutés ou supprimés. Cerise sur le gâteau, il ne faut qu'une journée de travail pour que la Tortue passe d'un Boeing 747 à un DC-10 ou évidemment à un futur A380. En fait, la Tortue est un énorme « Lego »... Sa fonction est de déterminer quel est l'avion qui endommage le plus les pistes. Les chiffres qu'elle donne doivent être valables « en statique », c'est-à-dire lorsque l'avion est à l'arrêt sur le parking mais aussi « en fatigue ». Dans ce dernier cas, la Tortue roule plusieurs centaines de fois sur le même trajet pendant des semaines. Le but est de savoir avec certitude si des ornières ou des fissurations seront créées sur le revêtement.

La précision des mesures

Afin de procéder à des relevés incontestables, le travail de l'engin doit être d'une rigueur parfaite. Ainsi :

- la tolérance de déviation sur la trajectoire prévue ne doit pas dépasser... 5 millimètres.
- la pression de pneus est vérifiée toutes les heures.
- la vitesse de roulage doit rester constante à 3,6 nœuds (qui est d'ailleurs sa vitesse maximum).

Dans un premier temps, la Tortue est « pilotée » par un technicien qui marche à pied derrière l'engin. Le guidage se fait grâce à un boîtier de commande relié par des câbles. Bien évidemment, on s'aperçoit très rapidement que la tâche est exténuante car la Tortue doit rouler jusqu'à 18 heures par jour, 7 jours sur 7 et les mesures doivent se poursuivre pendant plusieurs mois. On décide donc d'attacher une remorque derrière le monstre et on y met une chaise pour accueillir le cocher de ce qui ressemble à un gigantesque char de combat. Tout cela tient souvent du bricolage de génie.

Comment ça roule...

La Tortue est propulsée par un système hydrodynamique. Un moteur Renault RVI de 246 ch. alimente deux pompes qui envoient de l'huile sous pression dans des moteurs hydrauliques fixés sur chaque moyeu des roues (photo). La Tortue se dirige comme un avion grâce à l'orientation du train avant. Pour les virages serrés, il est possible d'augmenter la vitesse des roues d'un seul côté comme sur un char d'assaut.

Construction d'une piste d'essais bardée de capteurs

Pour pouvoir exploiter pleinement les capacités de la Tortue, Françoise Castel récupère une portion d'un taxiway sur l'aéroport de Blagnac. Elle crée plusieurs tronçons qui reproduisent des pis-



tes souples et rigides. Afin que l'étude soit parfaitement fiable, le sous-sol est modifié volontairement. Selon les endroits, il est dégradé ou renforcé de manière artificielle, puis il est équipé de plusieurs centaines de capteurs qui permettent d'enregistrer les déformations provoquées par la Tortue. Pour ce travail gigantesque, Françoise se fait assister par des experts du Service Technique des Bases Aériennes et du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

La Tortue vue de face en version « légère » d'un Airbus A320 (seulement 78 tonnes). Noter les bouteilles d'azote destinées à conserver une pression constante sur les pneus qui sont à l'ombre.

Les ACN sont modifiés ! les ex-bons élèves obtiennent de très mauvaises notes...

Au fil des mois, les expérimentations conduites

CARACTÉRISTIQUES DE LA TORTUE

Fiche technique

VNE : 3,6 nœuds (6,7 km/h).

Précision de la navigation : 5 millimètres.

Freinage : automatique à disques.

Equipage : un « pilote ».

Motorisation principale : un Renault RVI.

Cylindrée : 9 800 cm³.

Puissance : 256 ch.

Hydraulique : 2 pompes agissant différemment sur les trains droite et gauche.

Motorisation secondaire : 20 moteurs hydrauliques Brevini fixés sur chacune des roues.

Direction : Par braquage du train avant et traction différentielle à droite et à gauche.

Prix : 1,5 million d'euros.

FRANÇOISE CASTEL, DIRECTRICE DU PROJET « LA TORTUE »

Françoise Castel est ingénieur aéronautique chez Airbus depuis 1992. C'est elle qui a piloté entièrement le projet de la Tortue depuis son lancement. Diplômée de l'ISAE-ENSEMA de Poitiers, elle reconnaît s'être épanouie pleinement dans ce travail atypique. Comme elle le dit avec un bonheur non dissimulé : « Le Pavement Experimental Program a été une expérience professionnelle d'une richesse technique et humaine exceptionnelle. L'étude a permis de modifier la réglementation et les normes internationales, tant du point de

vue des ACN que des PCN et des méthodes de dimensionnement des chaussées aéroportuaires. Pour un ingénieur aéronautique, c'est un projet pépète. Pour une femme ingénieur aéronautique c'est un diamant ». En dehors de son métier chez Airbus, Françoise Castel est commandant de réserve chez les Parachutistes auprès de l'Ecole des Troupes Aéroportées de Pau. Elle est également la maman de Kevin (16 ans) qui n'a aujourd'hui qu'un rêve : devenir pilote dans l'Aéronavale. ■

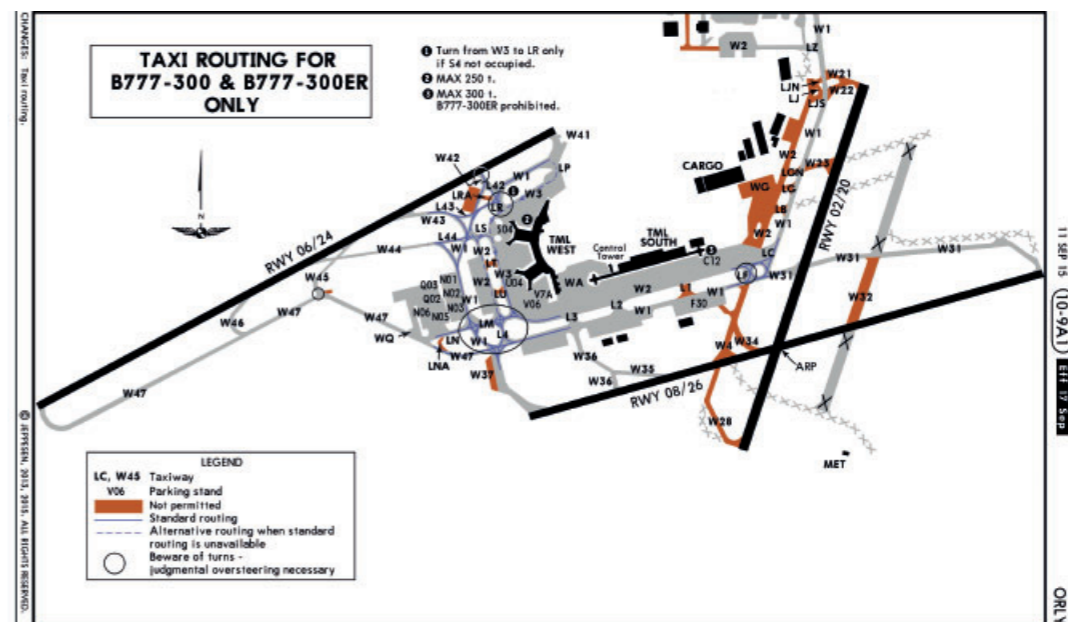
La Tortue en configuration « 300 tonnes » du Boeing 777 équipée d'un train principal à six roues. Noter les traces rectilignes laissées par ses innombrables passages sur la piste.



avec la Tortue permettent de démontrer que les chiffres de l'OACI sont complètement faux, en particulier au niveau des trains à six roues. Ils favorisaient de manière outrancière le Boeing 777 et étaient très défavorables à l'Airbus 380. Confrontée à la réalité incontournable des résultats, l'organisation internationale ne peut que s'incliner. Le 16 octobre 2007, elle accepte de modifier une réglementation appliquée arbitrairement depuis des années. Les nouveaux ACN sont publiés et cette fois, les chiffres sont fiables.

Françoise Castel après un saut, avec son compagnon Frédéric Brousse (à droite) et Denis Metzger⁴ instructeur de parachutisme sur l'aérodrome d'Heret.

Du coup, le classement des bons et des mauvais élèves est chamboulé. Nous ne rapporterons pas dans cet article la totalité des avions concernés mais seulement trois machines dont les chiffres sont tout à fait caractéristiques : l'Airbus 380, le Boeing 747 et surtout le 777... Un examen attentif du nouveau tableau montre que le gros porteur d'Airbus ne pose aucun problème et que c'est, de loin, le biracteur de Boeing qui est le plus destructeur. Depuis cette révélation, la plupart des aéroports interdisent aux 777 de rouler sur tous leurs taxiways ou de s'arrêter sur certains parkings : ainsi à Orly, tous les taxiways « Whisky » parallèles à la 02/20 leur sont fermés et ils ne peuvent pas stationner sur certaines aires du côté d'Orly Ouest (voir la fiche de roulage). Dans ces conditions, on peut se demander



Fiche Jeppesen de roulage au sol à Orly (11 sept 2015). Les zones en rouge sont interdites aux Boeing 777-300.

ce qui se passera pour les futures versions du 777-8X et 9X dont les masses maximales seront encore augmentées tout en conservant le même train d'atterrissage ?

Afin de valider les essais réalisés par la Tortue (et peut-être en espérant prouver qu'ils n'étaient pas exacts), Boeing et la FAA ont construit un centre de validation à Atlantic City : le NAPTF. Disposant de moyens financiers considérables, ils choisissent une technique de calcul totalement différente à côté de laquelle la Tortue fait figure d'énorme bricolage. Pourtant, lorsqu'ils publient leurs chiffres, c'est une véritable consécration pour Airbus car la marge d'erreur entre les Américains et les Européens est infime. Puis, Françoise Castel fait rouler un Boeing 747 prêté par Corsair



Boeing 747-400 de Garuda. Un train d'atterrissage bien conçu pour un avion qui ne présente aucun potentiel de destruction sur les pistes.

sur sa piste expérimentale et une fois de plus les chiffres de la Tortue sont validés avec une différence qui est de l'ordre de seulement 3%. ■

- (1) Dans certains cas, des dérogations pourront être accordées aux avions ayant un ACN plus fort que le PCN de la piste mais ce sera bien évidemment sous la responsabilité du gestionnaire de l'aéroport.
- (2) La taxe d'aéroport est également calculée en tenant compte de la masse de l'appareil.
- (3) National Airport Pavement Test Facility.
- (4) Denis Metzger est décédé tragiquement il y a quelques mois lors d'un saut à Condom.



Avec seulement 12 énormes roues de 1,20 m de diamètre sur un train principal et une masse maximale de 300 tonnes pour la version « 300 ER », le Boeing 777 est le plus destructeur de tous les gros porteurs.

Des résultats très surprenants : quel que soit le type de piste et de sous-sol, c'est le Boeing 777 qui provoque les dommages les plus importants dans les aéroports. Malgré leur masse plus importante, l'A380 et le 747 se révèlent beaucoup plus « légers » que le biracteur.

		ACN chaussées souples (F)				ACN chaussées rigides (R)				
		classes				classes				
		A	B	C	D	A	B	C	D	
AIRBUS										
A 380	800 AILE	562,0 t	59	64	76	104	57	67	79	91
		270,3 t	24	25	27	34	24	26	29	33
A 380	800 FUSELAGE	562,0 t	57	63	76	107	55	69	90	111
		270,3 t	22	23	26	34	25	26	29	36
B 747	400ER	414,1 t	57	63	78	100	59	69	81	92
		164,4 t	18	19	21	26	19	20	23	27
B 777	300 ER	352,4 t	64	71	89	120	66	85	108	131
		167,8 t	24	25	29	40	27	28	34	43