

Eldon Hall

ou la mémoire d'Apollo

Véritable prouesse technologique pour l'époque, l'Apollo Guidance Computer (voir pages précédentes) a permis à 12 hommes de marcher sur la Lune. Eldon C. Hall eut la responsabilité de sa réalisation. À 88 ans, invité au Bourget où il a reçu un Prix, il revient sur cet exploit.

Espace & Exploration : *Lorsque Kennedy lança la course à la Lune en quoi un ordinateur était-il nécessaire ?*

Edon Hall : La NASA voulait éviter toute interférence soviétique. Apollo aura donc l'autonomie d'un missile stratégique. D'où un automatisme composé d'une plateforme à inertie recalable sur les étoiles et un calculateur, léger, petit, rapide, de faible consommation et d'une fiabilité jamais atteinte : l'AGC, Apollo Guidance Computer.

E&E : *Donc, un savoir-faire propre au Massachusetts Institute of Technology (MIT)...*

E. H. : Charles Draper, «père de la navigation inertielle», dirigeait alors le laboratoire d'instrumentation du MIT, le MIT/IL ou Draper Lab. Dès 1956, la Navy lui passa un contrat pour le missile Polaris pour lequel je proposais un calculateur numérique. Par la suite, une équipe de la NASA supervisa une étude de sonde martienne au sein même du MIT/IL. Lorsque Kennedy lança son appel, cette équipe fut naturellement désignée responsable du guidage. Et dès le 4 août 1961, une proposition du MIT était émise et acceptée par la NASA qui, contournant toute règle, nous octroyait le premier contrat majeur d'Apollo : la conception de l'AGC ! North American remportera en novembre 1961 le Module de Commande et Grumman le Module Lunaire en novembre 1962.

E&E : *Comment a été réparti le travail ?*

E. H. : Début 1962, Raytheon remporta la fabrication de l'AGC, General Motors AC la plateforme et ses convertisseurs, Sperry le gyroscope et Kollsman l'optique. Le MIT avait la haute main sur la conception, les tests, l'intégration et le contrôle : diodes, transistors... et circuits intégrés. La NASA a contourné ses habituelles spécifications, indiquant seulement : «un ordinateur rapide pour aller sur la Lune et revenir». Pour cela, j'avais 65 personnes, et tout autant chez Raytheon.

E&E : *De quoi l'AGC est-il composé ?*

E. H. : l'AGC est numérique : traitement en parallèle et une logique à transistors de faible consommation au départ. Ils sont vite remplacés par des circuits intégrés pour leur fiabilité. En

1959, Texas Instrument les propose à 1.000 \$ pièce. La première version de l'AGC, le Block I, devait en avoir 4.200 ! On a choisi des Portes «Non - Ou», dites NOR Gates, à 3 transistors de Fairchild Semiconductors puis Philco Ford. A partir de 1964, la seconde version, le Block II, capable d'alunir utilise 2.800 composants duaux, soit 2 portes par composant, à environ 25 \$ la pièce. Les mémoires sont à tores de ferrite. La mémoire vive est de 4 Ko pour 1.024 mots codés sur 16 Bits. La mémoire morte pour les programmes est de 72 Ko pour 36.000 mots. Elles sont réalisées en fin câblage par des couturières ! Leur cycle de lecture est 100 KHz à comparer aux GHz actuels ! Deux-cent circuits d'entrée-sortie permettent l'usage d'une interface : le DSKY, Display & Keyboard, équipé de touches, d'alarmes et d'afficheurs électroluminescents, lequel fait usage d'un langage utilisateur simple, le «Noun-Verb» (voir pages précédentes).

E&E : *L'AGC a-t-il profité de Mercury et Gemini ?*



© Stéphane Sébille

En juin 2011, Eldon Hall a reçu au Bourget le Prix de l'innovation du FIT (Forum Innovation Transports).

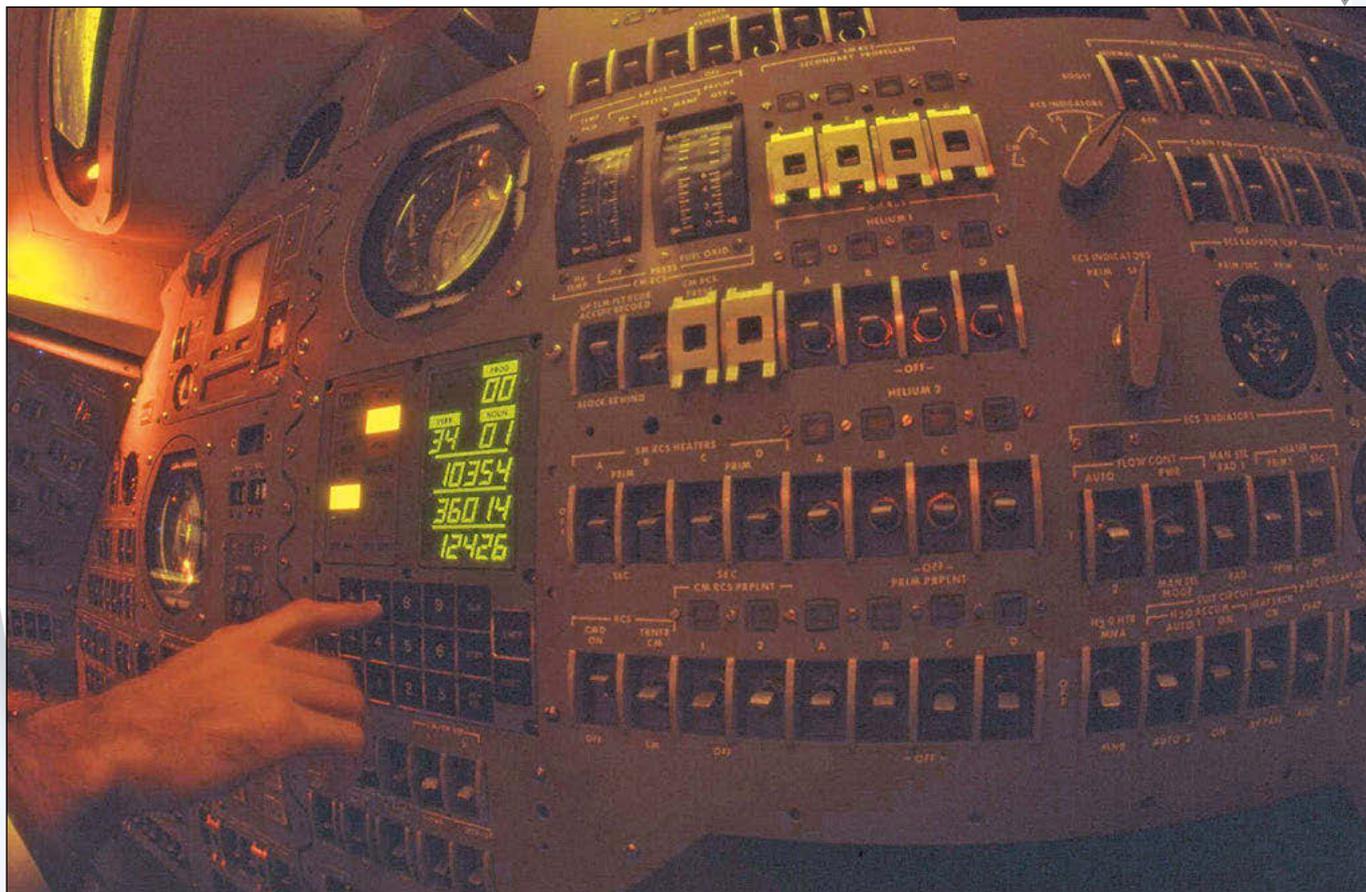


© NASA/MIT

Eldon Hall travaillait sur l'AGC et plus particulièrement sur l'interface homme/machine DSKY lors du programme Apollo.



© NASA



E. H. : Il y a eu peu d'interactions entre les programmes. Toutefois, le contrôle automatique ayant été perdu lors du dernier vol Mercury par accumulation d'humidité, on a scellé la connectique sur l'AGC. Par contre, lorsqu'à partir de 1964 l'autopilote a été imposé pour l'alunissage, les astronautes s'y opposèrent avec véhémence et mirent la pression afin de conserver leur capacité à voler manuellement. Pour les vols sans pilote et Apollo 1, on disposait de la version Block I en aluminium doré. Lors du dramatique incendie d'Apollo 1, seules les pièces en plastique

des afficheurs et du clavier ont brûlé. Le DSKY fut ensuite rendu plus résistant au feu. Apollo 7 testera le Block II dont le revêtement évoluera ultérieurement.

E&E : *Quelle fut l'importance d'Apollo 8 qui fit plusieurs fois le tour de la Lune en 1968 ?*

E. H. : Apollo 8 a testé l'AGC du Module de Commande. Si un *Bug* avait été observé, l'alunissage avant la fin de la décennie aurait été impossible. Apollo 8 fit donc la démonstration de la capacité au guidage et à la navigation autonome. Avec Apollo 9, on a testé le Module Lunaire sur orbite terrestre, et un rendez-vous avec le Module de Commande. Apollo 10 répéta une descente vers la Lune sans alunissage. Le contrôle de vol était obtenu par l'autopilote inscrit dans le logiciel

Sur cette vue du panneau de contrôle du Module de Commande, on remarque à gauche l'affichage lumineux des chiffres du DSKY.

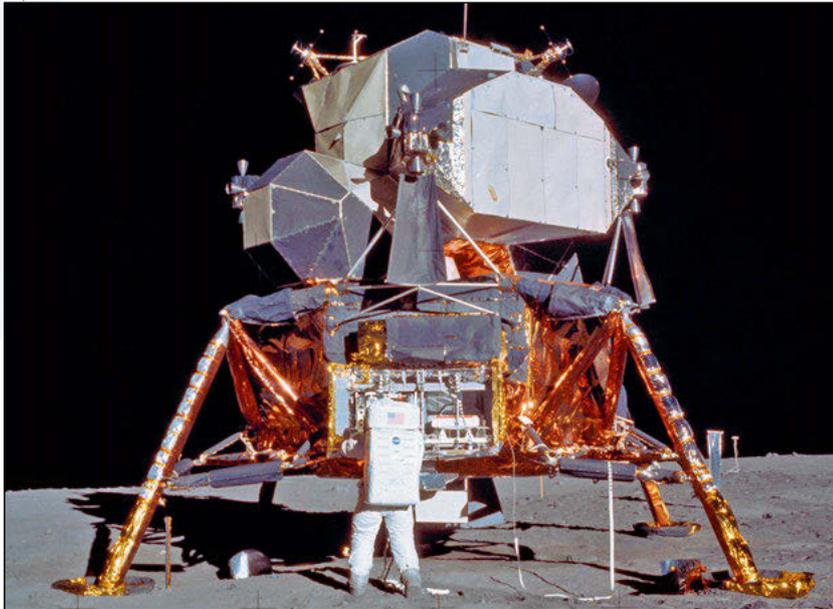


© NASA



© NASA

Le 16 juillet 1969, Eldon Hall a assisté au décollage d'Apollo 11. Dans cette interview, il relate l'événement comme « impressionnant » et « difficile à décrire ». Comme il le mentionne, parmi les invités, il y avait Lyndon Johnson (en costume bleu) qui n'était plus alors président des États-Unis.



© NASA

«L'AGC a permis d'aller sur la Lune et de ramener tous les équipages» souligne Eldon Hall. Ici, Buzz Aldrin devant le Module Lunaire Eagle d'Apollo 11.

de l'AGC, ce qu'on appellerait aujourd'hui des «commandes électriques». Les astronautes n'étaient pas très à l'aise avec cet AGC placé entre eux et les moteurs.

E&E : *Avez-vous assisté au décollage d'Apollo 11 ?*

E. H. : J'étais debout juste devant la tribune où était assis l'ancien président Johnson. Seul le personnel était à cet endroit où il y avait peu de monde. Je me souviendrai toujours de ce moment. Les gens criaient «Go, Go» à l'unisson. C'était impressionnant. Le bruit et les vibrations étaient si intenses. C'est difficile à décrire.

E&E : *Lorsque Armstrong et Aldrin sont en approche lunaire, des alarmes de l'AGC surviennent...*

E. H. : Nos spécialistes des logiciels étaient au MIT et dans les *Back Rooms* (salles arrières) à la NASA. J'étais à la maison, regardant l'alunissage à la télé. Six minutes avant le touché, j'ai entendu les alarmes de redémarrage de l'AGC et des programmes 1201 et 1202. Un problème sérieux. Sans l'AGC, la mission devait s'interrompre. Et je ne pouvais rien faire. J'en ai eu les jambes coupées ! Houston réalisa que ces alarmes ne rapportaient qu'une surcharge de l'AGC, lequel passait ses tâches principales utiles en priorité grâce au logiciel qui s'ajustait aux conditions de vol. Le contrôle de mission émit alors un «you are Go on that alarm». En fait, le radar de rendez-vous était sur «On» et sur un mauvais mode. Cette tâche envoyait 6.400 bits/seconde vers l'AGC augmentant de 15 % le temps de calcul.



© ConsultingNewsLine

L'astronaute de l'Agence Spatiale Européenne Jean-François Clervoy rencontre Eldon Hall.

E&E : *Les alarmes ont-elles été les seuls soucis de ce premier alunissage ?*

E. H. : Non. La gravitation lunaire et la position du Module Lunaire étant mal connues, le site d'alunissage sera dépassé de 5,6 km, amenant le vaisseau droit sur un cratère. Au point haut de l'approche, les astronautes auraient dû renseigner l'AGC pour changer de site, mais leur attention était détournée par les alarmes. A 130 m, Armstrong engagea l'autopilote sur «Attitude-hold mode» (maintien de l'attitude) et manœuvra pour se poser 200 m plus loin. Il restait moins de 30 secondes de carburant quand Eagle se posa ! Les ingénieurs pensaient que les modes purement manuels étaient impossibles à maîtriser, aussi quand Armstrong posa le Module Lunaire, entre ses mains et les moteurs il y avait l'AGC ! C'est pourquoi, en cas de panne de celui-ci, la descente devait être interrompue grâce à l'AGS, Abort Guidance System, un ordinateur de secours réalisé par TRW pour un retour et un rendez-vous automatiques.

E&E : *Que se passa-t-il lorsqu'Apollo 12 fut frappé par la foudre au décollage ?*

E. H. : Les éclairs ont traversé le Module de Commande, déconnectant les piles à combustible et passant l'alimentation sur les batteries de rentrée, d'où un courant transitoire. L'AGC a alors subi plusieurs redémarrages et le convertisseur analogique-numérique de la plateforme inertielle a perdu ses données. Par chance, l'AGC ne pilotait pas la fusée qui, en montée, était sous le contrôle d'un système réalisé par IBM et placé dans le troisième étage. Les mémoires de l'AGC n'ayant perdu aucune donnée, la centrale inertielle put être réalignée par un envoi de données depuis le sol. Hormis l'écran du DSKY perturbé par une possible contamination, l'AGC réalisa toutes ses tâches. L'alunissage fut très précis et réalisé à quelques pas de la sonde Surveyor, malgré la poussière soulevée.

E&E : *Comment avez-vous vécu Apollo 13 ?*

E. H. : Mon épouse Grace et moi avons regardé la retransmission TV et nous nous préparions à dormir quand le téléphone a sonné en pleine nuit. Grace décrocha. C'était le MIT. Elle me passa le combiné. Il y avait un problème et je devais me rendre au labo immédiatement. Je lui dis : «tu devrais te mettre à prier, ils n'en ont plus que pour 10 minutes». Une pile à combustible avait explosé laissant les réserves d'énergie et d'oxygène dramatiquement basses. Quand je suis arrivé au labo, Houston avait instruit de tout couper et de migrer vers le Module Lunaire. La question était de savoir si l'AGC pourrait être réactivé si on l'arrêtait. Je répondais «oui», car nos spécifications prévoyaient une mise en route par -10 °C. Si le retour restait incertain, l'AGC lui serait opérationnel pour la rentrée : «il a été conçu pour cela» !

E&E : *Dans le film Apollo 13 de Ron Howard, une scène montre le transfert impératif des données de l'AGC de la capsule à celui du Module Lunaire...*

E. H. : Initialiser et charger l'AGC du Module Lunaire avec le DSKY était en fait similaire à l'initialisation d'une mission d'alunissage. Mais cette action était devenue en l'occurrence particulièrement critique.

E&E : *Apollo 14 se déroula nominalement. Pourtant, il y a eu une reprogrammation en vol.*

E. H. : Le bouton *Abort* d'annulation de mission du Module Lunaire se mettait en court-circuit : une possible contamination en apesantant par des particules conductrices. Cela rendait une interruption intempestive probable pendant l'alunissage. Les ingénieurs logiciels du MIT modifièrent alors le programme en mémoire vive pour contourner la commande. Comme ceux du *Back Room* n'avaient pas confiance dans le téléchargement, ils décidèrent que le correctif serait transmis oralement et saisi à la main sur le DSKY. Tout fut terminé 10 minutes avant la descente.

E&E : *L'astronaute européen Jean-François Clervoy a exprimé au Bourget son admiration pour votre travail de pionnier dont l'ordinateur de la navette serait le digne héritier. Peut-on conclure sur cette observation ?*

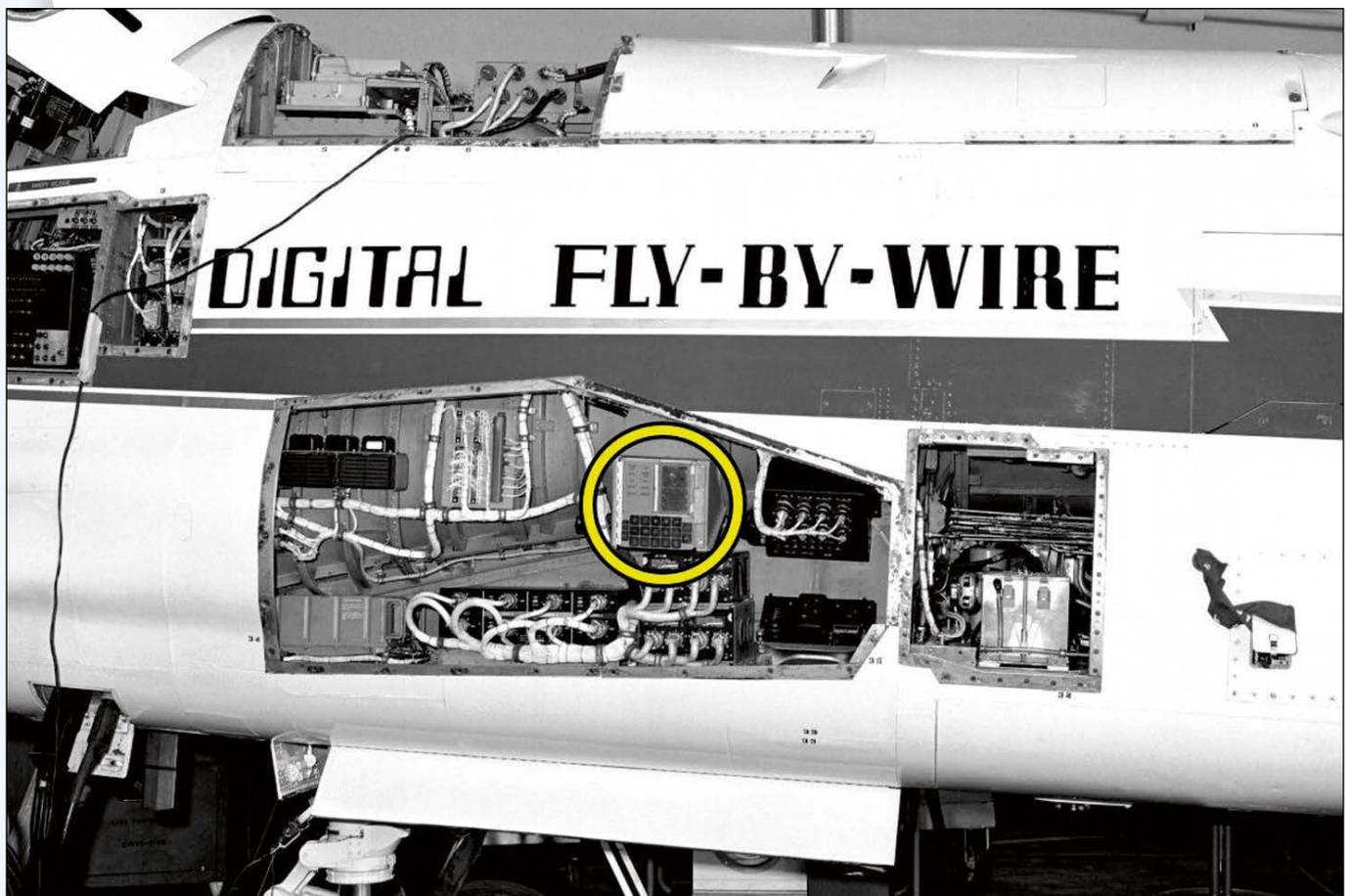
E. H. : La technologie de la navette que l'on peut appeler de «seconde génération» comme l'a indiqué cet astronaute, a beaucoup de similarités avec Apollo. Mais sur la navette ils ont multiplié les redondances : 4 ordinateurs IBM plus un 5^{ème} différent si nécessaire. Si un ordinateur connaît un dysfonctionnement, la mission continue pourtant avec 100 % de fiabilité puisque les 3 ordinateurs actifs se surveillent entre eux. Sur Apollo, nous n'avons aucune redondance ! Si une panne de l'ordinateur survenait, la mission était interrompue. Cela dit, comme pour Apollo, lorsque l'astronaute d'une navette se dit en «manuel», en fait, l'ordinateur travaille entre lui et la machine. En cela, Apollo a ouvert une voie en démontrant qu'on pouvait avoir un pilotage informatisé. Et aujourd'hui les avions de ligne sont informatisés ! Mais ce qui a changé ce n'est

pas tant la technologie que la mentalité. Pour Apollo, on ne pouvait pas faire la mission sans ordinateur, donc on en a développé un. Sur la navette, les craintes concernaient l'emploi d'un seul ordinateur, du coup ils en ont mis plusieurs. Maintenant on a confiance dans les ordinateurs donc on ne pourrait plus voler sans ! Au-delà de cet aspect pionnier, nous avons surtout fait de bons choix d'emblée avec un ordinateur numérique à circuits intégrés, lequel, à des ajustements logiciels près, s'est montré efficace et sûr jusqu'aux derniers vols, à savoir Apollo 17, Apollo-Soyouz et Skylab. L'AGC a même participé au programme F-8 d'étude du *Fly-by-Wire* (commandes de vol électriques). Mais si je devais retenir quelque chose, ce serait que l'AGC a permis d'aller sur la Lune et de ramener tous les équipages, ce qui était la demande de la NASA pour répondre à celle du Président. Aussi, même si ses performances apparaissent bien faibles aujourd'hui, nous avons réalisé là ce qui se faisait de mieux à notre époque. C'était un véritable défi et ce furent des moments très intenses. ■

Eldon Hall précise que l'AGC d'Apollo a été utilisé sur un avion de chasse F-8 Crusader afin de faire des recherches sur les commandes de vol électriques. On note ici la présence du DSKY de l'AGC au sein d'un F-8.



© NASAUS Defense Imagery



© NASAUS Defense Imagery

Propos recueillis par Bertrand Villeret, ConsultingNewsLine