

Le circuit d'alimentation électrique des services du B737 classique et du B737 NG

Résumé

Chaque leçon se concentre sur la gestion des systèmes électriques de bord. Nous comparons l'architecture du 737 CL avec celle, différente, du 737 NG. Nous explorons l'alimentation en courant discontinu et en courant continu en mettant en évidence les connecteurs alimentés ou non à l'aide des services qu'ils desservent. Les coupes-circuits (circuit-breakers) ne sont pas abordés. Nous illustrons le propos à l'aide d'un modèle simulé de 737 CL et d'un modèle de 737 NG.

Auteur

G. FERNANDEZ







Sommaire

La distribution électrique du Boeing 737 ... page 4

Les trois règles d'or de l'électricité à bord du 737 : ... page 5

Leçon 1 : les BUS "de bas niveau" ... page 6

Première étape, délimiter la capacité du BAT-BUS (DC)

Deuxième étape, étudier les capacités des STANDBY-BUS (AC, DC)

Troisième étape, délimiter la capacité du HOT BAT BUS (DC)

Leçon 2 : l'alimentation du circuit DC depuis le circuit AC ... page 19

Première étape : vue générale de l'alimentation AC vers DC

Deuxième étape : le cas du BAT BUS DC régulé par BAT SWITCH

Troisième étape : délimiter les fonctions de chaque BUS DC 1 & 2 alimenté par les TR

Leçon 3 : le fonctionnement du relais de BUS BTB (AC) et impact en aval sur le circuit DC ... page 33

Leçon 4 : visualiser le fonctionnement du DC BUS TIE en aval des TR ... page 35

Version du document

3 (31 mai 2017). Ajouts des commentaires sur les simulations de PMDG et IXEG, leçons numéro 2 et 3 retravaillées, correction des imprécisions dans l'explication de l'architecture électrique.

Date de première publication : le 29/12/2014

3/39



Sources

BRADY Chris, The Boeing 737 technical guide version 67. Tech Pilot Services Ltd: Frodsham, 2014

Boeing Co., 737-300/-400/-500 Operations Manual. Boeing: Seattle, 2002

Boeing Co., 737-85F/-8BK Flight Crew Operation Manual. Boeing : Seattle, 2008

COJIN Ferdi, DE JONG Bert, B737Theory Manual: Boeing 737NG Systems. [En ligne] 2015.

Licence ouverte version 2

Le « Réutilisateur » est libre de réutiliser l' « Information » :

- · de la reproduire, la copier,
- · de l'adapter, la modifier, l'extraire et la transformer, pour créer des
- « Informations dérivées », des produits ou des services,
- de la communiquer, la diffuser, la redistribuer, la publier et la transmettre.
- de l'exploiter à titre commercial, par exemple en la combinant avec d'autres informations, ou en l'incluant dans son propre produit ou application.

Sous réserve de :

- mentionner la paternité de l' « Information » : sa source (au moins le nom du « Concédant ») et la date de dernière mise à jour de l' « Information » réutilisée.



Le texte de la licence ouverte version 2 peut être trouvé en ligne.

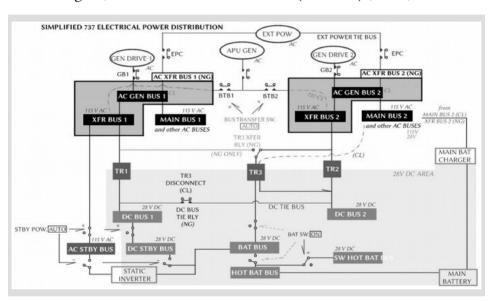
Etalab, Licence ouverte [en ligne]. Gouvernement de la République française : Paris, avril 2017. Disponible sur le Web : https://www.etalab.gouv.fr/licence-ouverte-open- licence>



Suivez les leçons à l'aide du schéma suivant. Il convient à la fois pour le 737 classique et le 737 de nouvelle génération. La logique que nous allons apprendre est la même. Nous allons le mettre en lumière pas à pas.

La distribution électrique du Boeing 737

Dans la figure, XFR veut dire TRANSFER (transfert); BAT, BATTERY



(batterie) ; SW, SWITCH (interrupteur à bascule) ; POW, POWER (puissance) ; GEN, GENERATOR (générateur électrique) ; CL désigne une configuration propre au 737 classique et associée à des lignes courbes en pointillés ; NG désigne une option propre au 737 NG.

TR : transformateur électrique convertissant du courant AC en courant DC.

BUS : en anglais le nom complet est bus-bar, c'est un $\underline{\text{conducteur}}$ qui distribue la puissance électrique aux services reliés ou à d'autres conducteurs plus petits.

5/39





Les trois règles d'or de l'électricité à bord du 737 :

- 1) la puissance AC n'est pas parallélisée;
- 2) La source de puissance AC en train d'être connecté à un bus prend la priorité et déconnecte automatiquement la source de tension actuelle ;
- 3) Un source de puissance AC n'entre pas automatiquement dans le système et doit être connectée avec un commutateur.

[Sur le 737 NG, il existe un écart à la troisième règle.]

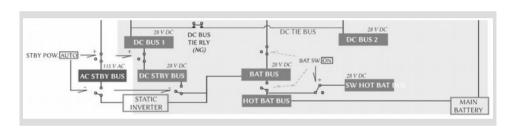
Les générateurs des turbofans seront connectés automatiquement si l'avion a décollé avec le groupe auxiliaire de puissance comme source AC active mais que celui-ci tombe ou est mis en panne.



Leçon 1 : les BUS "de bas niveau"

Lorsqu'un B737 froid et sombre est garé au parking, il n'utilise qu'une toute petite partie de sa batterie pour alimenter des systèmes vitaux (les extincteurs sont toujours actionnables). Lorsqu'un équipage vient le prendre en compte, il commence par activer des circuits électriques de bas niveau, qui reposent sur la batterie et qui fournissent uniquement les services essentiels à la mise en route progressive de l'appareil.

Il existe le BATTERY BUS (28V DC), le HOT BATTERY BUS (28V DC), le AC STANDBY BUS (115 V AC).



Comment sont-ils activables et comment mettre en évidence dans le cockpits les différents équipement que ces circuits alimentent chacun séparément ?

Nous débutons la leçon avec un 737 au parking "froid et sombre".

Description de l'état de l'appareil :

Bascule DC-BAT: OFF

Bascule STANDBY POWER: AUTO.

Bascule BUS TRANSFER : AUTO.

Les moteurs sont éteints, aucun de leurs deux générateurs n'est donc engagé dans l'alimentation électrique de l'appareil. L'alimentation externe n'est pas activée (bascule GND POWER sur OFF) et l'APU est arrêté (APU OFF).



Nous plaçons le sélecteur de démarrage des moteurs sur DROIT.

7/39

ENGINE START SWITCH ... IGN R

Enfin, aucune panne n'affecte le circuit électrique de l'appareil.

Les procédures indiquées dans le document s'écartent des procédures commerciales de ligne. C'est normal, rapelez-vous que notre but est de démontrer les possibilités de chaque bus en les isolant un à un pour mieux voir les effets induits de leur activation. Cela revient à contrecarrer les multiples redondances existants dans l'avion. Celles-ci visent à garantir la sécurité énergétique du bord en utilisation normale.

Première étape, délimiter la capacité du BAT-BUS (DC)

Nous allons préparer cette étape en isolant le BAT BUS : vérifiez que STBY POWER est sur OFF en plaçant cette bascule sur OFF. Placer la bascule DC-BAT sur ON. le BAT-BUS devrait maintenant être alimenté en courant alternatif 28V (DC 28V).

> ENG START SWITCH IGN R STANDBY POWER OFF BAT SWITCH ON

L'état de l'appareil doit donc être le suivant :

Bascule DC-BAT: ON

Bascule STANDBY POWER: OFF

Bascule BUS TRANSFER: AUTO.

Un élément élément alimenté par le BAT BUS est l'indication d'oxygène situé sur le panneau supérieur (OXYGEN) que vous pouvez observer maintenant. L'indicateur de pression des freins est également alimenté par cette source, les valves de démarrage des deux moteurs, l'affichage des montre-chronomètres, la valve CROSS FEED, la lumière générale



(DOME LIGHT), l'éclairage du compas de secours, le contrôleur manuel de la pressurisation ou le voyant d'alarme (MASTER CAUTION). Autant d'éléments que vous pouvez maintenant tester. Vérifiez que ceux-ci ne peuvent être activé qu'en plaçant la bascule de batterie sur ON.



- ✔ Vérifié et fonctionne dans le 737 NG modélisé par PMDG.
- ✔ Vérifié et fonctionne dans le 737 classique modélisé par IXEG.

Deuxième étape, étudier les capacités des STANDBY-BUS (AC, DC)

Le bus Standby AC STANDBY BUS peut être alimenté de plusieurs manières, ce qui lui confère son statut de Bus de secours (standby bus). L'une d'elle est l'alimentation par la batterie. La batterie délivre du DC28V, un inverseur statique convertit ce courant en AC 115V. Lorsque comme ici vous prenez en charge un appareil froid et sombre et n'avez pour le moment qu'activé la batterie, ce bus est alimenté par celle-ci. Ne touchez pas à l'alimentation externe et à l'APU pour le moment, gardez les éteints.

Placez STANDBY POWER sur BAT, ce qui a dans cette configuration pour effet d'alimenter le bus standby AC par la batterie via l'inverseur statique¹.

STANDBY POWER SWITCH BAT

Bascule DC-BAT: ON

Bascule STANDBY POWER: BAT

Bascule BUS TRANSFER: AUTO.

¹ et le DC STANDBY BUS directement par la batterie.



Vous entendez le martèlement du "pivert" si votre indicateur de secours d'altitude est électromécanique (STDBY ALT VIBRATOR). Ce martèlement vient d'un dispositif interne à cet instrument de secours et est une bonne aide pour déterminer rapidement si l'instrument est alimenté par le courant (il émet du bruit) ou non (il n'en émet pas). Le DC STANDBY BUS alimente en effet l'instrument électromécanique de secours



- ✔ Vérifié et fonctionne dans le 737 NG modélisé par PMDG.
- ✔ Vérifié et fonctionne dans le 737 classique modélisé par IXEG.

Certains appareils sont équipés de l'ISFD (Integrated Standby Flight Display) à la place de l'instrument électromécanique. L'ISFD n'émet pas ce bruit. Au contraire du marteau-piqueur, l'ISFD ne peut pas être éteint depuis le cockpit même en tirant le coupe-circuit dédié du panneau P18. L'ISFD s'alimente depuis sa propre batterie (qui donne 150 minutes de puissance) par un bus parallèle au BAT BUS.

Plus particulièrement en ce qui concerne le AC STANDBY BUS, vous pouvez maintenant vérifier que le FMC 1 (seulement) et le MCDU 1 (et MCDU 2 sur certains 737) sont allumés, ainsi que le DME 1, NAV1, IRS gauche, les indicateurs de remplissage des réservoirs de carburant. Ce sont des éléments alimentés par ce bus.





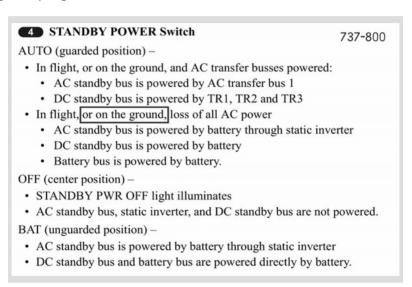
Vérifié dans les deux 737 (notamment le test de réception de NAV 1 uniquement fonctionne), avec, peut-être, de petites différences dans les services alimentés par le conducteur de courant AC de sauvegarde (AC STAND BY BUS).

[Boeing 737 NG]

Vérifiez maintenant qu'utiliser STBY POWER sur BAT ou bien sur AUTO est équivalent dans l'état actuel de l'appareil.

STANDBY POWER SWITCH AUTO

AC standby bus reste alimenté par la batterie au travers de l'inverseur lorsqu'il n'y a pas d'autre source de courant AC, au sol ou en vol.



On peut vérifier le voltage de AC STAND BY BUS lorsque le sélecteur vient d'être rabattu en position AUTO. Le voltage reste à 117 volts :





[Boeing 737 classique]

Sur un 737 classique, la situation est différente car lorsque le sélecteur est placé sur AUTO. La fonction AUTO est différente. AC standby bus reste alimenté par la batterie au travers de l'inverseur lorsqu'il n'y a pas d'autre source de courant AC mais uniquement en vol.



Au sol, les bus AC et DC STANDBY BUS ne sont pas secourus.

STANDBY POWER SWITCH AUTO

Le martèlement du "pivert" de l'indicateur de secours d'altitude électromécanique s'arrête.

6 STANDBY POWER Switch

737-300

AUTO (guarded position) -

- In flight, or on the ground, and AC transfer busses powered:
 - · AC standby bus is powered by AC transfer bus 1
 - · DC standby bus is powered by DC bus 1.
- · In flight, loss of all AC power
 - AC standby bus is powered by the battery bus through the static inverter
 - · DC standby bus is powered by the battery bus
 - a fully charged battery will provide a minimum of 30 minutes of standby power.
- On the ground, loss of all AC power No automatic transfer of power AC and DC standby busses are not powered.

OFF (center position) -

- · STANDBY PWR OFF light illuminates
- · AC standby bus, static inverter, and DC standby bus are not powered.

BAT (unguarded position) -

- · AC standby bus is powered by the battery bus through the static inverter
- · DC standby bus is powered by the battery bus
- The battery bus is powered by the hot battery bus, regardless of the battery switch position.
- Deux éléments importants alimentés par l'AC STANDBY BUS sont le démarreur électrique 1 droit et le démarreur électrique 2 droit. Nous allons le démontrer.

Vous pouvez suivre sur le panneau AC/DC le voltage et l'intensité du courant en plaçant le sélecteur AC sur INV. Quand à la batterie, un bon moyen de suivre son niveau est d'utiliser le sélecteur DC BAT de ce panneau, car le point de mesure quand la sélecteur rotatif est basculé sur BAT est le HOT BATTERY BUS.





Ce qui suit est une procédure non-standard de mise en route. Avec ENGINE START sur IGN R, nous allons lancer les réacteurs.

ENG START SWITCH IGN R

Pour cela il nous faut une source d'air. Branchez une source d'air pressurisé extérieure.





Placez le contacteur de démarrage du numéro 2 sur GROUND.

RIGHT BLEED AIR SOURCE EXTERNAL AIR AVAIL.

ISOLATION VALVE CLOSE

ENG #2 STARTER GRD

Note : ENG 2 START VALVE est alimentée par le 28 DC BAT BUS.

A 20% de N2, ouvrez la source de carburant.

FUEL CUTOFF #2 at 20% N2, FLIGHT



[Boeing 737 classique]

B737-300 only: STANDBY POWER SWITCH BAT

Et voilà, nous avons lancé le réacteur avec pour seule source électrique l'alimentation AC 115V du STDBY BUS converti depuis le courant 18V de la batterie.



- ✔ Vérifié et fonctionne dans le 737 NG modélisé par PMDG.
- ✔ Vérifié et fonctionne dans le 737 classique modélisé par IXEG.

Placez maintenant le sélecteur de démarrage des moteurs sur GAUCHE (ENGINE START SWITCH sur IGN L).

ENG START SWITCH IGN L

ENG #1 STARTER GRD

A ce stade, l'air ne peut parvenir au moteur 1, car l'air extérieur ne diffuse que dans la partie droite du circuit pneumatique de l'appareil.

LEFT BLEED AIR SOURCE AVAIL. - APU BLEED ON

Maintenant que N2 a atteint environ 20%, tentez d'allumer le second réacteur (ie le réacteur n°1) avec le démarreur gauche (IGN L) et avec la même méthode de la batterie comme unique source de démarrage.

FUEL CUTOFF #1 at 20% N2, FLIGHT

Cela ne devrait pas fonctionner, en effet, LEFT IGNITER 1 (le démarreur électrique du n°1) est alimenté par un bus dont nous n'avons pas parlé pour le moment et qui n'est pas alimenté jusque là.

Pour préparer l'étape suivante, replacez maintenant le sélecteur de démarrage des moteurs sur DROITE.

15/39



ENG START SWITCH IGN R

Le numéro 1 va démarrer!

- ✔ Vérifié et fonctionne dans le 737-300 modélisé par IXEG.
- ✔ Vérifié dans le 737 NG modélisé par PMDG. Cependant, il nous a semblé observer moins de robustesse dans la modélisation de l'isolation du circuit pneumatique lors de la manipulation des interrupteurs.

Note: sur les Boeing 737, ENG 1 START VALVE et ENG 2 START VALVE sont alimentées par le 28 DC BAT BUS. ENGINE 1 RIGHT IGNITER et ENGINE 2 RIGHT IGNITER sont alimentées par le 115V AC STANDBY BUS. Enfin, lorsque seuls BAT BUS et STANDBY BUS sont en service, les deux côtés sont isolés du point de vue du flux d'air pressurisé. Ainsi le côté droit ne peut être alimenté que par l'air extérieur, et le côté gauche par l'air de l'APU. En effet, la valve d'isolation pneumatique (ISOLATION VALVE) est alimentée par 115V AC XFER BUS 1.

Pour vérifier ce tout dernier point, coupez tous les moteurs. Assurez vous d'avoir une source d'air extérieure seulement (côté droit).

Mettez en panne TRANSFER BUS 1 et placez le sélecteur de valve d'isolation sur OPEN (comme le circuit est en panne, la valve devrait rester fermée).

FAIL Transfer bus 1 and ISOLATION VALVE ... OPEN

Lancez ensuite le moteur numéro 2 et connectez son générateur au circuit.

Vérifiez enfin que les démarreurs de droite sont sélectionnés.

ENGINE START 1... GRD

La valve de démarrage (ENG 1 START VALVE) s'ouvre mais cela ne va pas plus loin. N2 n'augmente pas. En effet, à gauche nous vérifions qu'il n'y a pas d'air pressurisé.

REPAIR Transfer Bus 1





A ce moment, N2 se met à augmenter. On vérifie donc que c'est sur ce conducteur qu'est branchée la valve d'isolation. Ici, elle s'ouvre grâce au courant du générateur #2 préalablement connecté.

Troisième étape, délimiter la capacité du HOT BAT BUS (DC)

[Boeing 737 NG]

Maintenant que nous avons un moteur qui tourne, nous allons pouvoir démontrer une des fonctions du "bus chaud de batterie" ou bus éternel de batterie en meilleur français.

Les éléments du HOT BAT BUS sont toujours sous tension tant qu'il reste de l'énergie utilisable dans la batterie. Il s'agit des extincteurs, des bus électrique des valves-maître d'alimentation en carburant (FUEL SHUTOFF VALVES BUS), du frein de parking, du signal d'évacuation, du tableau de contrôle de service au sol et du relais de transfert TR3 (TR3 XFR RELAY CONT) qui sera abordé plus tard dans la leçon. Tous ces éléments sont alimentés par un courant alternatif à 28 V (DC 28V).

Pour le moment, nous voulons conserver les moteurs allumés et couper une à une les sources d'alimentations électrique comme si vous vouliez



revenir à un état froid et sombre. Normalement, il ne reste qu'à couper l'alimentation par la batterie.

BAT SWITCH OFF

Maintenant, nous allons démontrer que FUEL SHUTOFF VALVE est toujours alimenté par le HOT BAT BUS en coupant l'alimentation du réacteur n°1.

FUEL CUTOFF #1 CUTOFF

Vous devriez entendre au son que le moteur n°1 s'arrête. Vérifiez au besoin en langage des signes avec votre équipe au sol que c'est bien le cas (vous n'avez plus d'indicateur dans le cockpit).

✔ Vérifié dans le 737 NG de PMDG.

Nous allons maintenant déclencher un feu moteur. Allez dans le menu des pannes (au besoin en reconnectant de manière temporaire la batterie du 737 NGX par PMDG 28 VDC - HOT BAT BUS Power - Battery or Battery charger BAT/STBY SW POS IND CARGO FIRE EXT 1 CARGO FIRE EXT 2 CLOCK DC HOT BAT BUS INDICATION DEU 1 HOLDUP DEU2HOLDUP DUAL BATTERY REMOTE CONTROL . ENTRY LIGHTS DIM EVAC SIGNAL FIRE EXTINGUISHER APU FIRE EXTINGUISHER L ALT FIRE EXTINGUISHER LEFT . FIRE EXTINGUISHER R ALT FIRE EXTINGUISHER RIGHT . FUEL SHUTOFF VALVES BUS FUELING CONTROL FUELING INDICATORS GND SERVICE CONTROL GND SERVICE DC HOT BATTERY PARKING BRAKE SPCU STBY TR 3 XFR RELAY CONT

pour accéder au menu des pannes du MCDU) et déclenchez un feu du réacteur droit, c'est-à-dire le numéro 2, alors que l'interrupteur de batterie est toujours sur OFF.

ENGINE #2 start an engine fire in the simulator

Nous observons que la manette d'extincteur pour le n°2 s'illumine, nous pouvons activer l'extincteur pour traiter la panne. Pour finir nous allons couper le moteur..

FIRE HANDLE #2 PULL AND ROTATE ONCE FUEL CUTOFF #2 CUTOFF

Notez qu'à moins de rebasculer l'interrupteur de batterie sur ON, au cours de l'incendie le master caution ne s'allume pas et il n'y a pas

18/39



d'alerte sonore de détection de feu, car ces éléments ne sont alimentés que par le BATTERY BUS.

- ✔ Vérifié dans le 737 NG de PMDG.
- ✓ Vérifié dans le 737 CL de IXEG mais avec STBY POWER sur AUTO ou OFF.

Commentaire de conclusion

Les bus de bas niveau que nous avons étudié dans la leçon n°1 peuvent servir en vol comme source primaire d'énergie en cas d'urgence (lorsque les générateurs de courant normalement utilisés en vol – non vus encore - ne sont plus disponibles). Cela peut survenir quand le générateur AC du moteur 1 et le générateur AC du moteur 2 et le générateur AC du moteur auxiliaire de puissance sont tous les trois en panne ou arrêtés. Un vol dans une atmosphère contaminée (traversée d'un nuage de cendre volcanique) peut par exemple étouffer les deux moteurs et la turbine de l'APU en même temps. La batterie jouera alors son rôle en alimentant le BATTERY BUS (28V DC), le DC STBY BUS (28V DC) et l'AC STBY BUS (115V AC alimenté par l'inverseur statique).

Fin de la leçon 1.



Leçon 2: l'alimentation du circuit DC depuis le circuit AC

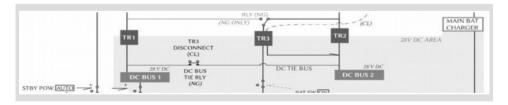
Pour la leçon n°2 nous prenons un appareil frais, réparé de toutes ces pannes. Nous allons rester sur les BUS de bas niveau que nous venons d'étudier. Cette fois-nous allons les alimenter différemment. Jusqu'à maintenant nous avons utilisé la batterie pour alimenter les BUS DC que nous avons abordé. Maintenant, nous allons ajouter à ceux-ci deux autres BUS en 28V DC (DC BUS 1 et DC BUS 2). Nous allons aussi alimenter ces bus depuis les sources d'énergie de l'avion que sont les moteurs et le générateur auxiliaire de puissance.

Comment ces BUS et donc les équipements qu'ils irriguent sont-ils alimentés quand l'avion ne puise plus uniquement sur sa batterie ?

Première étape : vue générale de l'alimentation AC vers DC

L'appareil est pourvu de deux bus principaux (115V AC) qui distribuent et transfèrent le courant à denombreux autres BUS en 115V AC, 28V AC. Chacun de ces BUS fils alimentent de nombreux sous-systèmes de bord. Nous les étudierons plus tard.

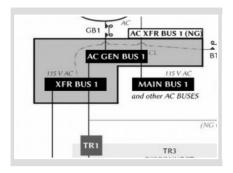
Dans cette partie de la leçon, on se concentrera sur le transfert de cette énergie AC vers la partie 28V DC du système électrique (dans le 737 classique aussi bien que dans le 737 NG). La partie 28V DC est tout ce qui reçoit de l'énergie en aval de trois transformateurs, le TR1, le TR2 et le TR3.



En vol, il est normalement prévu que le générateur du moteur numéro 1 alimente le conducteur principal $n^{\circ}1$ et que le moteur $n^{\circ}2$ alimente le conducteur principal $n^{\circ}2$.



L'organisation est différente selon qu'on considère un 737 classique et un 737 de nouvelle génération.



[737 classique]

Les générateurs des moteurs et de l'APU alimentent l'AC GEN BUS 1 et l'AC GEN BUS 2. Ces deux bus redistribuent chacun à deux sous-bus : MAIN et TRANSFER. C'est le TRANSFER qui est relié à la partie DC. Il permet de transférer l'énergie du générateur AC en fonction à l'ensemble électrique DC via le transformateur AC->DC (TR).

AC GENERATOR \rightarrow AC GEN BUS \rightarrow AC XFR BUS \rightarrow TR \rightarrow DC BUS

[737 NG]

Les générateurs alimentent directement l'AC TRANSFER BUS 1 et l'AC TRANSFER BUS 2. Ils alimentent tous les circuits AC et tous les circuits DC via les TR.

AC GENERATOR \rightarrow AC XFR BUS \rightarrow TR \rightarrow DC BUS

[737 NG, 737 classique]

On peut quelque soit le modèle considérer le schéma suivant :

AC GENERATOR \rightarrow AC XFR BUS \rightarrow TR \rightarrow DC BUS

Deuxième étape : le cas du BAT BUS DC régulé par BAT SWITCH

Placez le 737 dans un état électrique autonome, sur batterie en suivant la procédure pré-vol normale du FCOM.



FCOM PREFLIGHT AMPLIFIED PROC. ... FOLLOW AND HOLD AT APU/GPU START

Description de l'état de l'appareil :

Bascule DC-BAT: ON

Bascule STANDBY POWER: AUTO.

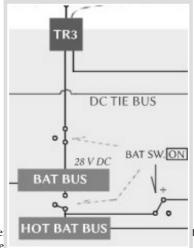
Bascule BUS TRANSFER: AUTO

Les moteurs sont éteints, aucun de leurs deux générateurs n'est donc engagé dans l'alimentation électrique de l'appareil. L'alimentation externe n'est pas activée (bascule GND POWER sur OFF) et l'APU est arrêté (APU OFF). Enfin, aucune panne n'affecte le circuit électrique de l'appareil.

Nous allons mettre en route une source d'énergie AC plutôt que la batterie de l'avion. Appelez un GPU et connectez ce générateur au circuit de l'avion.

GPU CALL AND MONITOR CONNECTION EXTERNAL POWER CONNECT TO AIRPLANE ELEC. SYS.

Le BAT BUS vu à la première leçon est désormais alimenté par un transformateur (le TR3) et non plus par la batterie².



terie alimenté par le AC GEN

² Cette dernière est mainte BUS 2 (dans un NG par le



On va observer les systèmes qui dépendent de BAT BUS (238 V DC). En basculant l'interrupteur de batterie sur OFF alors qu'une autre source d'énergie est disponible (voir FCOM ci-dessous), on ne va retirer l'énergie que de BAT BUS et de SWITCHED HOT BAT BUS.

Battery (BAT) Switch

OFF -> removes power from <u>battery bus</u> and <u>switched hot battery bus</u> when operating **with normal power sources available**

-> removes power from battery bus, switched hot battery bus, **DC** standby bus, static inverter, and **AC** standby bus when battery is only power source.

ON (guarded position) -> provides power to switched hot battery bus -> energizes relays to provide automatic switching of standby electrical system to battery power with loss of normal power [in flight for B737-300]

APU START (as witness for later experimentation) Don't connect APU.

[Boeing 737 classique]

On rappelle que sur un 737 classique, AC standby bus reste alimenté par la batterie au travers de l'inverseur lorsqu'il n'y a pas d'autre source de courant AC mais uniquement en vol. Puir avoir une situation équivalente au 737 NG au sol, placer le sélecteur de puissance de sauvegarde sur batterie.

STANDBY POWER SWITCH BAT

[Boeing 737 classique, Boeing 737 NG]

BATTERY SWITCH ... OFF



[Boeing 737 NG]

Vérifiez que APU CONTROL (SW HOT BAT BUS) est affecté : l'APU s'éteind). Vérifez que STBY ATT IND (l'IFSD) <u>est affecté</u> sur BAT BUS. Les affichages du captaine (écrans) sont sauvegardés par DC SBY BUS.

✔ Vérifié dans le 737 NG modélisé par PMDG.

De manière secondaire, on observe que les affichages du FO sur DC BUS 2 sont maintenus actifs grâce au TR 2 depuis la source AC normale.

[Boeing 737 classique]

Vérifez que STBY ALT VIBRATOR est toujours en fonction, mais pas l'horizon artificiel de secours, <u>affecté</u> sur BAT BUS. VHF COME 1 sur DC STANDBY BUS est toujours fonctionnel mais <u>pas</u> VHF2 sur DC BAT BUS. Les affichages du captaine (écrans) sont sauvegardés par DC SBY BUS³.

 \checkmark Vérifié dans le 737 CL de IXEG. On met en évidence les sircuits perdus de BAT BUS et SWITCHED BATTERY BUS.

De manière secondaire, on observe que les affichages du FO sur DC BUS 2 maintenus actifs grâce au TR 2 depuis la source AC normale sont affectés car la source normale se déconnecte⁴.

³ La sauvegarde des fonctions de DC SBY BUS est assurée en vol mais pas au sol. (particularité réelle du 737 classique). Il faut après l'atterrisage basculer STANDBY POWER SWITCH sur BAT. Vérifié dans le 737 CL de IXEG: mettre en panne les bus des générateurs AC 1 & 2 montre que des systèmes sur les connecteurs de veille sont sauvegardés. Ils sont perdus au toucher des roues.

⁴ L'effet de la bascule de l'interrupteur de batterie sur OFF est plus étendu sur la simulation de IXEG que dans la simulation NGX. On observe que les BUS DC BUS 1 et DC BUS 2 ne sont plus alimentés car les générateurs AC se déconnectent. Citons un utilisateur du forum IXEG: "it is my understanding the gen relays are battery feed, loosing the battery will lead to a complete electricity loss as it has happened on real life." En effet on peut constater que le GENERATOR BUS PWR CONTROL UNIT est alimenté par le 28V DC SW HOT BAT BUS.

En l'air on n'a en effet que l'APU qui se déconnecte si on perd la batterie. Cependant, au sol on utilise la source externe courant AC : DC BUS 1 et DC BUS 2 ne devraient pas être perdus dans la simulation de IXEG.

Dans le NGX de PMDG 1/ les sources AC restent connectées à la bascule de l'interrupteur de batterie sur OFF. 2/ l'unité de contrôle des bus (SW HOT BAT BUS) est bien déénergisée car une fois la puissance externe supprimée, il n'est plus possible de la reconnecter.

Le fait que les affichages du FO sur DC BUS 2 soient maintenus actifs grâce au TR 2 depuis la source AC (GPU) normale dans la simulation NGX de PMDG est concordante avec le manuel d'exploitation qui fait la différence pour l'interrupteur de batterie entre une situation sans alimentaiton ormale autre que al batterie et une situation avec. Par ailleurs, le fait que l'unité



[Boeing 737 classique, Boeing 737 NG]

Même si une source telle que le GPU reste branchée, les systèmes spécifiques au connecteur de batterie et au connecteur commuté de batterie (SWITCHED BATTERY BUS) tombent en panne lorsque l'interrupteur de batterie est passé sur OFF.

Ce qui montre que BAT BUS n'est pas utilisé dans cette condition OFF bien qu'une source externe AC puisse potentiellement réénergiser ce conducteur. En effet [sur le NGX de PMDG uniquement] cette dernière continue de manière visible d'alimenter DC BUS 1 (HGS panel) et DC BUS 2 (essuie-glace de droite) avec BAT SWITCH sur OFF.

Conserver BAT sur ON, c'est pouvoir récupérer BAT BUS (via HOT BAT BUS) même si il n'y a plus de courant qui vient de TR3⁵.

de contrôle des sources de puissance soit affectée est concordant avec le schéma électrique réel (BRADY, 2014).

Cette différence entre IXEG et PMDG n'empêchera pas de délimiter à la troisième étape de la leçon les fonctions de chaque BUS DC 1 & 2 alimenté par les TR.

⁵ BAT ON énergise les relais qui permettent de reconfigurer automatiquement BAT BUS en cas de perte de la puissance normale.



Rétablissez un état normal en connectant à nouveau la batterie au circuit général.

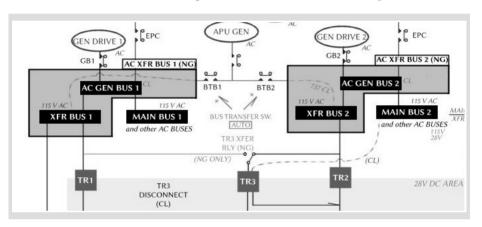
BATTERY SWITCH ... ON

[737 classique]

CONNECT GENERATORS 1 & 2 back online

[737 NG]

Dans le 737 NG de PMDG, il n'est pas n"cessaire de reconnecter les générateurs.



La fonction primaire du TR3 est de pourvoir à l'alimentation DC du bus de batterie.

[Boeing 737 CL]

Sur un 737 classique, <u>si GEN 2 OFF ou bien si MAIN BUS 2 est en panne</u>, le transformateur n°3 (TR3) n'a plus d'énergie dès qu'il n'y a plus de source côté droit (ou numéro 2) car TR3 n'est pas sauvegardé par un bus de transfert⁶. TR3 n'est alimenté que par MAIN BUS 2. (Les lignes en pointillés sur la figure correspondent à l'architecture électrique spécifique au 737 CL).

Note : on verra plus tard que sur un 737 NG, TR3 est secouru dans ce cas car son branchement sera différent.

⁶ BAT BUS sera alimenté via HOT BAS BUS dans cette configuration.



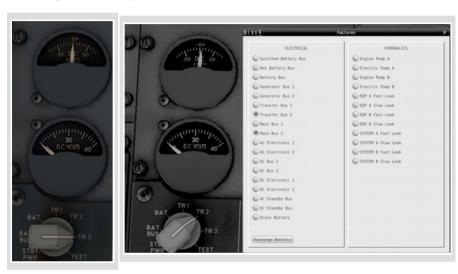
<u>Si XFER BUS 2 est en panne</u> (OFF) le transformateur n°3 (TR3) continue à recevoir son alimentation électrique normale de MAIN BUS 2.

ADD A FAILURE MAIN BUS 2

Constatez que le voltage de TR3 tombe de 28 V à 0 V.

ON TOP, ADD A FAILURE OF AC XFER BUS 2

Constatez que le voltage de TR2 tombe de 30 V à 0 V.



[Boeing 737 NG]

- <u>Si le générateur 2 est en panne</u> (GEN 2 OFF), le transformateur n°3 (TR3) continue à recevoir de l'énergie depuis GEN 1 tant que les côtés ne sont pas isolés car il est branché sur le bus de transfert 2 (première voie, action des BTB) contraitement au 737 classique ;
- ou, <u>si XFER BUS 2 est en panne</u> (OFF) le transformateur n°3 (TR3) continue à en recevoir⁷ depuis le bus de transfert 1 (deuxième voie) par l'interrupteur TR3 XFER RLY⁸. TR3 DC AMPS sera différent de 0 et BAT BUS restera alimenté par le TR3.

⁷ Tant que les côtés ne sont pas isolés manuellement.

⁸ Une sauvegarde de l'alimentation du TR3 en aval des bus de transfert et en amont des transformateurs.



Note : la redondance de l'alimentation du TR3 en cas de panne de XFER BUS2 est assurée que ce soit pour un 737 classique ou un NG. C'est le circuit de la redondance qui est différent (secours du même côté avec MAIN BUS 2 sur le CL versus secours par le côté gauche sur le NG avec TR3 XFER RELAY). En cas de panne totale du côté droit sur CL, TR3 n'est plus secouru.

Nous allons montrer une situation d'un Boeing 737 NG où TR3 est alimenté par le conducteur de transfert 1 (AC XFER BUS 1).

Description de l'état de l'appareil :

Bascule DC-BAT: ON

Bascule STANDBY POWER: AUTO.

Bascule BUS TRANSFER: AUTO

GPU: puissance externe branchée (GND PWR ... 115 volts)

APU: arreté

AC XFER BUS 2 prévu en panne, seul AC XFER BUS 1 subsistera.

ADD A FAILURE OF AC XFER BUS 2 ... and EXECUTE



Le TR1, TR2 et TR3 sont à 30 volts et 50-60 ampères avant la mise en panne. Vérifiez que les indications relatives au TR 2 chutent à zéro/zéro, mais pas celles du TR3. Il est récupéré par le conducteur de transfert 1 et donc, DC BUS 2 (l'essuie-glace de droite en témoigne) continue à être en énergie.

	TR1	TR2	TR3	TR1	TR2	TR3
AC XFER BUS 2 en panne	51 A	0 A	64 A	26 V	0 V	26 V
AC XFER BUS 2 opérationnel	51 A	22 A	13 A	26 V	26 V	26 V

[✔] TR3 XFER RELAY vérifié et modélisé dans le 737 NG de PMDG.



Vous allez aussi entendre l'alarme d'appel du personnel au sol, car en l'absence du bus de transfert 2, la batterie est totalement déconnectée du système et n'est plus en charge, voire peut être en décharge. (Source : <u>Avsim.com/forums</u>). Vous pouvez tenter d'attendre 5 minutes la fin de l'alarme en coupant les IRS (non testé ici).

Vérifez que STBY ATT IND (l'IFSD sur BAT BUS) est toujours en fonction.

✓ Vérifié dans le 737 NG de PMDG.

Pour conclure la leçon, ajoutons une panne du TR3 pour couper DC BUS 2 mais maintenir BAT BUS.

ADD A FAILURE OF TRU 3 ... and EXECUTE

Vérifez que STBY ATT IND (l'IFSD sur BAT BUS) est toujours en fonction mais que nous avons perdu DC BUS 2 comme en témoigne la perte des essuie-glace en place de droite.

✔ Vérifié dans le 737 NG de PMDG.

[Boeing 737 NG, Boeing 737 CL]

CLEAR ALL FAILURES

Réparez l'appareil désormais. C'est la fin de la leçon numéro 2.



Troisième étape : délimiter les fonctions de chaque BUS DC 1 & 2 alimenté par les TR

Inspectez le voltage et l'intensité mesurés au niveaux des transformateurs TR1, TR2 et TR3 en utilisant le panneau de mesure et le commutateur rotatif DC. Placez le commutateur rotatif AC sur APU GEN pour visualiser sur le panneau le courant délivré par le générateur mu par la turbine auxiliaire.

Nous allons isoler les BUS de transferts droite et gauche. Placez le commutateur BUS TRANSFER sur OFF.

BUS TRANSFER Switch

AUTO (guarded position) – BTBs operate automatically to maintain power to AC transfer busses from any operating generator or external power

 DC cross tie relay automatically provides normal or isolated operation as required.

 $\rm OFF-isolates~AC$ transfer bus 1 from AC transfer bus 2 if one IDG is supplying power to both AC transfer busses

• DC cross tie relay opens to isolate DC bus 1 from DC bus 2.

BUS TRANSFER SWITCH OFF also disables the TR 3 Transfer relay that allows AC Transfer bus 1 powering TR 3 in the event of an AC Transfer bus 2 failure. (Source: <u>B737Theory</u>).

Pour le moment, l'état électrique ne doit pas varier. Aucune modification n'intervient pour le moment sur le circuit électrique. Nous allons maintenant débrancher une des arrivées de courant AC. Commencer par la connexion APU GEN aux circuit de la droite de l'avion.

APU STARTED AND ON BUS BUS TRANS OFF APU GEN 2 (RIGHT) OFF



[Boeing 737 NG]

La lumière SOURCE OFF⁹ s'allume, ainsi que le témoin lumineux TRANSFER BUS OFF.

[Boeing 737 CL]

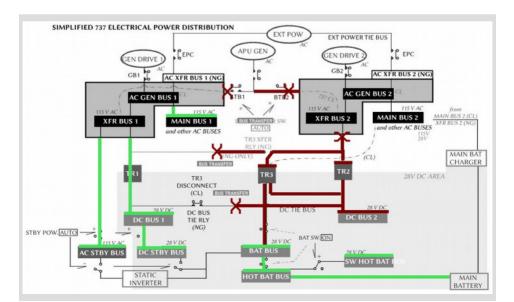
La lumière BUS OFF s'allume, ainsi que le témoin lumineux TRANSFER BUS OFF.

Il existe un mécanisme qui permet de compenser la perte d'un générateur AC d'un côté de l'avion pour amener au BUS électrique qui n'a plus de source l'électricité produite par le générateur restant (du côté opposé). Ce dernier voyant TRANSFER BUS OFF témoigne du fait que nous n'utilisons pas le système de transfert de l'électricité d'un côté à l'autre de l'avion. Comme nous sommes au sol avec les ingénieurs à nos côtés dans le poste de pilotage, ce n'est pas grave. C'est une situation voulue et maîtrisée.

Reportez-vous maintenant au panneau électrique AC/DC. Inspectez le voltage du TR2.

Solume par le 737 NG de PMDG, TR UNIT ne s'allume que dans le cas d'une panne. Il ne s'allume pas ici pour le défaut d'alimentation du TR résultant de la coupure de la source AC.

Vérifiez que le TR2 ne reçoit plus d'énergie mesurée. (DC AMPS = 0 lorsque le bouton rotatif est placé sur TR2).





Puisque les deux côtés électriques sont isolés, vérifiez également que le TR3 ne reçoit plus d'énergie mesurée. (DC AMPS = 0 lorsque le bouton rotatif est placé sur TR3).

- ✔ Vérifié et fonctionne dans le 737 NG modélisé par PMDG.
- ✔ Vérifié et fonctionne dans le 737 modélisé par IXEG.

Le TR3 et le TR2 alimentent le DC BUS 2. Or les affichages de la place de droite sont connectés au DC BUS 2, ainsi que les éléments AFCS B RUDDER, FCC B, FUEL CTR TANK AUTO SHUTOFF VLVS, EQUIP COOL SUPLY FAN NORM, EXHAUST FAN CONT ALTERNATE, MACH WARNING SYSTEM 2, WINDSHIELD WIPER RIGHT, CABIN DOOR LOCK, une partie des systèmes anti-skid. Autant de systèmes que vous pouvez inspecter maintenant. Ils devraient être affectés car les deux côtés étant isolés électriquement (BUS TRANSFER SWITCH OFF), DC BUS 2 n'a aucun moyen d'être secouru.

Sur un NG, vous pouvez maintenant vérifier qu'un des voyants orange au panneau supérieur s'allume avec l'indication OFF pour la section EQUIP COOLING SUPPLY EXHAUST. Vous pouvez rétablir le fonctionnement de l'équipement en basculant le bouton de la position NORM à ALTN.

- ✓ Vérifié comme affecté dans le 737 NG de PMDG.
- ✓ Sur le 737 de IXEG, on vérifie que les affichages de la place de droite sont connectés au DC BUS 2 mais l'architecture est différente du PMDG. L'expérimentation montre par exemple que sur un 737 classique, les deux essuies-glace qui n'y ont plus qu'un interrupteur unique, sont branchés différemment (ie sur DC BUS 1).

(On observe la connection de la pompe hydraulique électrique A (témoin orange) sur AC MAIN BUS 2 car rétablir le conducteur de transfert ne la répare pas).

Nous allons changer de côté et priver d'énergie le TRANSFER BUS 1.

APU GEN 2 (RIGHT) ON APU GEN 1 (LEFT) OFF

Observez la réaction des systèmes. Vérifier que la lumière SOURCE OFF ou BUS OFF s'allume pour le TRANSFER BUS 1 (de gauche). Observez les systèmes en panne. Il existe une certaine symétrie avec la panne du côté 2. Sur le panneau d'alimentation électrique le voltage DC de TR1 est





tombé à zéro tandis que les deux autres transformateurs ne sont pas affectés.

✓ Vérifié dans le 737 NG de PMDG.

✓ Vérifié dans le 737 CL de IXEG.

32/39

L'essuie glace de gauche (uniquement) cesse de fonctionner sur un NG, et les deux essuies-glace sur un CL.

[Boeing 737 CL]

Etablissez un état électrique normal et mettez en panne DC BUS 1. Observez les deux essuies-glace. Le résultat confirme-t-il la précédente assertion?

✓ Vérifié dans le 737 CL de IXEG.



Leçon 3 : le fonctionnement du relais de BUS BTB (AC) et impact en aval sur le circuit DC

On rappelle le schéma général :

AC GENERATOR -> AC XFR BUS -> TR -> DC BUS

Imaginez que vous perdez un générateur en vol. Vous perdez alors de nombreux systèmes (notamment tous les systèmes intelligents - comme le FCC - du côté affecté) si rien n'est fait pour apporter une redondance dans l'alimentation électrique des systèmes de bord gérés par chacun des BUS 28V DC.

Pour le moment APU GEN 1 est toujours maintenu déconnecté. Ajouté à cette situation, nous allons fermer le transfert de bus.

BUSTRANSFER AUTO

- a) Bien qu'il n'y ait aucun générateur en fonction pour alimenter le TR1, les systèmes 28V DC BUS 1 sont rétablis. Un relais de secours (BTB sur le 737 NG) a été établi, ce qui permet de connecter le TRANSFER BUS 1 au TRANSFER BUS 2 qui conserve une source d'énergie.
- b) Sur le panneau électrique le TR1 montre un courant normal (DC AMPS normal). Cela est dû au fait que DC BUS 1 voit bien passer un courant électrique.

[Boeing 737 NG]

c) Le témoin SOURCE OFF est toujours allumé pour le côté gauche, ce qui est cohérent avec l'état actuel du système. La dernière source sélectionnée était le générateur APU, qui a été débranché. (737 NG).

[Boeing 737 CL]

c) Le témoin BUS OFF est allumé pour le côté gauche car le conducteur AC GEN BUS 1 n'est plus alimenté, c'est le XFER BUS 1 seulement qui est secouru (737 classique). Le bus de transfert AC est situé en aval du bus général (GEN BUS).

Ainsi la redondance des systèmes AC est moins bonne dans un 737 classique que dans un 737 NG. Le défaut d'alimentation par une des



sources AC (lumière BUS OFF allumée) a plus de conséquences sur les anciens 737 : AC MAIN BUS 1 non secouru (SYSTEM B ELEC HYD PUMP affectée).

Fin de la leçon



Leçon 4 : visualiser le fonctionnement du DC BUS TIE en aval des TR

Rétablissons à présent une situation normale : avec tous les générateurs AC fonctionnels.

APU GEN 1 (LEFT) ON

[Boeing 737 NG]

Nouvel exercice: mettons en panne le TR1.

REMOVE ENERGY FROM TR1 FAILURE OF THE TR1

[Boeing 737 CL]

La mise en panne du TR1 nest pas possible sur la simulation IXEG. On va mettre en panne le bus de transfert 1 à la place, car il alimente le TR1. Pour surveiller un sustème relié au DC BUS 1, on met en marche les essuie-glace.

REMOVE ENERGY FROM TR1 FAILURE OF THE XFER BUS 1



[Boeing 737 NG, Boeing 737 CL]

Le voyant orange TR UNIT s'allume sur le 737 NG, DC AMPS tombe à 0 pour le TR1. En effet, dans ce cas, il ne peut plus être alimenté, par l'un ou l'autre des bus de transfert. Les systèmes ne sont pas perdus (les essuie-glace sont le témoin du DC BUS 1 sur 737 CL) grâce à la présence



d'un autre relais en aval des transformateurs. Il s'agit du conducteur de liaison DC (DC TIE BUS). Ainsi, un autre niveau de redondance existe, cette fois ci en aval des TR

Observez contrairement à la situation précédente où nous avions volontairement coupé un générateur AC que la lumière SOURCE OFF (737 NG) ou BUS OFF (737 classique) reste éteinte. Cela discrimine la panne de transformateur (comme ici) d'un souci d'alimentation à la source (ici la source est toujours fonctionnelle et utilisée par des systèmes que nous verrons à la leçon suivante mais pas par le transformateur AC-> DC).

✓ Vérifié dans le 737 NG de PMDG.

✓ Vérifié dans le 737 CL de IXEG.

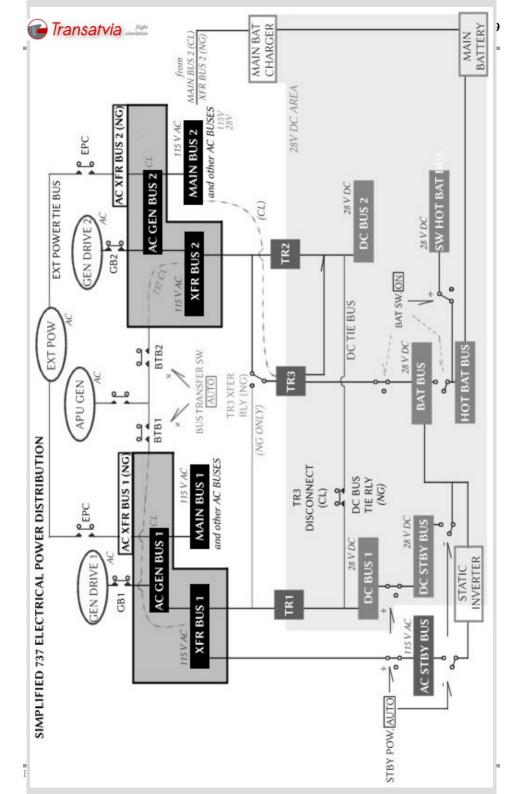


Commentaire de conclusion

Dans la partie DC du schéma électrique du 737, les bus alimentent en électricité différents systèmes. Le circuit électrique de droite et le circuit électrique de gauche fonctionnent indépendamment en condition normale. Il existe une redondance à deux niveaux¹⁰ établie par la présence de deux ponts de connexion (équipés de relais) entre la gauche et la droite de l'avion. Pour conserver toutes les fonctions 28V DC en route malgré un défaut d'une des sources d'alimentation AC, un relais est établi en amont de tous les autres bus de l'avion pour connecter le bus de transfert désormais hors tension au bus de transfert resté alimenté par son générateur propre. C'est le relais BTB (BTB 1 et BTB 2), désactivable avec la bascule BUS TRANSFER. Pour conserver toutes les fonctions 28V DC malgré un défaut d'un des transformateurs, un relais existe en aval des transformateurs pour récupérer le courant fourni par les transformateurs restés en service. C'est le DC BUS TIE RELAY. Le fonctionnement de ce relais est différent entre les CL et les NG.

Fin de la leçon.

¹⁰ Sans compter la sauvegarde du TR3 par le côté gauche sur les NG.





Légende : signification des typographies

[Boeing 737 classique]

Elément de procédure à n'appliquer que pour l'appareil désigné

✔ Vérifié et fonctionne dans le 737 NG modélisé par PMDG.

Vérification de la transposition au simulateur de la théorie

Description

Description de l'état des commutateurs de l'appareil

ENG START SWITCH IGN R

Partie de procédure à appliquer

Le circuit d'alimentation électrique des services du B737 classique et du B737 NG

Résumé

Chaque leçon se concentre sur la gestion des systèmes électriques de bord. Nous comparons l'architecture du 737 CL avec celle, différente, du 737 NG. Nous explorons l'alimentation en courant discontinu et en courant continu en mettant en évidence les connecteurs alimentés ou non à l'aide des services qu'ils desservent. Les coupes-circuits (circuit-breakers) ne sont pas abordés. Nous illustrons le propos à l'aide d'un modèle simulé de 737 CL et d'un modèle de 737 NG.

G. FERNANDEZ

