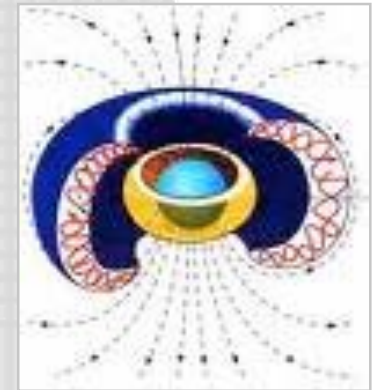
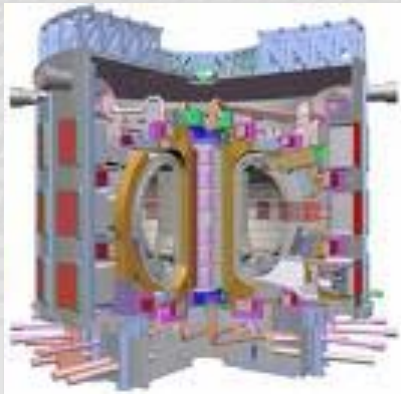


Dose Ionisante et Vulnérabilité d'Equipements Electroniques

Environnements radiatifs

- Les sources de rayonnement



Environnements radiatifs

- Les victimes



Environnements radiatifs

- Radiations en fonction des environnements

		Protons	Electrons	Ions Lourds	Neutrons	Photons
Environnement	Spatial	X	X	X		
	Industriel		X		X	X
	Médical	X	X			X

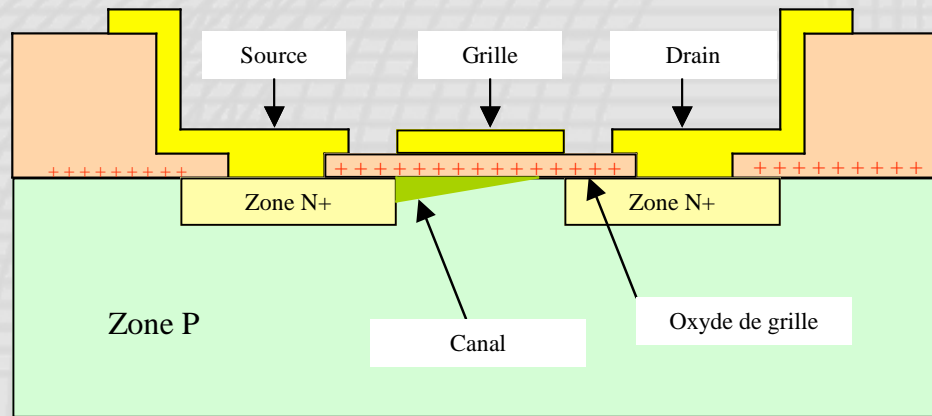
- La dose ionisante est principalement déposée par les électrons et les photons γ

Grandeurs physiques

- **Dose ionisante**
 - Énergie déposée par unité de masse.
 - Unité internationale : Gray (Gy) = 1 Joule/kg
 - Autre unité : rad (1 Gy = 100 rad).
- **Débit de dose ionisante**
 - Dose ionisante absorbée par unité de temps.
 - Unité internationale : le Gray/seconde (Gy/s)
 - Autre unité : rad/s ou rad/h

Effets sur les composants électroniques

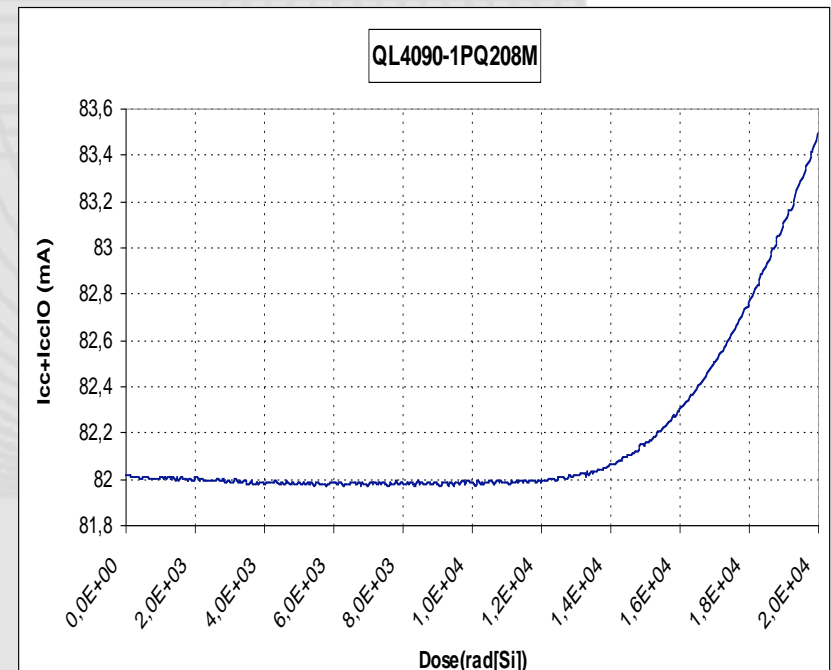
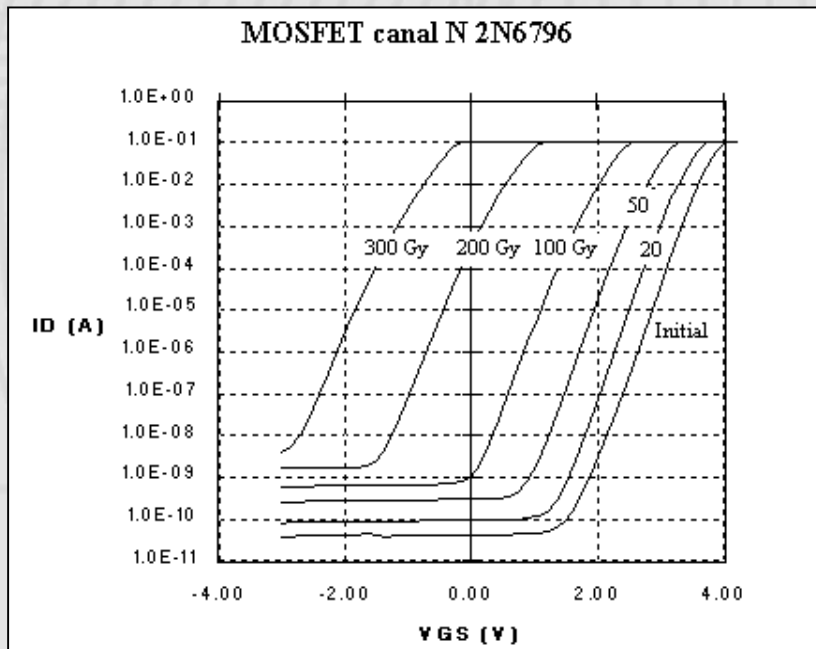
- Mécanisme



- Piégeage des charges dans les isolants
- Migration des charges vers les interfaces isolant / semi-conducteur et création d'un canal permanent (MOS N)
 - ⇒ Effet de cumul
 - ⇒ Phénomène dépendant du débit de dose

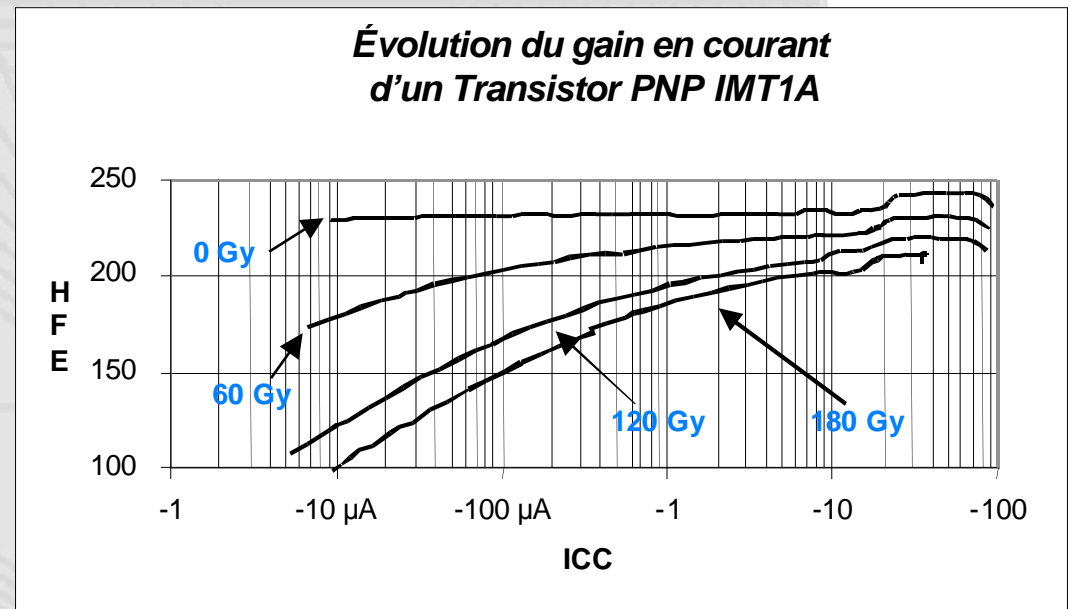
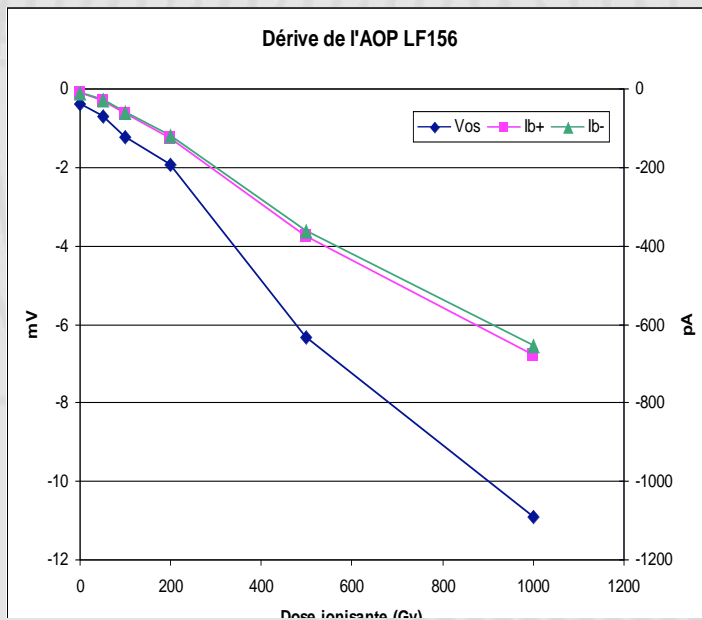
Effets sur les composants électroniques

- Structure MOS
 - Décalage des tensions de seuil
 - Courants de fuite



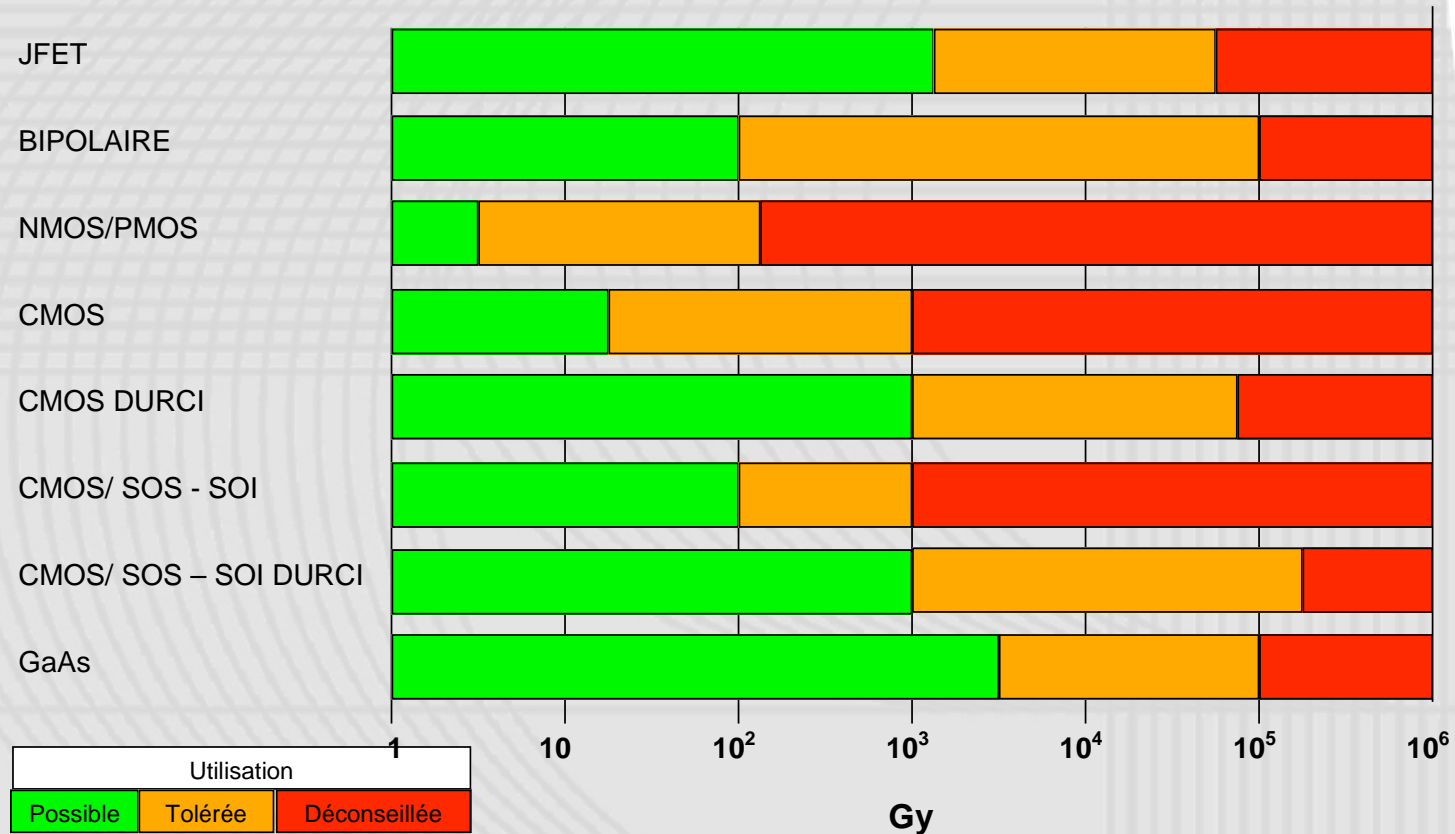
Effets sur les composants électroniques

- Structures bipolaires
 - Augmentation des courants de fuite
 - Diminution du gain
 - Variation du courant inverse des diodes
 - Variation de la tension de claquage



Effets sur les composants électroniques

- Ordre de grandeur de la susceptibilité

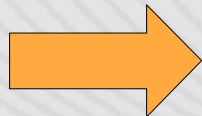
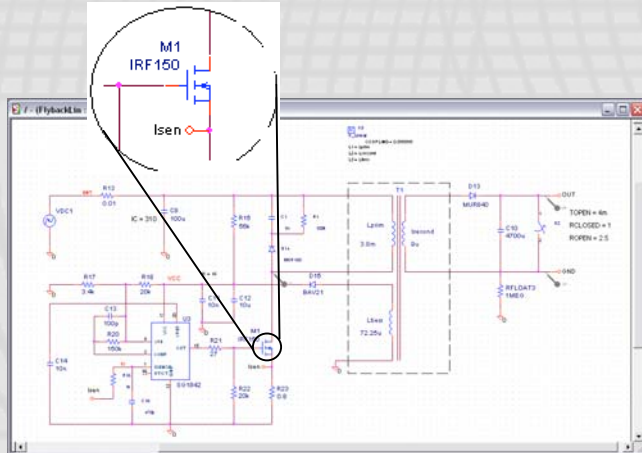
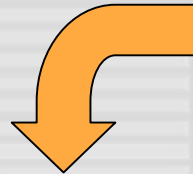
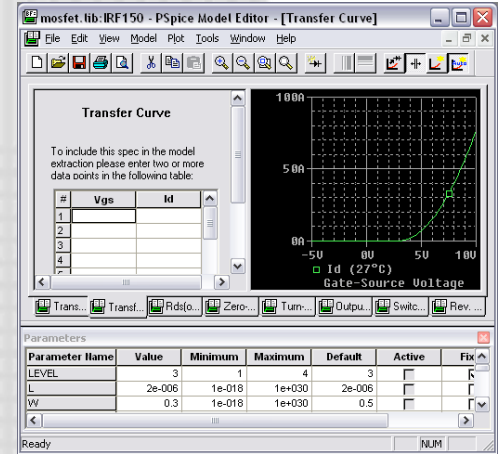
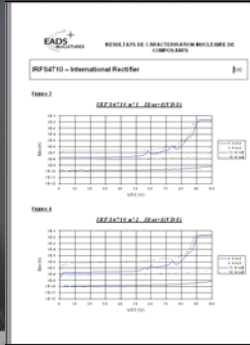


Effets sur les composants électroniques

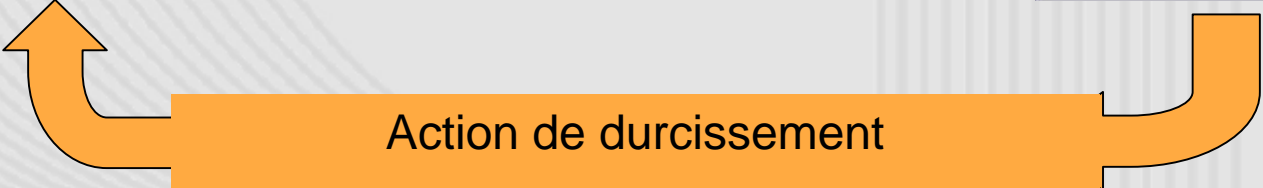
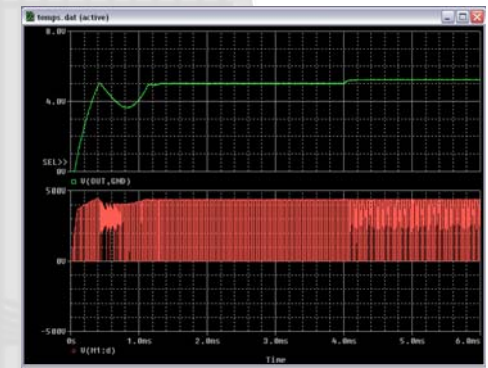
- Impact de la miniaturisation des composants
 - La diminution de l'épaisseur de oxyde de grille induit un décalage de la tension de seuil plus faible
 - La diminution de la largeur du canal provoque une augmentation des courants de fuite
 - La miniaturisation induisant deux tendances antagonistes, la prédiction de la tenue d'une nouvelle technologie est délicate.
 - Il est fondamental de réaliser des tests.

Méthode de durcissement

Essais



PSPICE



Méthode de durcissement

- Caractérisation des composants
 - Les essais sont réalisés avec des générateurs X ou des sources γ
 - Moyen d'essai NUCLETUDES
 - Co60,
 - Energie des photons γ :
 - 1,17 MeV et 1,33 MeV
 - Débit de dose :
 - 0,5 Gy/s sur 2 cm²
 - 0,01 Gy/s sur 100 cm²

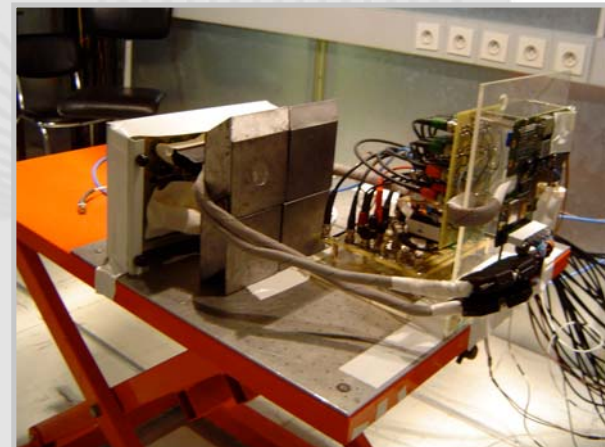
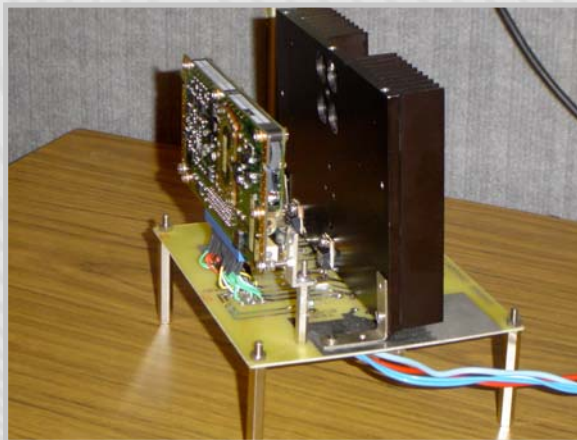
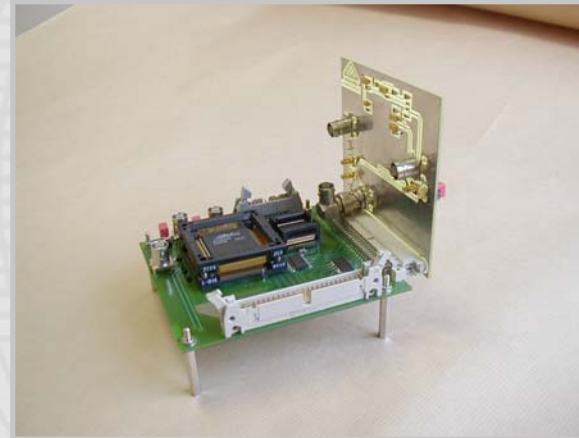
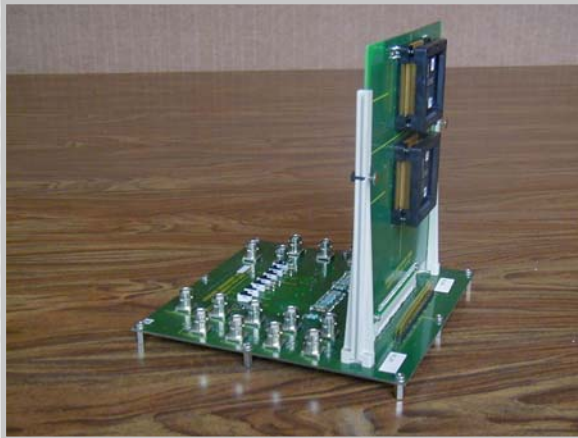


Méthode de durcissement

- Caractérisation des composants
 - Contrainte de mise en œuvre des tests
 - Pas de présence humaine à proximité,
 - Limiter au minimum l'électronique nécessaire au test en cellule d'irradiation (dégradation).
 - La solution
 - Concevoir des mises en œuvre déportées de 8 à 10 m
 - «Bufferisation» des signaux de commande,
 - Transport des signaux dynamiques par lignes adaptées,
 - Utilisation de composants de proximité consommables.
 - Durcir les dispositifs de proximité

Méthode de durcissement

- Caractérisation des composants
 - Exemple de mise en œuvre



Méthode de durcissement

- Essais composants, maquettes, équipements
 - Expérience NUCLETUDES
 - Composants :
 - Diodes, transistors, régulateurs, AOP
 - FPGA, processeurs, DAC/ADC
 - Cartes :
 - Convertisseur d'alimentation
 - Chaîne de mesure
 - Traitement numérique
 - Équipements :
 - Boîtier de mesures, boîtier actionneurs, calculateurs

Méthode de durcissement

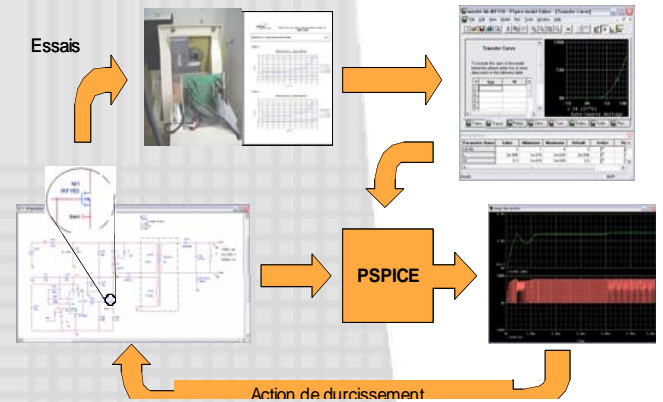
- Action de durcissement (exemple)

- Contre polarisation

- Prise en compte des courants de fuite

- Prise en compte de l'évolution des consommations

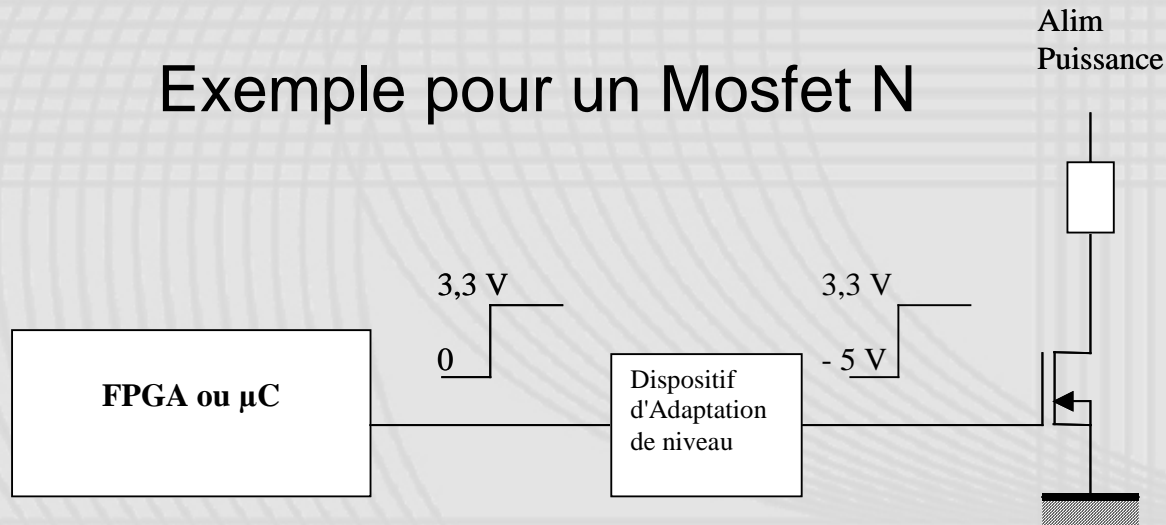
- Blindages



Méthode de durcissement

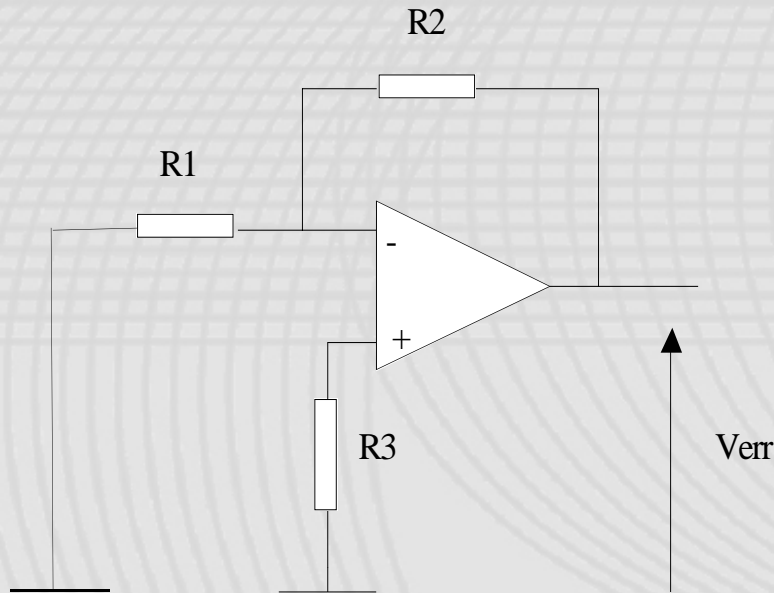
- Contre polarisation
 - Il s'agit de compenser la dérive de la tension seuil

Exemple pour un Mosfet N



Méthode de durcissement

- Prise en compte des courants de fuite



$$V_{err} = V_{os} + (R_1 // R_2 + R_3) \times I_b + \frac{(R_1 // R_2 - R_3)}{2} \times I_{os}$$

OPA2277		
	Initial	20 krad
Vos	10 μV	60 μV
Ib	280 pA	5 nA
Ios	310 pA	5,5 nA

	initial	20 krad	20 krad
R1	100 kohms	100 kohms	10 kohms
R2	200 kohms	200 kohms	20 kohms
R3	67 kohms	67 kohms	6,7 kohms
Verr	47,3 μV	726,7 μV	113,7 μV

Méthode de durcissement

- Prise en compte de l'évolution des consommations

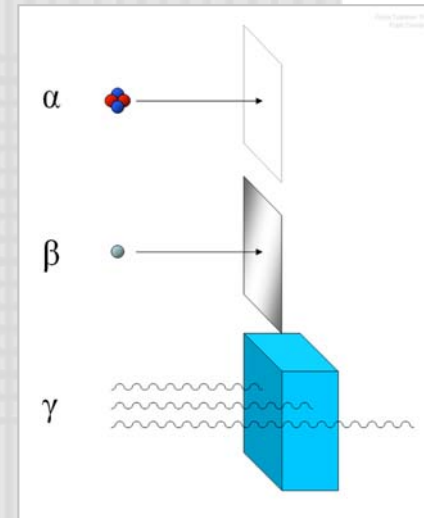
Spécification :

- des dispositifs de détection de surconsommation
- de la puissance de sortie des alimentations du matériel
- de la puissance dissipée

Méthode de durcissement

- Blindage

- Dépend de la nature des radiations
- Des pertes de performance admises
- De la tenue des composants
- De la place disponible
- Du bilan de masse



– Il n'existe pas de blindage universel, chaque solution résulte d'un compromis.

Merci pour votre attention