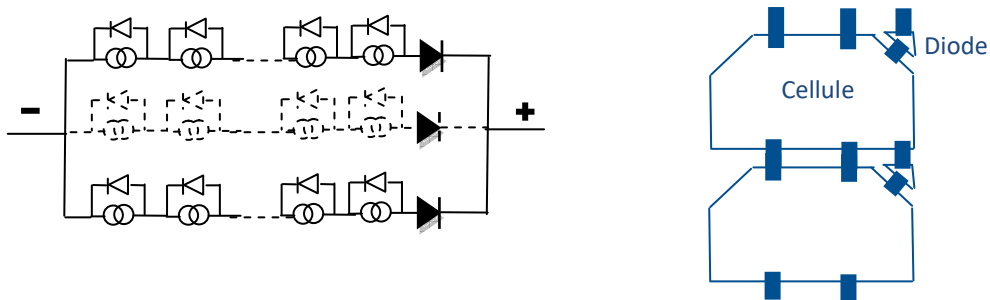


TP N° 66

Perte d'interconnexions d'un générateur solaire

L'objet de ce TP est de montrer comment estimer simplement la fiabilité d'un système non réparable par simulation de Monte-Carlo au moyen d'un tableur.



Un générateur solaire est constitué de 200 strings de 20 cellules photovoltaïques en série avec un certain niveau de redondance (perte de 4 % de la puissance d'un string en cas de panne d'une cellule en court-circuit, 10 % en cas de perte de deux cellules et 100 % au-delà).

Chaque string est raccordé au bus d'alimentation à travers une diode de blocage.

Chaque cellule est protégée par une diode de protection aux ombrages (hot spot) pour empêcher qu'un courant inverse ne conduise à une panne en court-circuit de la cellule.

Les cellules sont raccordées entre elles par une interconnexion redondée contrairement aux diodes de protection.

Le générateur solaire vient d'être testé par thermographie infrarouge. Ce test a révélé 8 interconnexions défectueuses de diodes (la redondance masquant celles des cellules).

Un générateur solaire identique, déjà intégré sur un satellite prêt à être lancé, n'a pas subi ce test.

Toutefois, l'expert en techniques d'assemblage et soudures garantit que ces anomalies sont des cas d'espèce et qu'il n'y aura pas de phénomènes de dégradation en vol.

1 – Estimer la défiabilité du générateur solaire engendrée par les anomalies détectées sachant que 95 % de la puissance nominale est requise pour la mission.

2 – Imaginer la décision prise par le chef de projet.

1 - Défiabilité du générateur solaire engendrée par les anomalies détectées

Un système non réparable peut faire l'objet d'une estimation de fiabilité par simulation de Monte-Carlo au moyen d'un tableur en affectant une cellule à chaque constituant puis en liant les cellules par des formules logiques selon l'architecture du système.

Suite au test effectué, la probabilité p de défaut d'une interconnexion peut être estimée à $8/(200 \times 20 \times 2)$ soit 0,1 %.

Un string sera perdu en cas de panne d'une cellule en circuit ouvert engendrée par la perte d'une interconnexion redondée. L'état d'une cellule (1 = OK, 0 = KO) peut être simulé sous Excel de la manière suivante au moyen de la fonction Alea (générateur aléatoire entre 0 et 1) :

$$=SI(ET(ALEA() < p ; ALEA() < p); 0; 1) .$$

Une diode de protection sera perdue en cas de perte de l'une de ses deux interconnexions. De manière conservatrice, cette perte conduira à la panne en court-circuit de la cellule correspondante. L'état d'une diode peut être simulé de la manière suivante :

$$=SI(OU(ALEA() < p ; ALEA() < p); 0; 1)$$

Compte tenu des dégradations générées par la perte des cellules en circuit ouvert ou court-circuit, la puissance délivrée par un string peut être simulée de la manière suivante :

$$=SI(OU(SOMME(Cellules)<20;SOMME(Diodes)<18);0;SI(SOMME(Diodes)<19;95%;SI(SOMME(Diodes)<20;99%;100%)))$$

La puissance du générateur solaire peut être alors simulée en additionnant celle de 200 strings.

Une telle simulation a été réalisée ci-dessous.

Dégradation d'un Générateur Solaire

Configuration du GS :

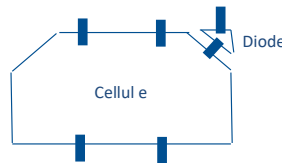
- 200 strings de 20 cellules
- 1 diodes de blocage par string (+)
- 1 diodes de protection aux ombrages par cellule

Constat :

- 8 interconnexions de diodes défectueuses

Hypothèses :

- Panne non évolutive ou transitoire
- Couplage entre panne de composants et d'interconnexions négligé

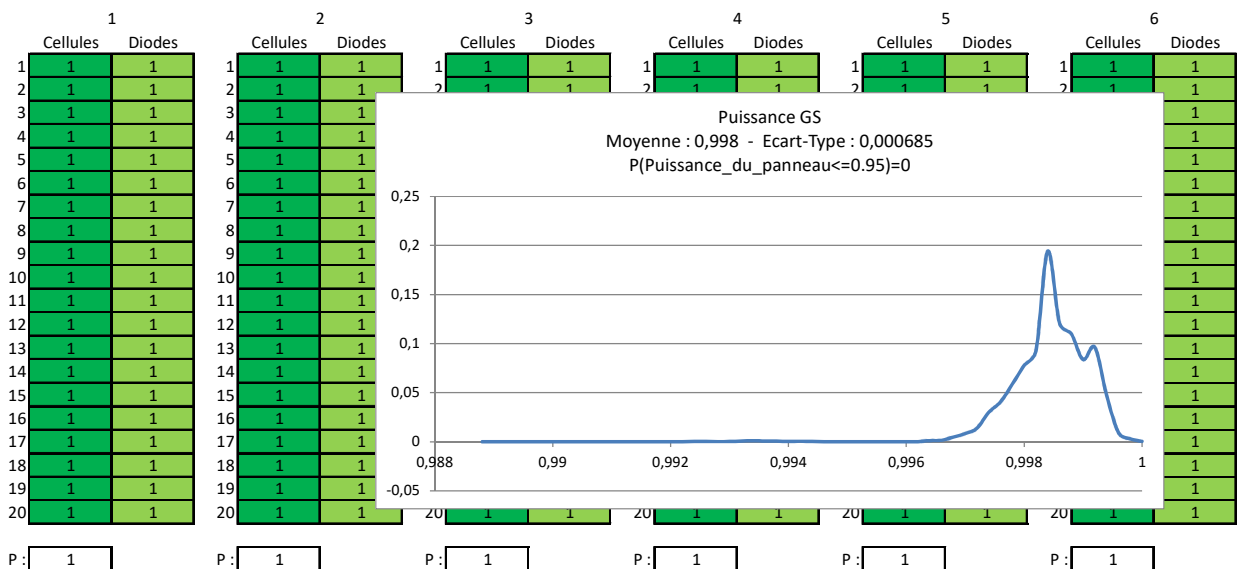


Probabilité de défaut :

Dégradation de la puissance d'un string

- 1 cellule en court-circuit :
- 2 cellules en court-circuit :
- + de 2 cellules en court-circuit :

Puissance du GS :



Une valeur de puissance du générateur solaire (GS) est obtenue à chaque lancement du calcul.

L'utilisation de l'outil Simcab permet de lancer celui-ci un grand nombre de fois (16000 dans cet exemple) afin d'obtenir la distribution statistique de la puissance délivrée par le générateur, ainsi que la probabilité que celle-ci soit inférieure au seuil requis de 95%.

Remarques :

- Le couplage éventuel entre des pannes de composants et des pertes d'interconnexions a été négligé dans cette simulation.
- Dans un modèle de fiabilité complet du générateur solaire, la simulation de la durée de fonctionnement des composants s'effectue de la manière suivante en appliquant la fonction réciproque de la loi exponentielle à une valeur aléatoire entre 0 et 1:

$$TTF = -\ln(\text{alea}())/\lambda$$

2 – Décision prise par le chef de projet

Au vu du très faible impact des anomalies détectées sur la fiabilité du générateur solaire et de l'expertise concluant à l'absence de phénomènes de dégradation en vol, la décision de lancement sans intervention sera probablement prise en raison des contraintes de coût et de planning mais aussi des risques de stress subis par les composants au cours des réparations.