

EFFETS DES RADIATIONS SUR LES COMPOSANTS ELECTRONIQUES

N. SEGUIN-MOREAU
LAL ORSAY
(seguin@lal.in2p3.fr)

NASA

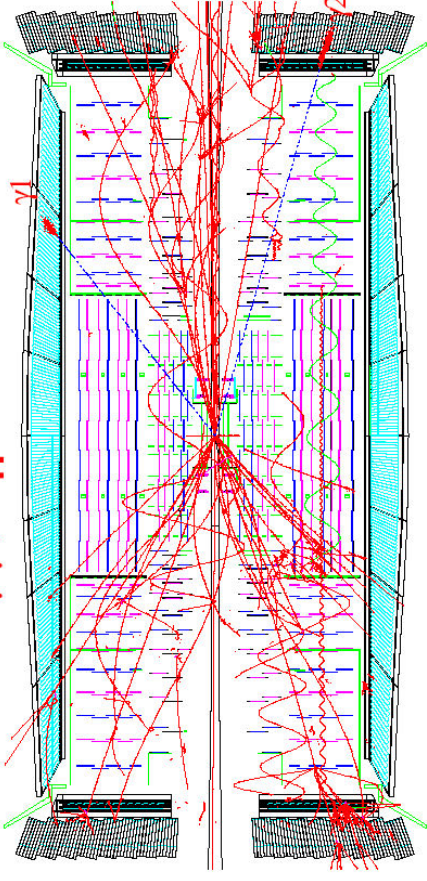
Introduction



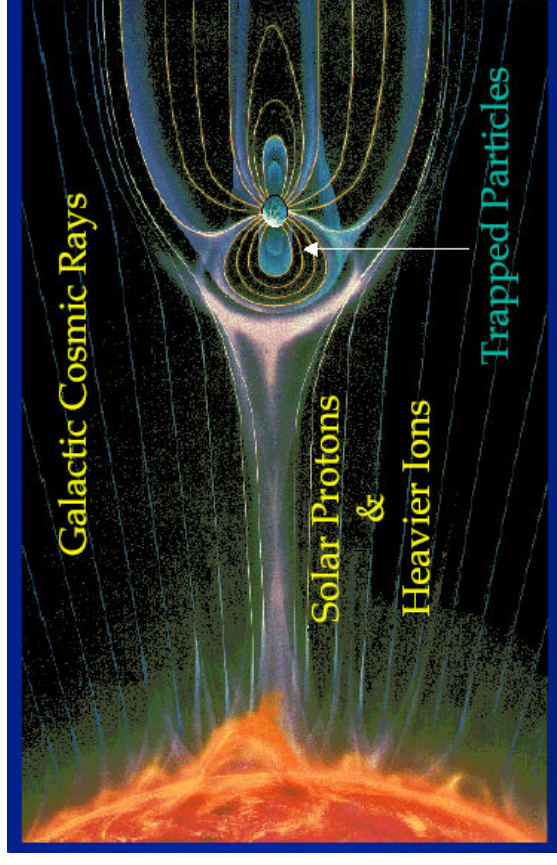
Introduction

- **Environnement:**
 - Spatial: Protons, électrons, ions lourds, neutrons
 - Nucléaire: X, Gammas, β , neutrons ...
Très fortes doses
 - Expériences de Physique Hautes Energies: Hadrons chargés (pions, kaons, protons), Neutrons. Doses modérées

H \rightarrow $\gamma\gamma$, $M_H = 100$ GeV



- **Les radiations peuvent provoquer des dommages importants à un circuit électronique utilisé dans un environnement irradiant:**
 - Dégradation des performances
 - Pannes

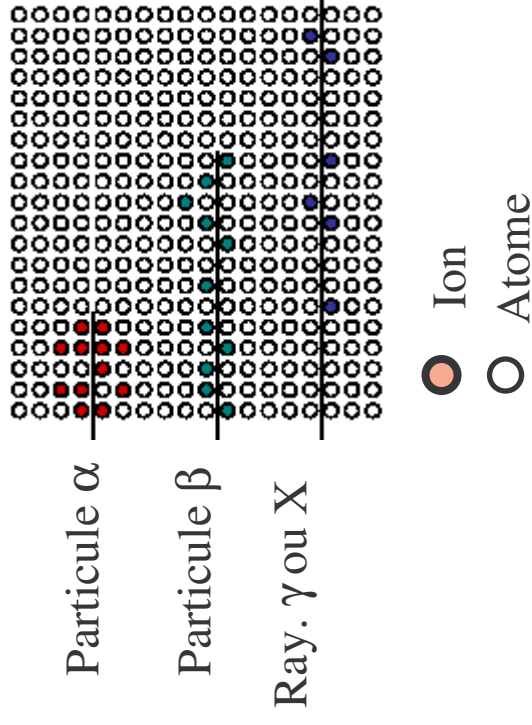


PLAN

- 1- Mécanismes d'interaction des particules avec la matière
- 2- Effets des TID (Total Ionising Dose) sur les MOS et bipolaires
- 3- Effets des NIELs (Non Ionising Energy Loss)
- 4- Effets des SEEs (Single Event Effects)
- 5- Conséquences sur la fonctionnalité d'un circuit
- 6- Solutions pour durcir l'électronique
- 7- Exemple de tests de circuits aux irradiations
- 8- Effets des radiations sur l'homme
- 9- Conclusions

1- Intéraction Radiation- Matière : Processus (1)

- Quand une particule entre en collision avec la matière, elle perd tout ou partie de son énergie. Plusieurs mécanismes s'enchaînent, mais souvent un seul domine lors des échanges d'énergie.
- Il existe différents processus qui dépendent:
 - Type, énergie cinétique, masse et charge de la particule incidente
 - Masse, Zatomique et de la densité de la cible



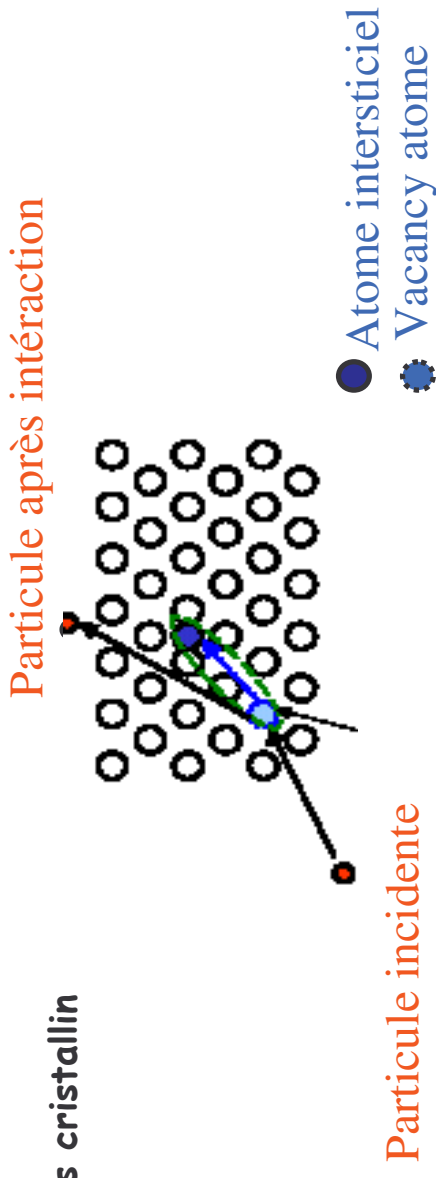
1- Intéraction Radiation-Matière : Processus les plus fréquents

■ IONISATION

- La particule incidente transfère son énergie au matériau en produisant une paire e- trou
- => création de paires e- trous sur le trajet de la particule chargée

■ DEPLACEMENT ATOMIQUE

- Déplacement d'atomes de leur position normale
 - Les particules incidentes perdent leur énergie lors de collisions élastiques ou inélastiques, ce qui entraîne des défauts structuraux dans le matériau cible
 - **Création de défauts cristallin**

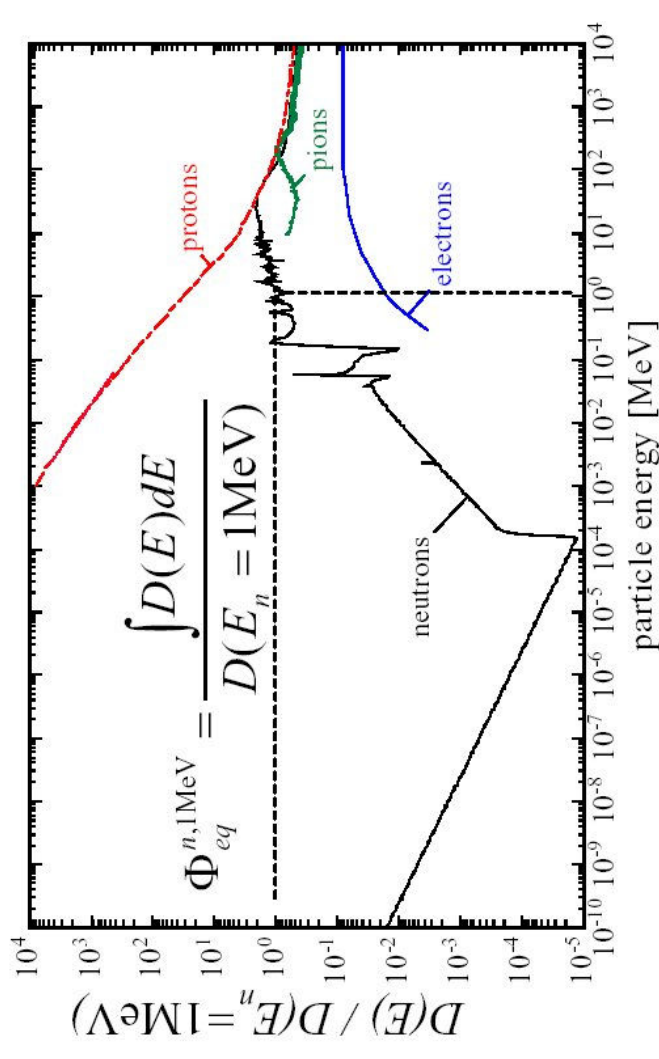


1- TID, NIEL, SEE

- **EFFETS CUMULATIFS** (effets accumulés pendant toute la période d'exposition aux radiations)
 - **IONISATION [TID: Total Ionising Dose]** : création paires e- trous
 - **MECANISME NON-IONISANT [NIEL: Non Ionising Energy Loss]** : Déplacement atomique
 - Les neutrons provoquent essentiellement du déplacement atomique
 - Les photons: ionisation
 - Les hadrons chargés et les ions lourds : ionisation et déplacement
- **EFFETS NON CUMULATIFS**
 - **SEE (Single Event Effect)**: Très localisé et induit par une seule particule fortement ionisante : protons, neutrons, ions lourds

1- UNITES:

- **IONISATION**
- **TID (Total Ionisation Dose):**
 - -> Dose en Gray : Gy
 - 1 Gy = 100 rad = 1 J/kg
 - -> Dose rate : Gy/s
- **RADIATION NON IONISANTE**
- **NIEL (Non Ionising Energy Loss)**
 - ϕ : Mesuré en particules/cm² ou fluence
 - ϕ équivalent à neutrons de 1 Mev
- **SEE**
- On mesure le nombre de SEEs en précisant le flux de particules incidentes



1- RESUME DES MECANISMES et UNITES

C U M U L A T I F S

IONISATION
TID
Gy, rad

=> Paires e- trous

Photons, Electrons, Ions lourds

NON IONISANT
NIEL
Fluence ou particules/cm²

=> Déplacement
atomique

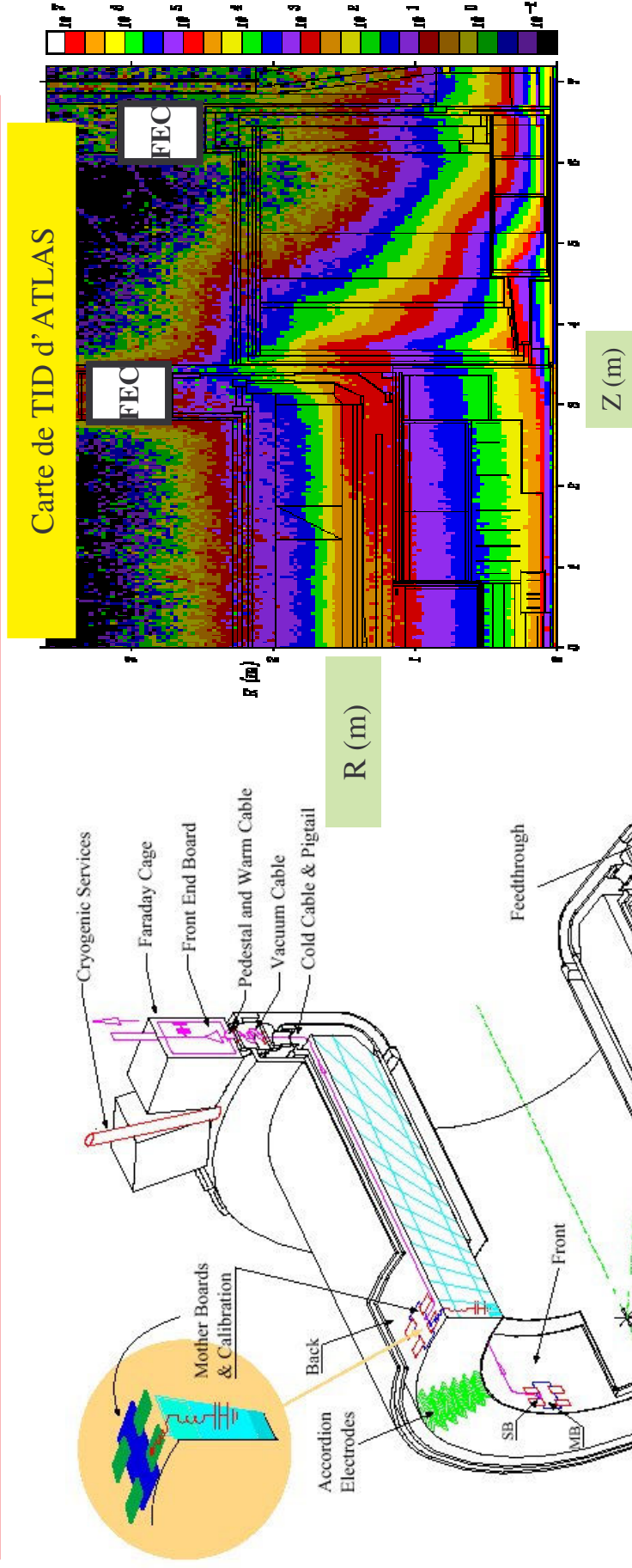
Neutrons, Ions lourds

SEE
Taux d'occurrence

=> Défaillance temporaire
ou définitive

Protons, Neutrons, Ions lourds

1- Ex de niveaux de radiations dans ATLAS (LHC):



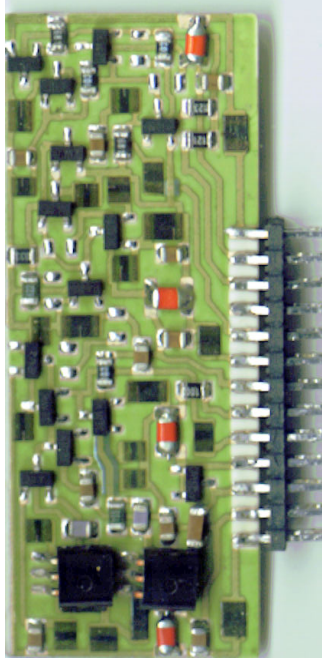
Chassis électroniques situés sur le cryostat:

- TID = 50 Gy/10yr
- NIEL = $1.6 \cdot 10^{12}$ N/cm²/10yr
- SEE = $7.7 \cdot 10^{11}$ h/cm²/10yr (>20 MeV)

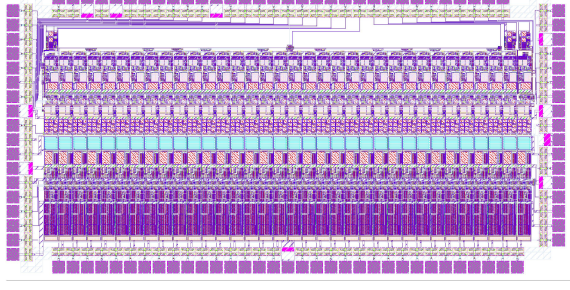
ATLAS LAr calorimeter

1- Exemple: Doses requises pour tests de composants électroniques d'ATLAS

- Les composants COTs (Commercial Off The Shelf components = composants commerciaux) mais aussi les ASICs réalisés en techno durcie doivent être testés à des doses bien supérieures aux doses prévues (Safety Factor: SF)



- ASICs DMILL (avec SF)
 - TID = $50 * 3.5$ (simul) * 1.5 (ldr) * 2 (lot)
= 525 Gy/10yr (3.5 kGy for COTS)
 - NIEL = $1.6 * 10^{12} * 5$ (simul) * 1 (ldr) * 2 (lot)
= $1.6 * 10^{13}$ N/cm²/10yr (3.2 10¹³ for COTS)
 - SEE = $7.7 * 10^{11} * 5$ (simul) * 1 (ldr) * 2 (lot)
= $7.7 * 10^{12}$ hadrons/cm²/10yr



1- Tenue aux radiations : spatial vs LHC

	<u>Space missions</u>	<u>LHC experiments</u>
■ Mission Time	10-15 years	10 years
■ Service	Not Possible	Impractical
■ Electronics Reliability	High	High
■ Total Dose Requirements	10 -100 krad	1 krad - 10 Mrad
■ Non Ionizing Energy Loss (N)	~0	$10^{13} - 10^{15}$ N/cm ²
■ Single Event Upsets	IC's SEU characterised No Critical SEU Accepted	

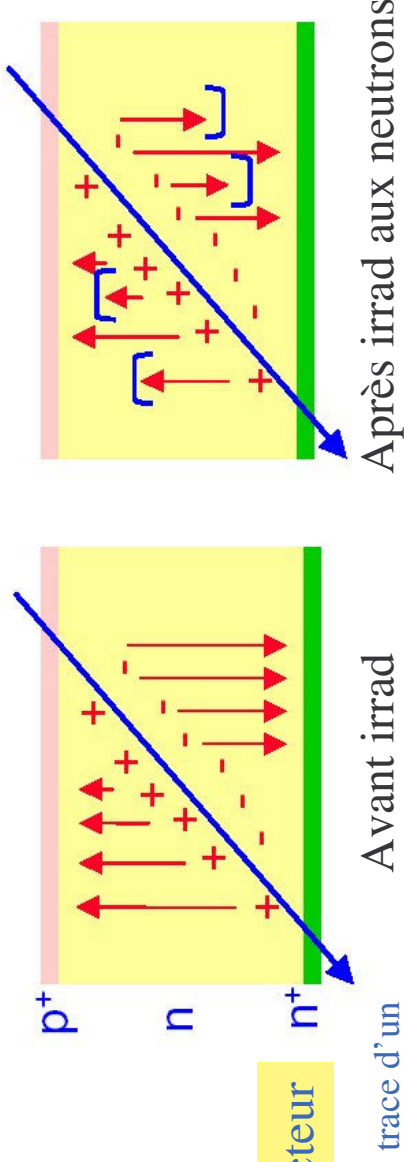
■ => Des contraintes assez similaires



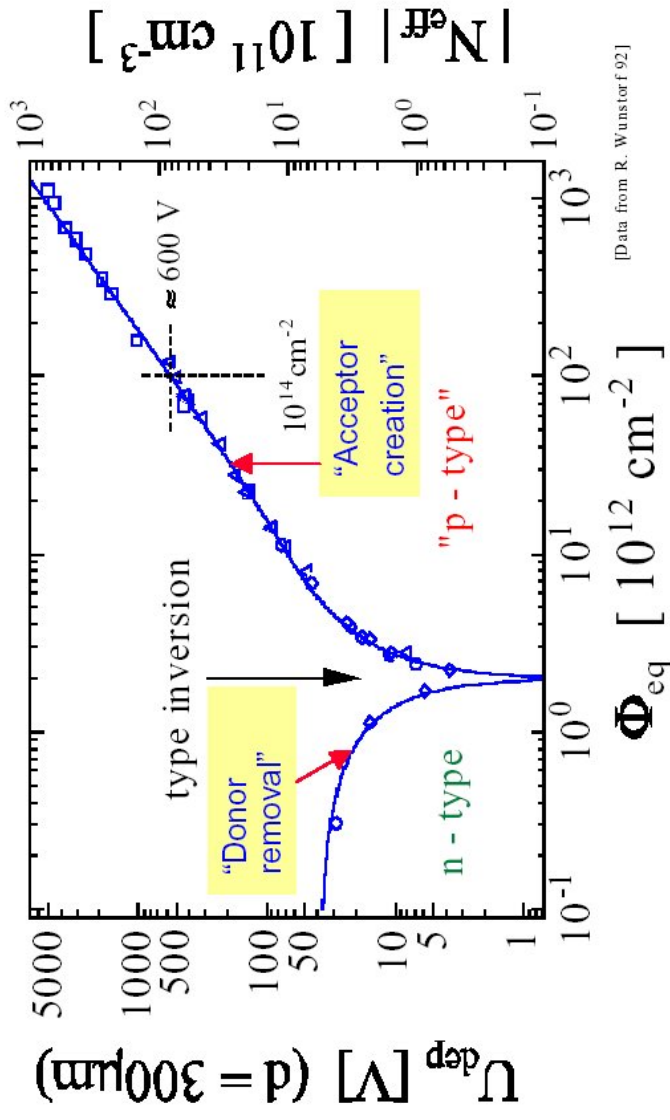
1- Effets des radiations sur les détecteurs Si

- Très sensibles aux irradiations NIEL (neutrons)

Particule traversant le détecteur

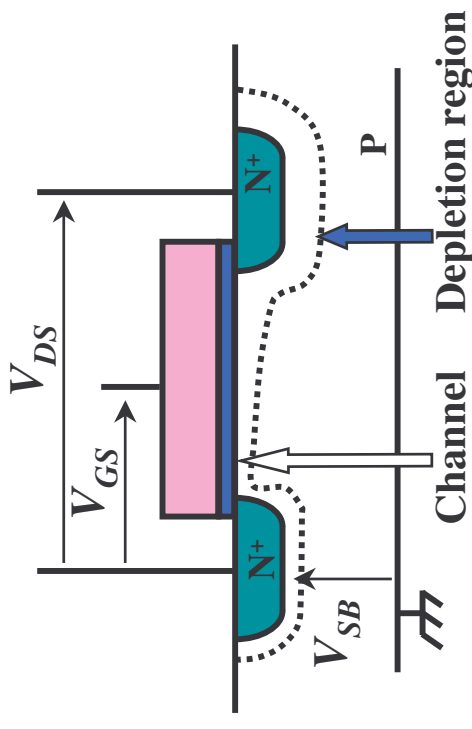
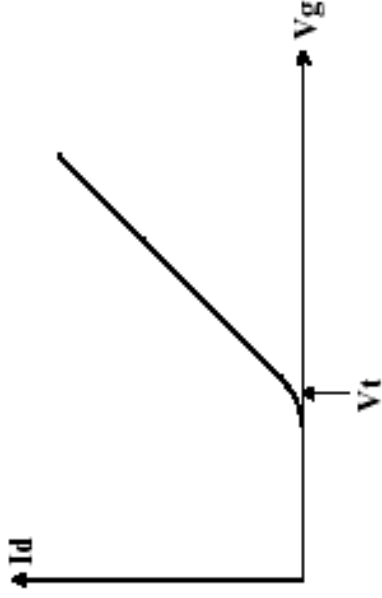
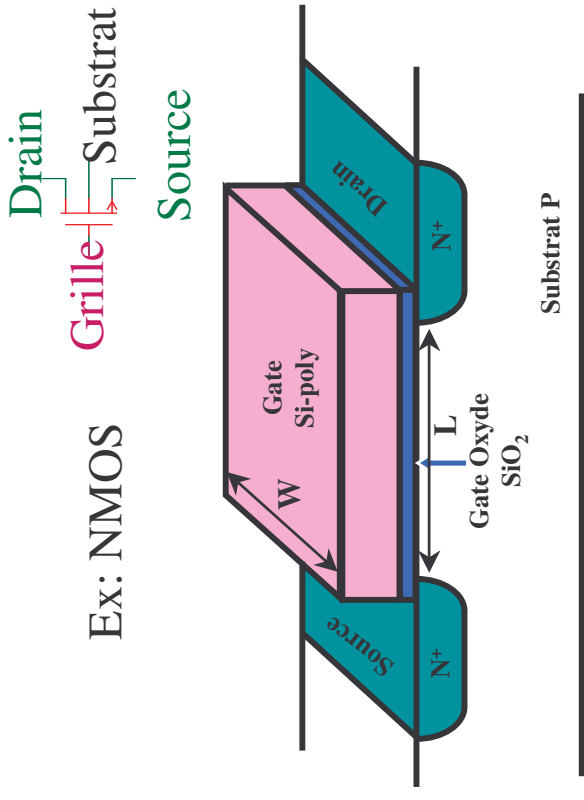


- Détecteur irradié aux neutrons => défauts cristallins
- Détecteur de type n peut devenir de type p suite à irradiation



2- Transistors MOS: principe physique

- **Forte inversion :**
 - Conduction: porteurs majoritaires sous l'interface Si-SiO₂
 - approximation quadratique
 - $I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2$
 - V_T : threshold voltage : tension de seuil qui dépend de la techno
 - μ_n : mobilité des porteurs, C_{ox} : épaisseur de grille
 - W and L : dimensions = "au choix du designer"
- **Source de I contrôlée en tension**
- **Pas de courant de grille : $I_G = 0$**



2- Effets des particules ionisantes (TID) sur les transistors MOS

Partie la plus sensible aux radiations:

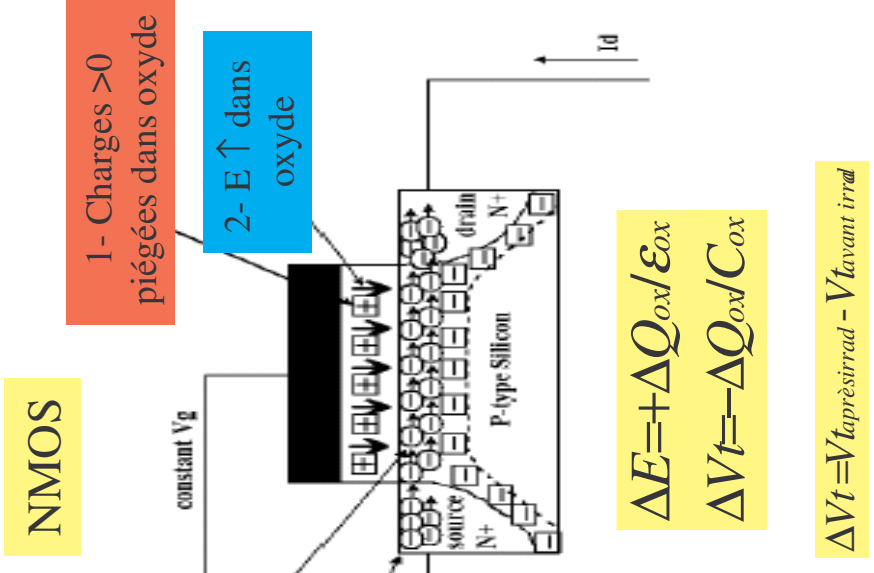
- Couche d'oxyde de Silicium

a- Piégeage des trous dans l'oxyde (SiO2)

- ΔV_t prop à la densité de trous et à leur position par rapport à Si-SiO2
- Charge piégée $t_{jrs} > 0$
- $\Rightarrow \Delta V_{ox} t_{jrs} < 0$
- $\Rightarrow V_{thNMOS} \downarrow$ et $V_{thPMOS} \uparrow$ en valeur absolue

b- Pièges à l'interface Si-SiO2 (états d'interface):

- \Rightarrow piègeages et dépiégeages des charges qui sont dans le canal conducteur
- $\Rightarrow \Delta V_{it}$. Pièges chargés < 0 pour NMOS, > 0 pour PMOS
 - $\Rightarrow V_{thNMOS}$ et $V_{thPMOS} \uparrow$ en valeur absolue

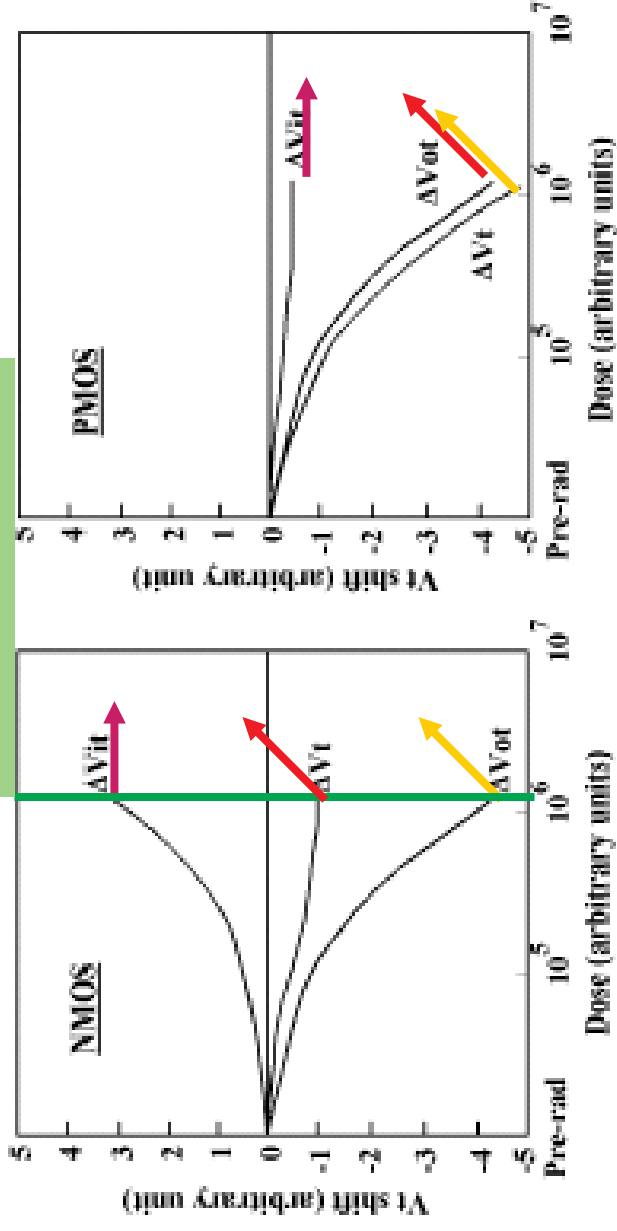


2- TID: V_{th} des NMOS et PMOS

- **NMOS:**
 - Trous piégés ont tendance à $\uparrow V_{th}$ alors que les états d'interface ont tendance à $\downarrow V_{th}$.
 - Trous (+ grde dynamique) dominant en début d'irrad
 - Accumulation des états d'interface

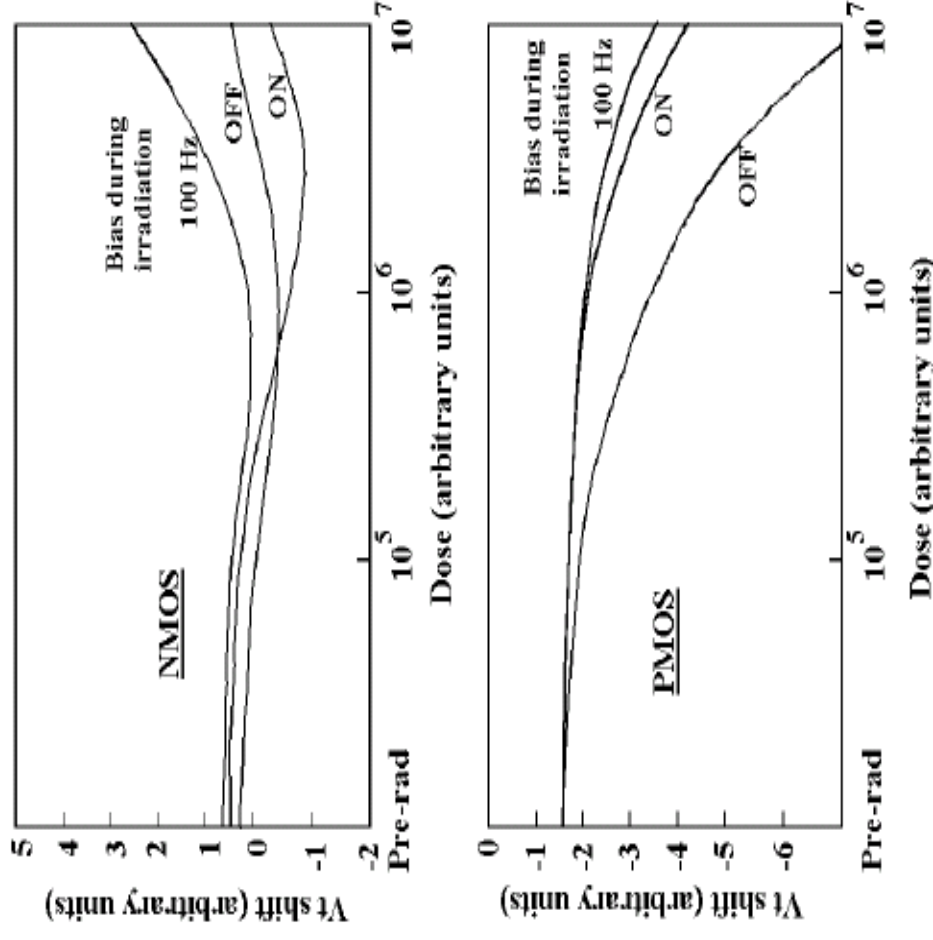
- **PMOS:**

Arrêt de l'irradiation



ANNEALING: Quand on stoppe l'irradiation, phénomène de récupération

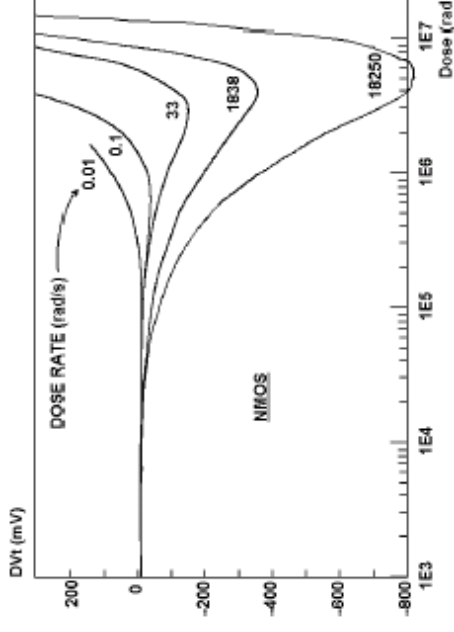
2- TID: influence de la polarisation pendant irradiation sur la variation de V_{th} des MOS



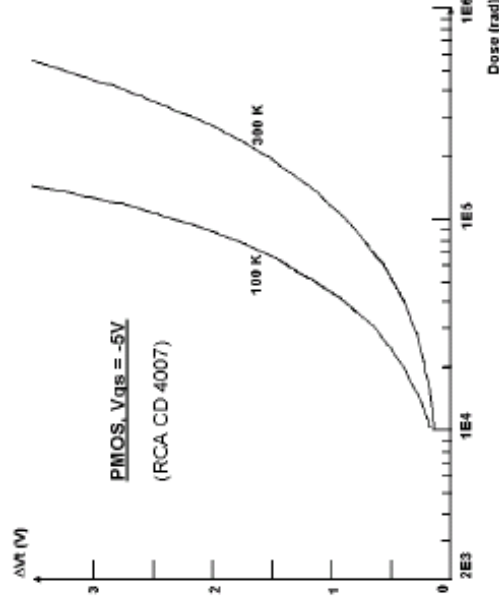
■ Les circuits **DOIVENT** être alimentés pendant les tests aux TID

2- TID: influence du débit de dose (dose rate) et de la température sur la variation de V_{th} des MOS

- ΔV_{th} dépend du débit de dose.



- ΔV_{th} dépend de la température: les trous peuvent être dépiégés (ANNEALING).



2- Résumé: variation de V_{th} des MOS avec TID

	Charge Oxyde	Etats interface	Total
$ V_{th} $ NMOS	↗	↗	↗ ou ↘
$ V_{th} $ PMOS	↗	↗	↘

- Les conditions d'irradiation (polarisation, température, débit de dose) ont une grande influence sur la variation de V_t
- Annealing
- ΔV_{th} dépend de l'épaisseur de l'oxyde de grille
 - Les trous piégés peuvent quitter l'oxyde par effet tunnel.
 - Techno CMOS sub micronique (rad hard AVEC des designs spécifiques)

2- TID: mobilité et transconductance des MOS

- La mobilité diminue car la conduction dans un MOS est directement corrélée avec la mobilité des porteurs près de l'interface SiO₂

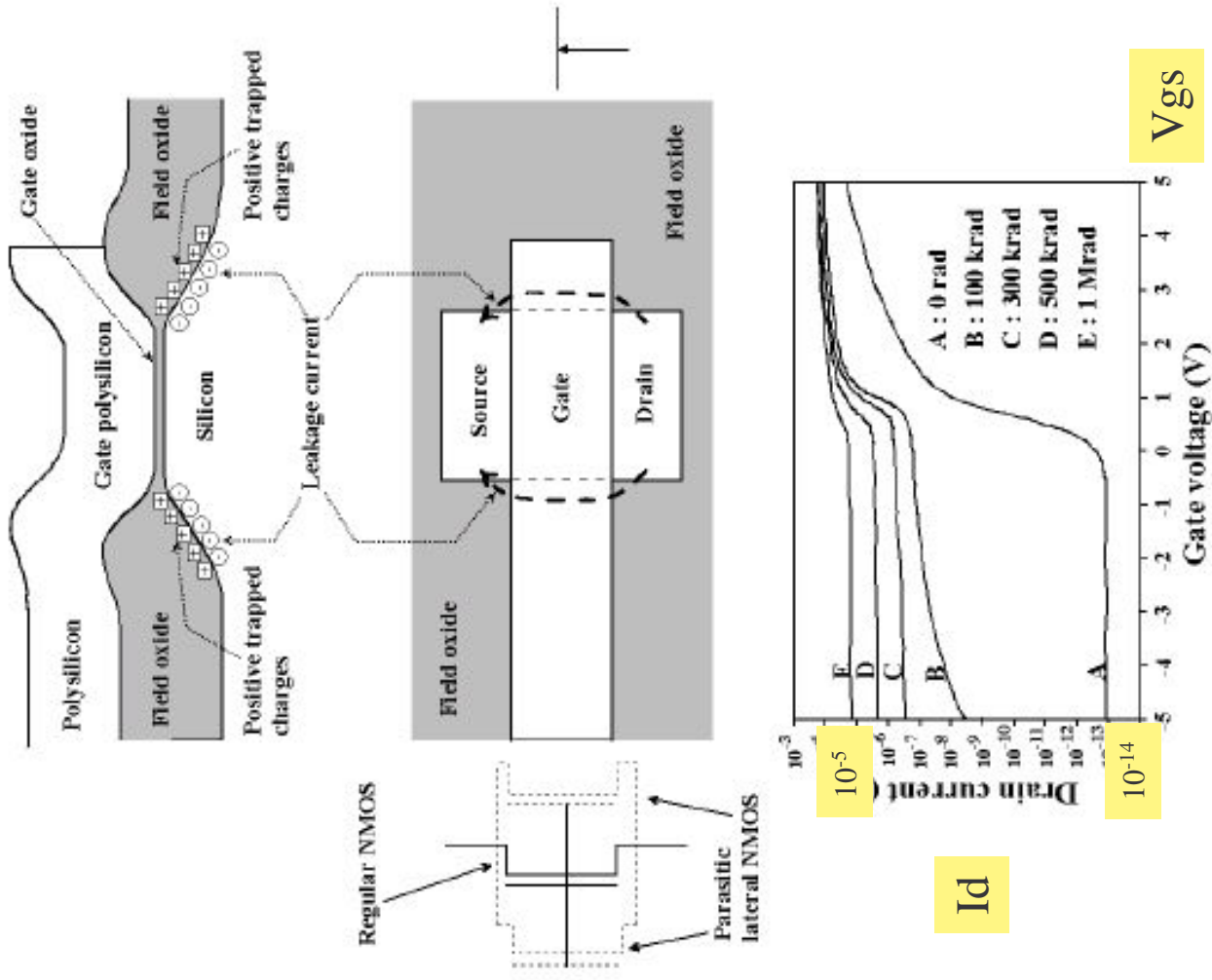
$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \alpha \Delta N_{it}}$$

avec ΔN_{it} = augmentation du nbre d'états d'interfaces et α dépendant de la techno

- La transconductance, qui est proportionnelle à μ , diminue également

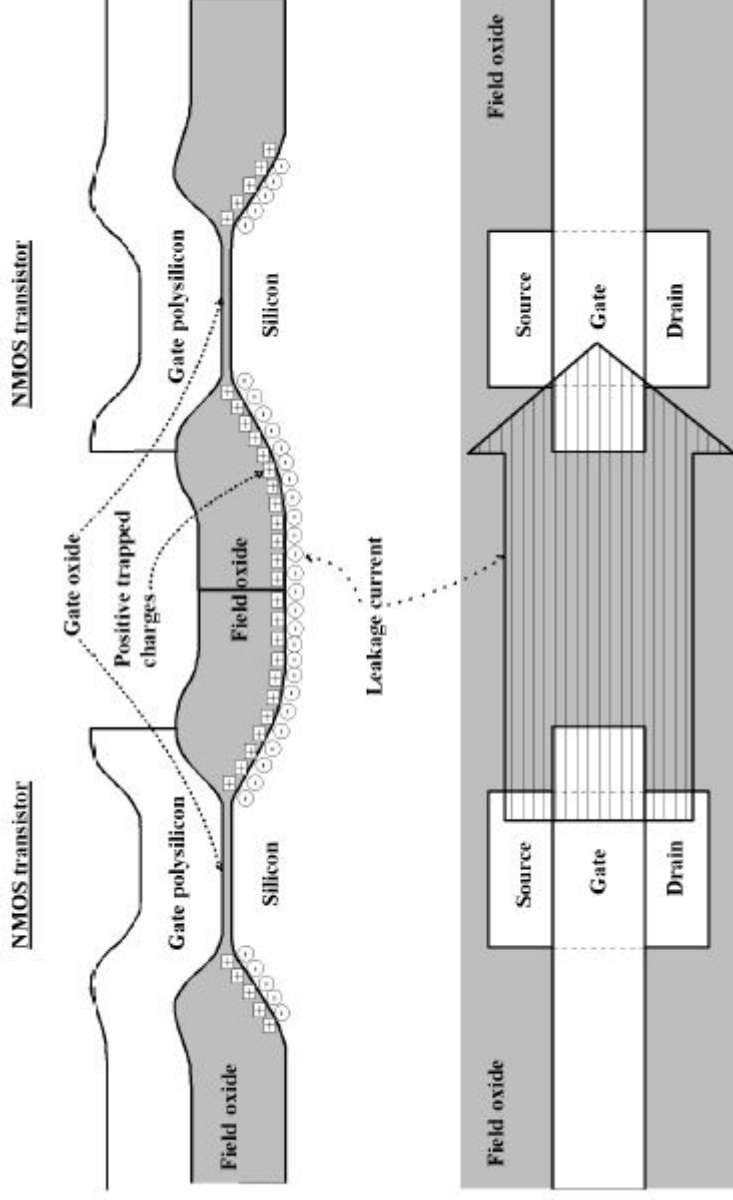
2- TID: I fuite des NMOS

- Leakage $I = I_d$ qd $V_{gs}=0$
- Augmentation des courants de fuite des NMOS
 - Oxydes latéraux bcp plus épais que oxydes de grille, et donc peuvent piéger bcp de trous
 - Activation d'une structure latérale parasite dans la zone de transition entre l'oxyde mince de grille et l'oxyde de champ épais (bird's beak)



2- TID: I fuite entre NMOS

■ Génération de courants parasites entre NMOS



2- RECAPITULATIF: TID sur MOS

- **Changement de V_{th} :**
 - Dépendant de la température, du débit de dose, épaisseur oxyde
 - Nécessité de faire les tests avec le circuit polarisé
 - Annealing
- **Dégradation de la transconductance (et donc du bruit)**
- **Courant de fuite (leakage) entre le drain et la source**
- **Courant de fuite entre MOS situés dans un même caisson**

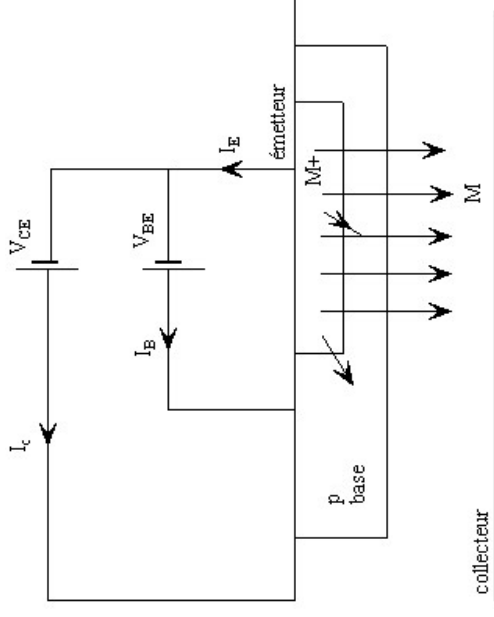
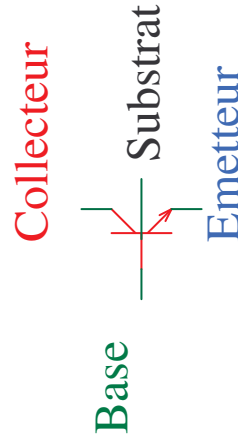
2- Transistors Bipolaires:

■ Principe:

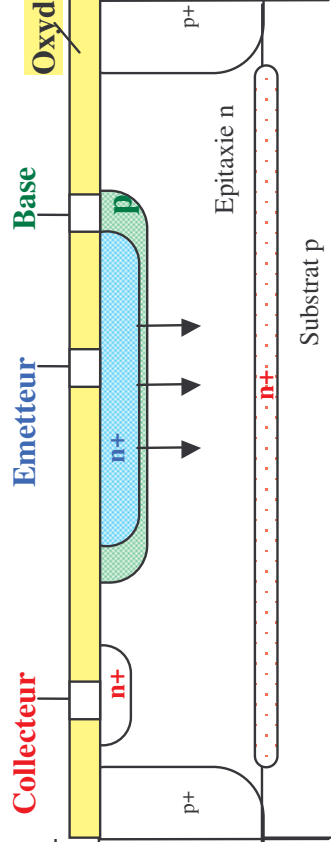
- Le courant de bias de la junction base emetteur injecte des porteurs qui sont capturés par le collecteur compte tenu du grand champ électrique collecteur base.
- Le courant de collecteur I_c est contrôllé par la tension V_{BE}
- On définit la transconductance

$$\bullet g_m = \partial I_c / \partial V_{BE}$$

NPN

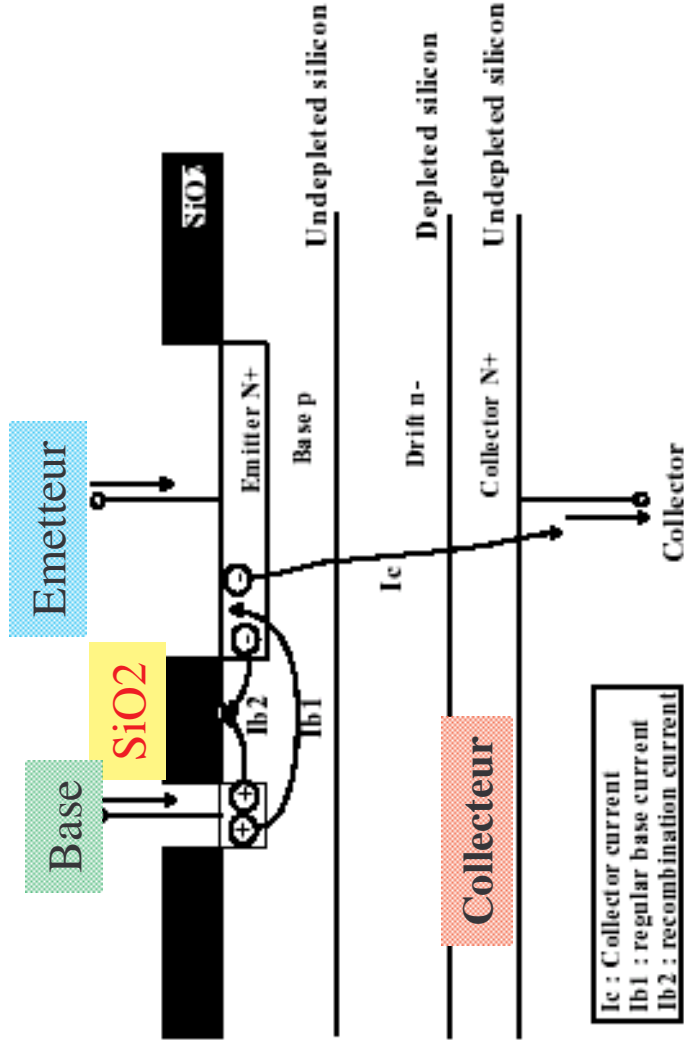


Transistor NPN



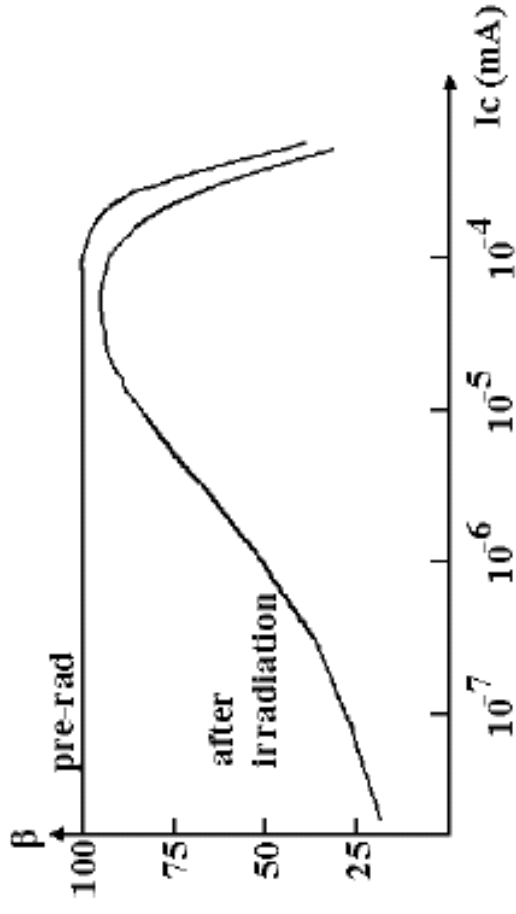
2- TID : Ex du NPN

- **Avant irradiation:**
 - I_{b1} = trous injectés de la base vers l'émetteur et $\beta_0 = I_c / I_{b1}$
- **Après irradiation:**
 - I_{b1} : Trous injectés de la base vers l'émetteur
 - Création d'états d'interface \Rightarrow courant de recombinaison I_{b2} venant d'une fraction d'électrons injectés de l'émetteur vers la base
 - $\Rightarrow \beta = I_c / (I_{b1} + I_{b2}) < \beta_0$



2- TID: β (I_c) NPN

- **Avant irradiation:**
 - $\beta(I_c)$ est à peu près plat
- **Après irradiation.:**
 - Grands I_c : saturation des états d'interface et du courant de recombinaison
 - $\Rightarrow \beta$ diminue lentement qd I_c augmente
 - Petits I_c : Pas de saturation des états d'interface ni du courant de recombinaison
 - $\Rightarrow \beta$ diminue rapidement qd I_c diminue



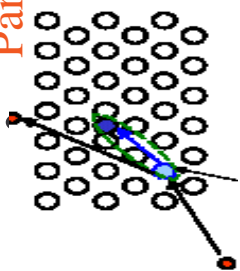
2- TID sur bipolaires: Paramètres aggravants

- Épaisseur d'oxyde sous la région Base Emetteur (effets TID \uparrow avec épaisseur)
- Qualité de l'oxyde (piégeages)
- Dopage Base et Emetteur (effets TID \downarrow qd B et E fortement dopés)
- Courant I_c : dégradation plus importante à petit I_c
- Débit de dose: effets très variables selon les process
- **LES NPNs à grand f_t sont peu sensibles aux TIDs**

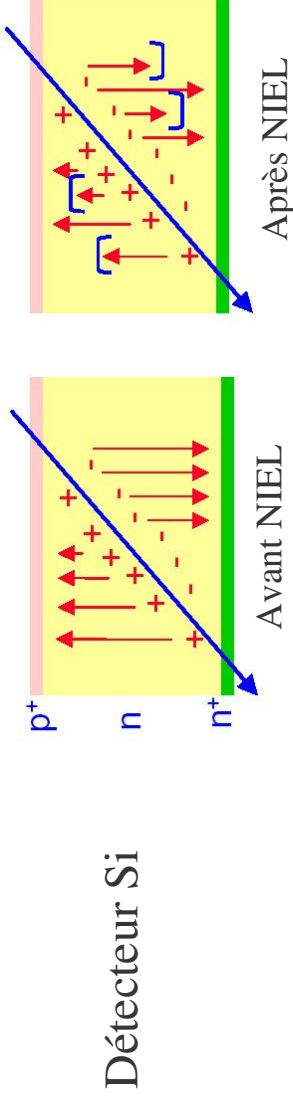
2- TID sur bipolaires: Conditions de tests d'irradiation

- **Polarisation:** dépend bcp du process, donc il vaut mieux polariser
- **Température:** dommages aggravés avec la température
- **Annealing:** dépend du process et de la polarité NPN/PNP:
 - NPN: récupèrent plutôt à haute T
 - PNP: se dégradent à la fois à haute et basse T

3- Effets des NIEL:

- NIEL (Non Ionising Energy Loss) :
 - déplacement atomique provoqué par ion lourd ou neutron
- Particule après interaction
- 
- Particule incidente
- Vacancy atome
 - Atome interstitiel

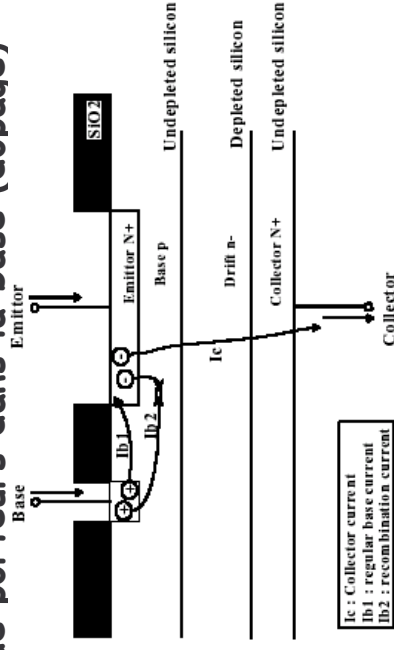
- Les NIELs réduisent le temps de vie des porteurs minoritaires



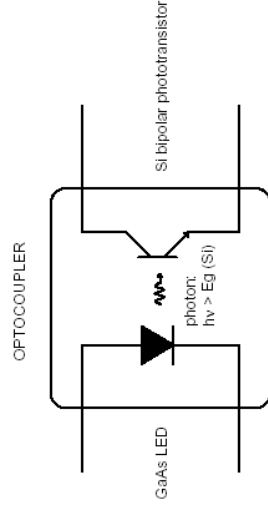
- Les MOS ne sont pas sensibles aux NIEL:
 - Les centres de recombinaison induits par un déplacement atomique ne changent pas la concentration des porteurs (majoritaires) dans le canal

3- COMPOSANTS SENSIBLES aux NIEL

- Les Bipolaires sont sensibles aux NIEL:
 - Dégradation de β
 - Les centres de recombinaison induits par un déplacement atomique changent la concentration de porteurs dans la base (dopage)

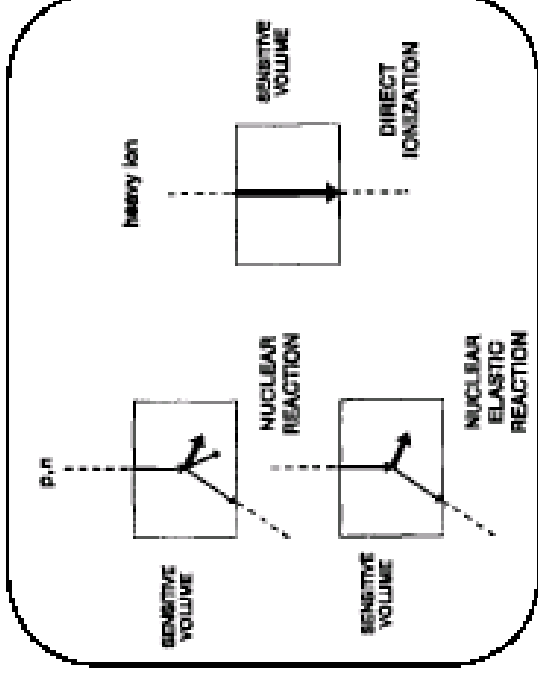


- Photo électronique sensible aux NIEL



4- SEE sur les composants

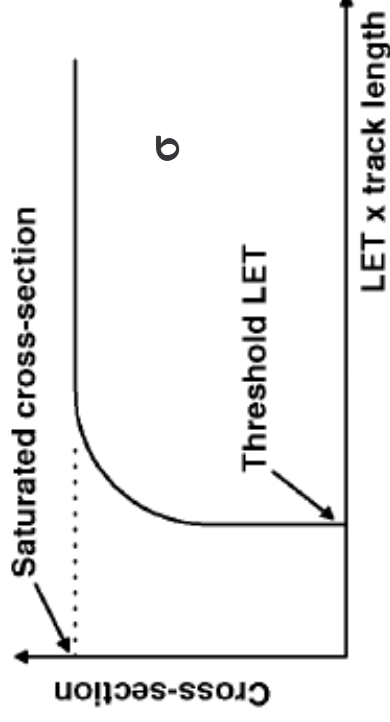
- Contrairement aux TID et NIEL qui sont des effets cumulatifs, les SEE sont induits par 1 seule particule
 - Ions lourds : Espace , grand dE/dx
 - Particules hautes énergies (protons, neutrons): LHC, faible dE/dx mais interaction nucléaire



- SEE = > Défaillances fonctionnelles temporaires ou définitives
 - = > Phénomènes non récurrents qui dépendent de la fluence des ions et du LET (Linear Energy Transfer) du composant

4- Linear Energy Transfer (LET):

- **Courbe σ vs LET: donne la sensibilité d'un composant aux SEEs :**
 - LET: Energie moyenne ΔE_t par unité de longueur de trace Δx normalisée à la densité ρ du matériel: **$LET = \Delta E_t / (\rho \cdot \Delta x)$**
 - Irradiation du composant avec un faisceau de protons ou ions lourds
 - Section efficace: **$\sigma = \text{NbSEEs} / \text{unités de fluence}$**



Seules les particules avec un $LET > LET$ seuil peuvent provoquer des SEEs

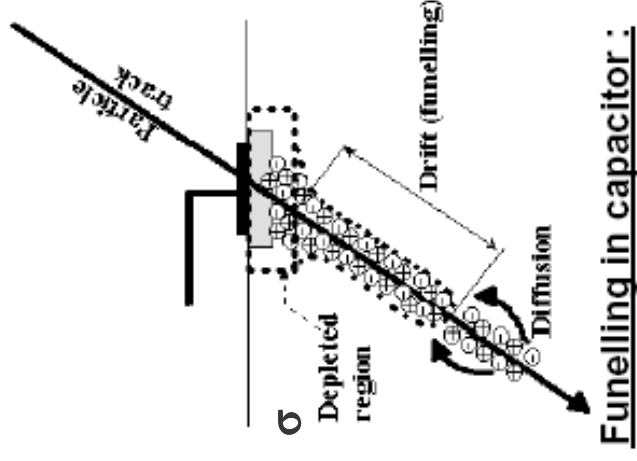
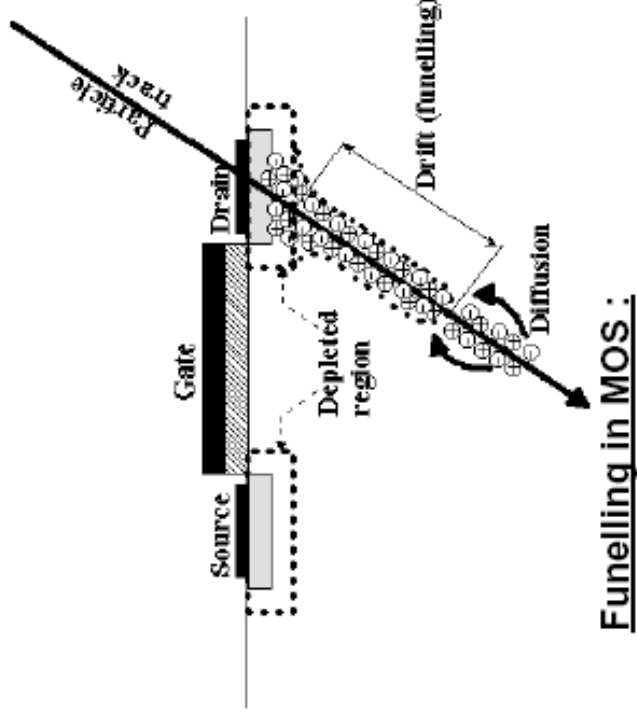
4- PRINCIPAUX SEEs

- Pour les circuits CMOS, les 3 SEEs les plus importants sont:
 - **SEU: Single Event Upset = aléa logique**
 - **SEL: Single Event Latch Up = verrouillage maintenu**
 - **SEGR: Single Event Gate Rupture = claquage de grille**

4- SEU:

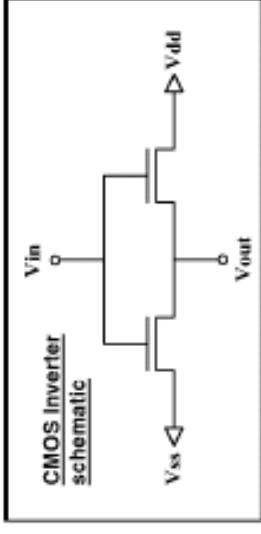
■ SEU= Single Event Upset

- effet réversible qui consiste en la modification soudaine de l'état logique d'un point mémoire: charges générées le long de la trace d'un ion lourd, sont collectées sur un des noeuds sensibles de la cellule mémoire et provoquent le basculement de l'état logique

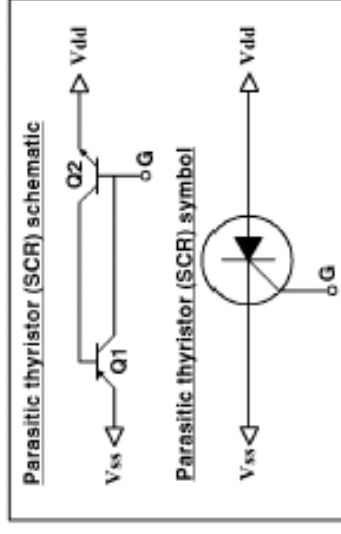
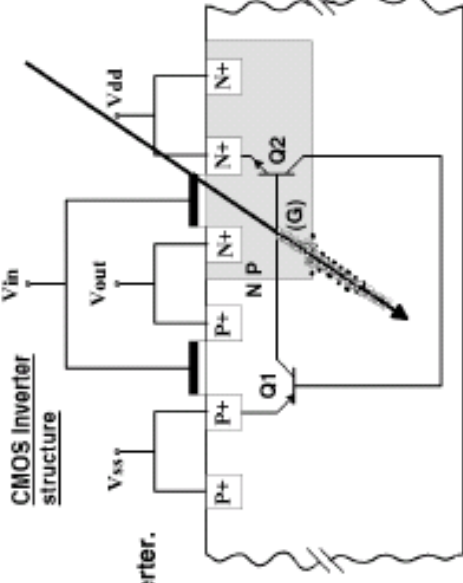


4- SEL

- **SEL (Single Event Latch up):** activation par le passage d'un ion lourd d'un thyristor parasite. Le dommage peut être permanent ou temporaire (éliminé avec ON/OFF alim)



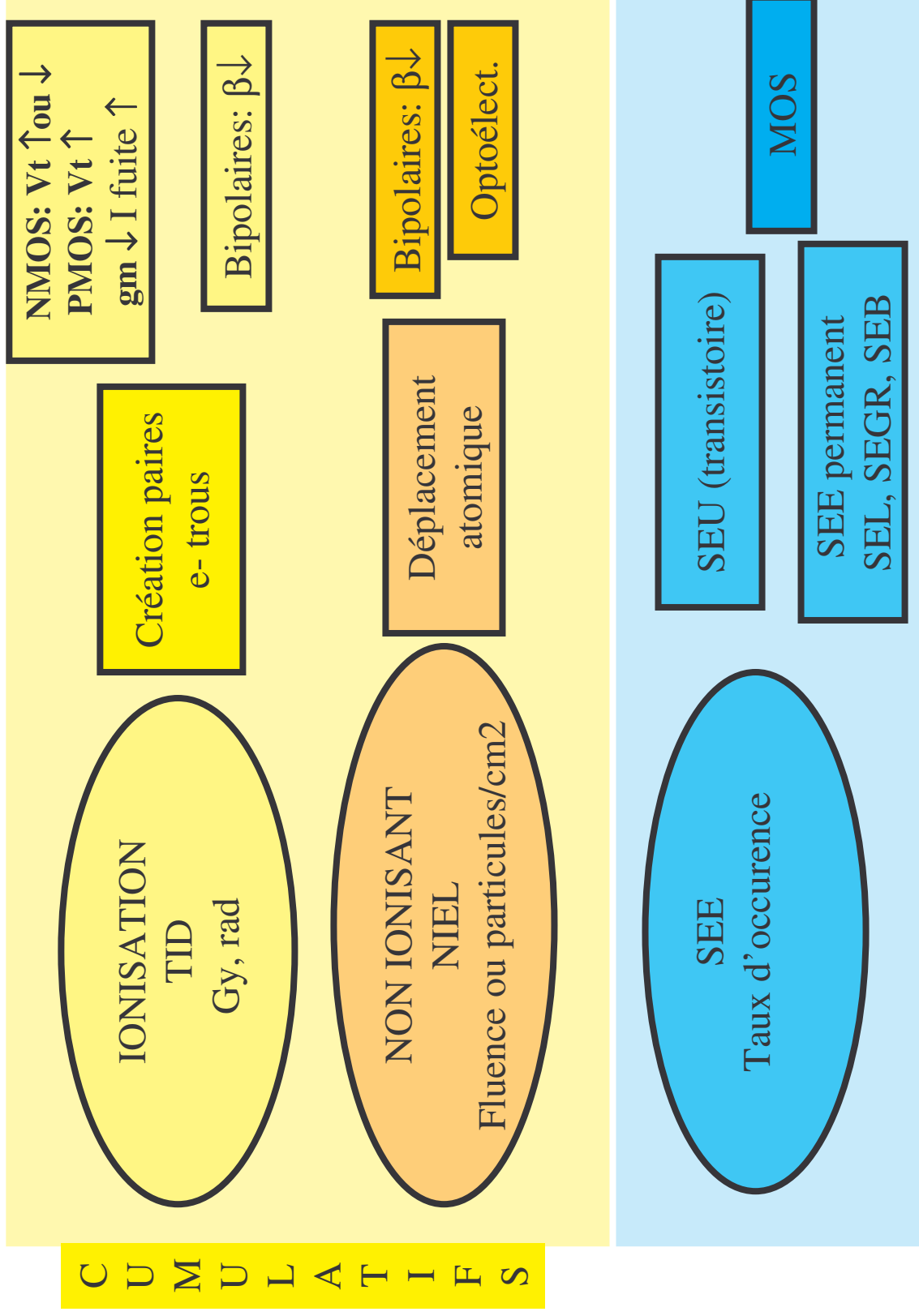
SEL: A highly ionizing particle trigger the parasitic thyristor contained in a bulk CMOS inverter. => Vdd-to-Vss short circuit. Destructive mechanism if no current limitation. Possible recovery by bias switch-off if the circuit is protected by a current limiter.



4- SEGR et SEB sur les MOS

- **SEGR:** Destruction de l'oxyde de grille du MOS. Possible dans les cas où il y a un champ électrique suffisant, comme lors des opérations d'écriture des mémoires EEPROM ou dans les MOS de puissance.
- **SEB:** Single Event Burnout. Destruction d'un transistor de puissance du à un état conducteur à fort courant induit par une particule fortement ionisante.

RESUME DES EFFETS SUR COMPOSANTS



5- CONSEQUENCES DES IRRADIATIONS SUR LES FONCTIONALITES DES CIRCUITS (1)

■ CIRCUITS NUMERIKES EN CMOS:

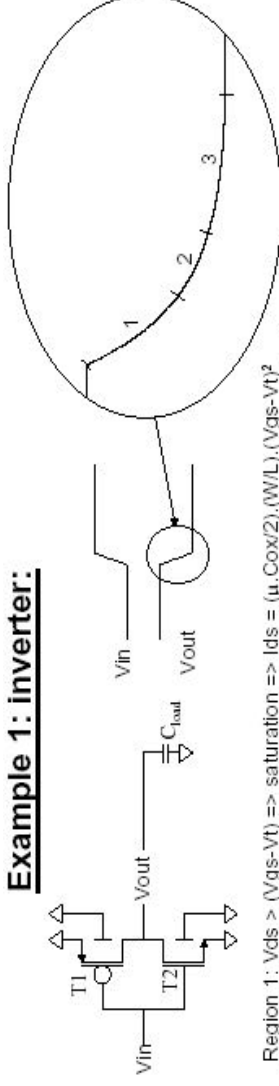
- Dégradation de la rapidité (dérive du V_{th} , dégradation de la mobilité)

- Ron augmente

- Consommation avant et après irradiation peut changer de façon peu prévisible

- Les SEEs sont problématiques

Example 1: inverter:



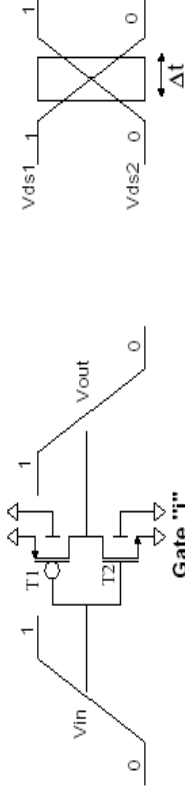
Region 1: $V_{ds} > (V_{gs} - V_t) \Rightarrow$ saturation $\Rightarrow I_{ds} = (\mu \cdot C_{ox}/2) \cdot (W/L) \cdot (V_{gs} - V_t)^2$
 $\Rightarrow I_{ds} \sim \mu(\text{dose})$ and $V_t(\text{dose})$: the rate of discharge decreases when the dose increases.

Region 2: $V_{ds} < (V_{gs} - V_t) \Rightarrow$ no saturation $\Rightarrow I_{ds} = (\mu \cdot C_{ox}) \cdot (W/L) \cdot [(V_{gs} - V_t)V_{ds} - V_{ds}^2/2]$
 $\Rightarrow I_{ds} \sim \mu(\text{dose})$ and $V_t(\text{dose})$: the rate of discharge decreases when the dose increases.

Region 3: $V_{ds} \approx 0 \ll V_{ds}(V_{gs} - V_t) \Rightarrow I_{ds} = (\mu \cdot C_{ox}) \cdot (W/L) \cdot [(V_{gs} - V_t)V_{ds}]$
 $\delta I_{ds}/\delta V_{ds} = (\mu \cdot C_{ox}) \cdot (W/L) \cdot (V_{gs} - V_t) = 1/R_{on}$
 The channel behaves as a resistor whose value increases with the dose.
 $\Rightarrow I_{ds} \sim 1/R_{on}(\text{dose})$: the rate of discharge decreases when the dose increases.

\Rightarrow The dose slows down the rising and falling edges.
 This phenomenon is aggravated by the choice of a small V_{dd} .

Dose \Rightarrow the switching speed decreases; the static and the dynamic consumption increase:



In the middle of switching, T1 and T2 are simultaneously conducting \Rightarrow dynamic consumption.

Gate (i-1): The dose slows down the rising and falling edges V_{in} applied by gate (i-1) on gate (i).

Gate (i): the duration (Δt) of simultaneous conduction increases \Rightarrow the dynamic consumption increases (Δt is also modified by ΔV_t because the PMOS switching is delayed and the NMOS switching is modified). Also, the dose reduces the current I_{ds} flowing in the MOS \Rightarrow the dynamic consumption decreases.

The results of these various mechanisms are generally an increase in the dynamic consumption and a decrease in the switching speed.

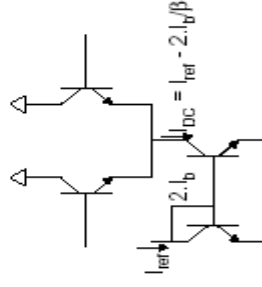
The increase in the dynamic consumption is generally masked by an increase in the static consumption induced by I_{INTER} et I_{NTRA} (except in the case of radiation hard technologies).

[Martin Dentan: Ecole d'électronique analogique]
 Octobre 1999

5- CONSÉQUENCES DES IRRADIATIONS SUR LES FONCTIONALITÉS DES CIRCUITS (2)

■ Amplificateurs bipolaires

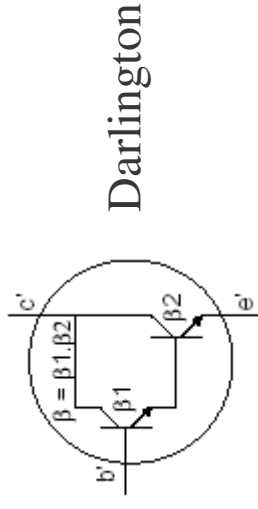
- Dose $\uparrow \Rightarrow \beta \downarrow \Rightarrow \Delta$ (DC bias) \Rightarrow stabilisation \downarrow
 $\Rightarrow R_{in} \downarrow \Rightarrow$ gain $\downarrow \Rightarrow$ stabilisation \downarrow
 $\Rightarrow BW \downarrow$
- Dose $\uparrow \Rightarrow \beta \downarrow \Rightarrow I_{DC} \uparrow$



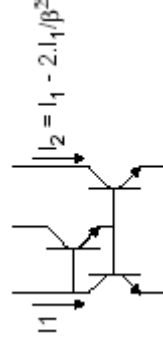
[Martin Dentan: Ecole d'électronique analogique
 Octobre 1999

■ Remèdes:

- Utiliser un darlington en entrée pour $\uparrow \beta$ et ainsi R_{in}
- Stabiliser la charge:



Darlington



6- SOLUTIONS AUX SEES

- **CIRCUITS NUMERIQUES EN CMOS:**
 - SEU essentiellement
 - Augmenter Vdd
 - Préférer la logique statique à la logique dynamique
 - Précaution de design
 - Redondance
 - Technologie durcie
- **CIRCUITS ANALOGIQUES**
 - SEL essentiellement
 - Compenser les effets par le design
 - Techno durcie

6- Ex de technologie durcie: DMILL

■ Technologie durcie BiCMOS 0.8 μm SOI

- Oxyde de grille durci
- Tranchées d'isolation
- Anti-latchup
- SEU limité
- Garantie 10 Mrad et 10^{14}N

■ Développée au LETI

- Véhicules tests conjoints avec l'in2p3, le DAPNIA et la DAM

■ Transférée à l'industrie 1998

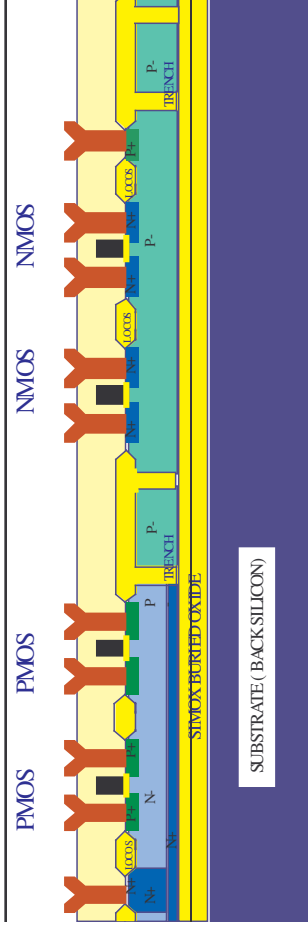
- Matra MHS puis Atmel

■ Choisie par plusieurs expériences LHC

- ATLAS pixels, SCT, LArG
- CMS

■ Des problèmes de yield récurrents...

■ Fermeture de la ligne en 2003



Coupe du BiCMOS DMILL

BATCH	DATE	YIELD
V 1.1	6 / 98	90 %
V 1.2	8 / 98	80 %
V 2 w12	8 / 99	50 %
V2 w4	8 / 99	84 %
V 3.1	10 / 99	10 %
V 3.2	7 / 00	65 %
V 4.1	3 / 01	60 %

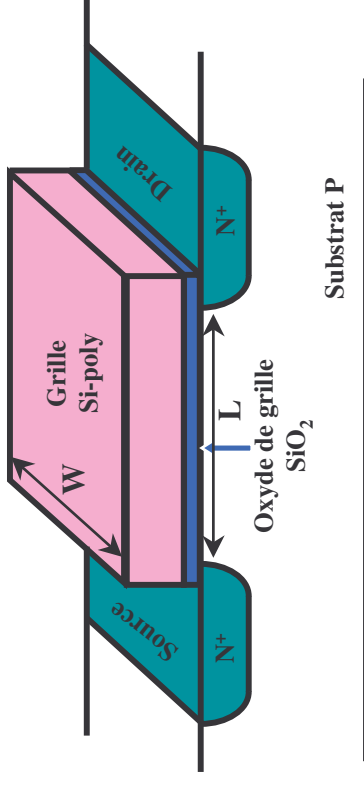
Yield du SCA ATLAS DMILL

6- CMOS scaling et techno sub micronique

- **Loi de Moore :**
 - Densité doublée tous les 2 ans
 - Réduction des longueurs de grille
 - Augmentation de la vitesse
 - Réduction des tensions d'alimentation

- **Réduction des longueurs de grille**
 - Déplacement de la tension de seuil sous TID diminue très rapidement avec le scaling
 - Techno 0.25 μm , épaisseur d'oxyde 5 nm: 30 Mrad entraîne chgt de V_{th} de qqs dizaines de mV.
 - Diminution du SEL

- **Scaling:** TB pour le numérique, design + difficile pour analogique (V_{dd} petit)



Grandeur	Effet
Epaisseur d'oxyde	Augmentation de la vitesse Augmentation de C_{ox} Augmentation de la transconductance
Longueur de canal	Réduction des éléments parasites
Profondeur de jonction Extension source/drain	
La réduction de toutes les dimensions entraîne une augmentation de la densité d'intégration	

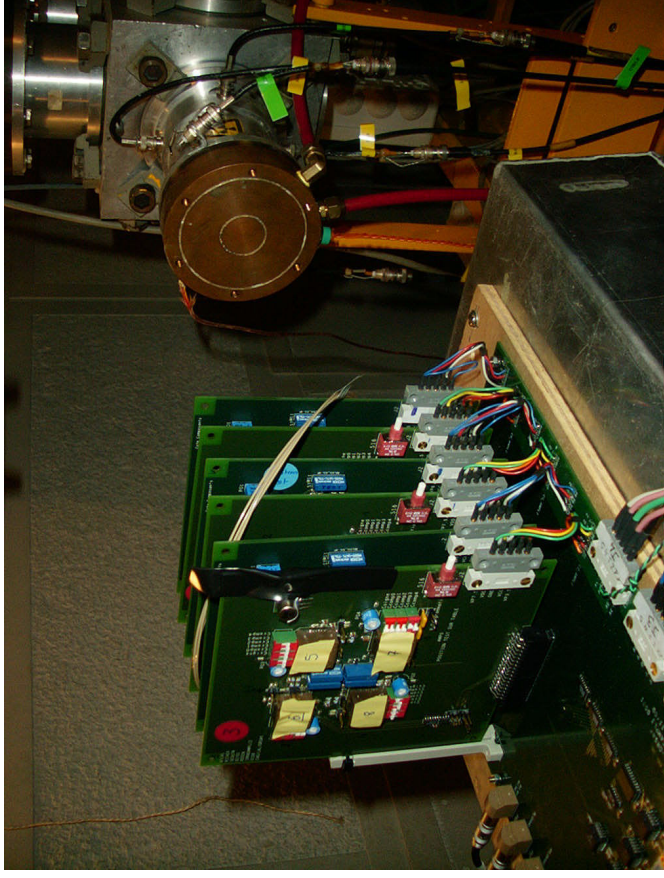
7- Procédures de tests

- HEP: Politique de radiation qui impose de tester aux radiations l'ensemble des composants utilisés sur les cartes d'électronique, que ce soit des COTs ou des composants en techno durcie.
 - Les doses de test sont bien supérieures à celles attendues car on applique des facteurs de sécurité (Safety Factors: SF)
 - Exemple:
 - $TID = 50 * 3.5 \text{ (simul)} * 1.5 \text{ (ldr)} * 2 \text{ (lot)} = 525 \text{ Gy}/10\text{yr}$
 - **(3.5 kGy for COTS)**
 - $NIEL = 1.6 * 10^{12} * 5 \text{ (simul)} * 1 \text{ (ldr)} * 2 \text{ (lot)} = 1.6 * 10^{13} \text{ N}/\text{cm}^2/10\text{yr}$
 - **(3.2 10^{13} for COTS)**
 - $SEE = 7.7 * 10^{11} * 5 \text{ (simul)} * 1 \text{ (ldr)} * 2 \text{ (lot)} = 7.7 * 10^{12} \text{ hadron}/\text{cm}^2/10\text{yr}$
 - Nbre de composants à irradier: **10 (DMILL ou COTS)**
 - Sites d'irradiations:
 - Neutrons (NIEL): CERI à Orléans
 - Gammas (TID): Source Co⁶⁰ à Saclay (gammas 1 MeV)
 - SEE: Louvain La Neuve

7- Banc de test : Procédures de tests

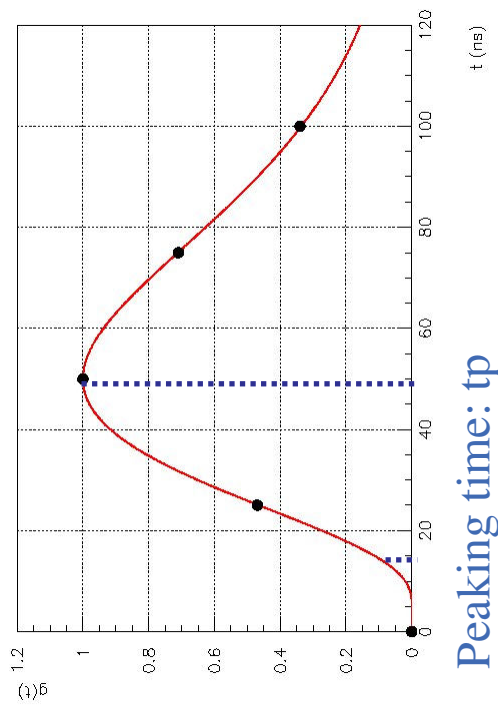
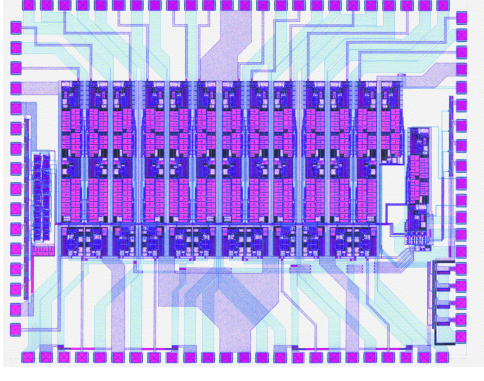
- Cartes de test spécifiques pour irradier les composants
- **TID**: Il est indispensable d'alimenter les circuits. Mesurer avant et en cours d'irrad car annealing possible
- **NIEL**: pas obligatoire d'alimenter, mais il est pratique de suivre l'évolution d'un circuit au cours d'irrad.
- **SEE**: 4 circuits, faisceau hadron (60 MeV, avec une fluence suffisante pour avoir de la statistique). Circuits doivent être alimentés et le monitoring est obligatoire pendant l'irradiation

Tests aux neutrons
au CERI à Orléans



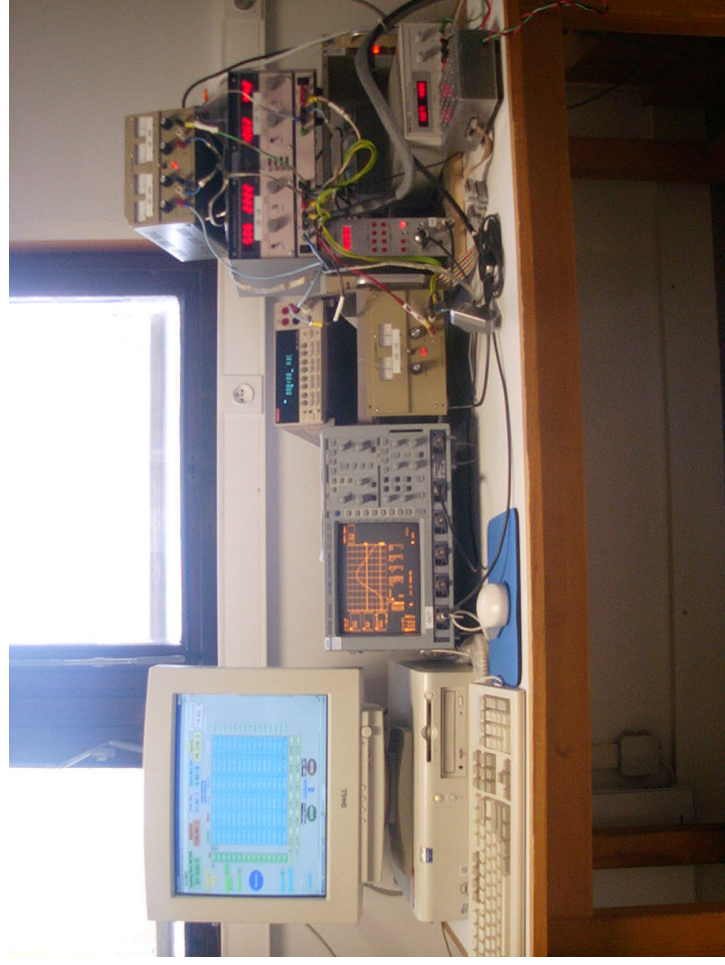
7- Ex. de tests aux irradiations du SHAPER ATLAS

- Shaper: Filtre avec 3 gains de mise en forme des signaux issus du calorimètre Argon Liquide d'ATLAS. ASIC contient 4 shapers trigain en technologie BiCMOS 1.2 μm de AMS. Design pour diminuer sensibilité aux radiations
- Banc de test irradiations [10 shapers irradiés].
- Neutrons [CERI Orléans] :
 - 14 heures [0.1C/h - 6MeV]
 - de $1.8 \cdot 10^{14} \text{ N/cm}^2$ to $4.5 \cdot 10^{13} \text{ N/cm}^2$.
- Gammas [Cobalt 60 / PAGURE - CEA Saclay] :
 - 20 heures [10 Krad/h].



7- BANC de TEST pour irradiation de 10 shapers

[J.P. RICHER, CERN – Larg Meeting 25/04/01]



7- BANC de TEST IRRADIATIONS SHAPERS

[J.P. RICHER, CERN – Larg Meeting 25/04/01]



14-21 mars 2004

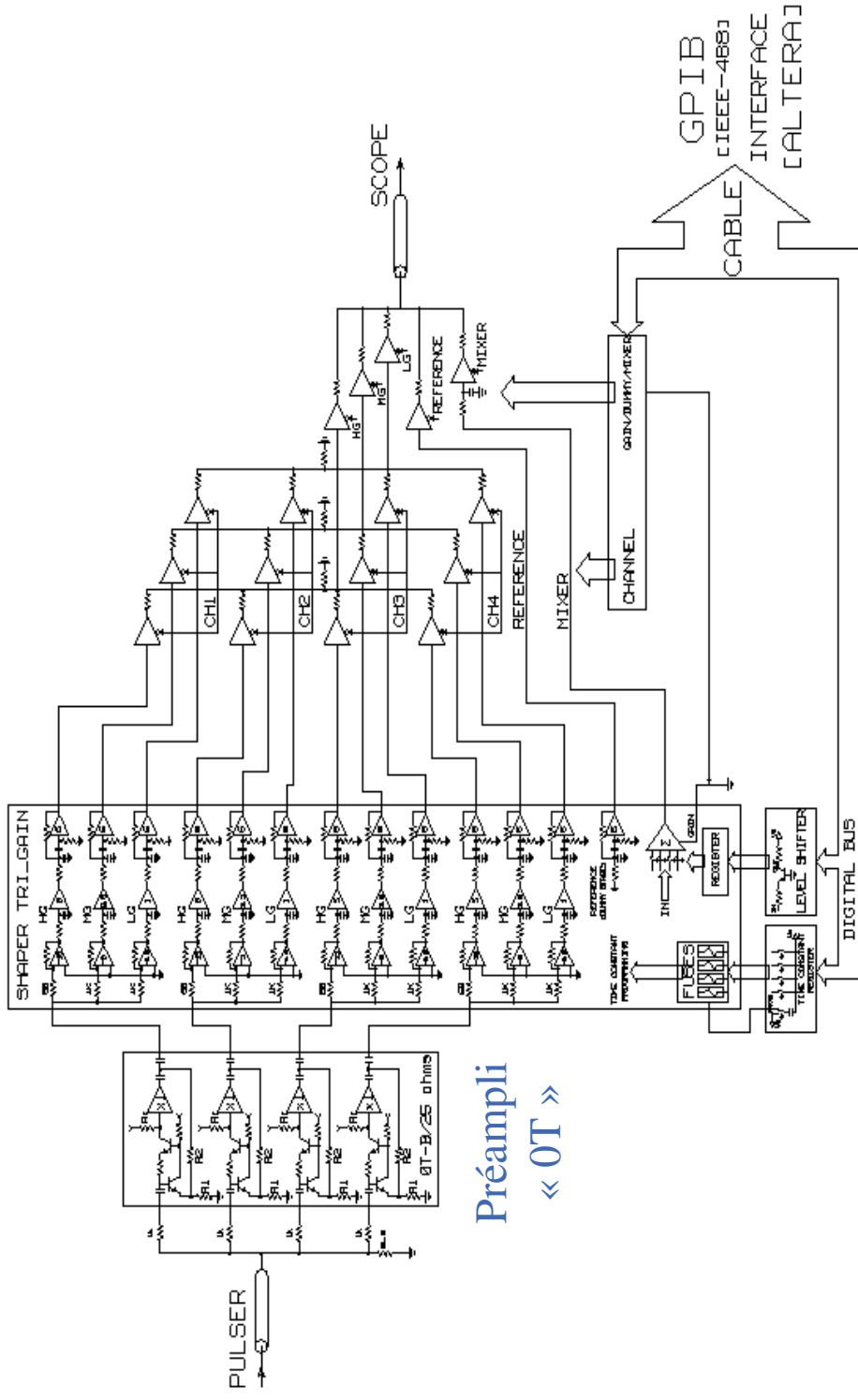
N. Seguin-Moreau Effets des radiations sur les composants Cargèse

47

7- SCHEMA CARTE DE TEST

SHAPER TRI-GAIN

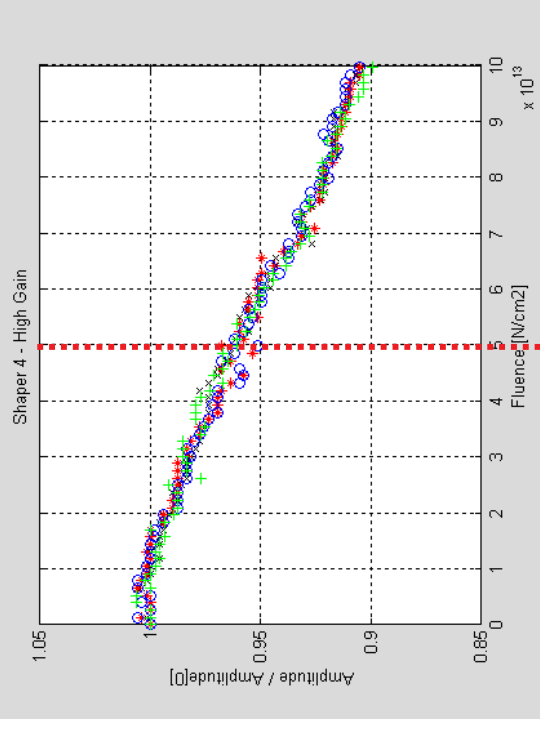
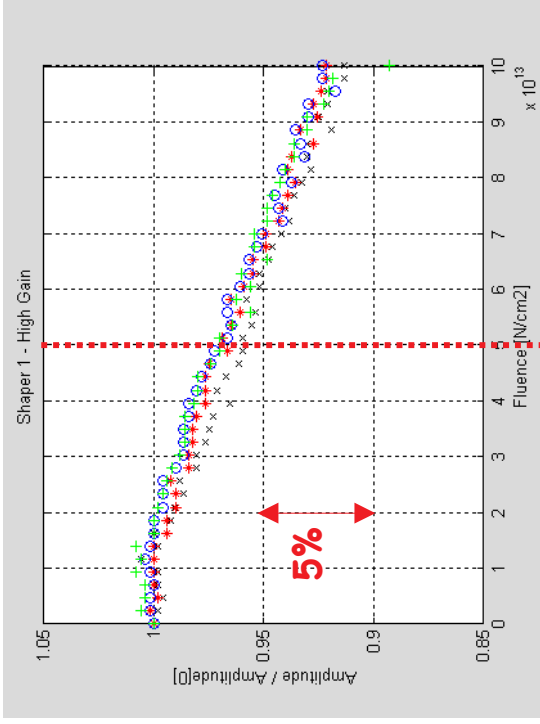
[J.P. RICHER, CERN – Larg Meeting 25/04/01]



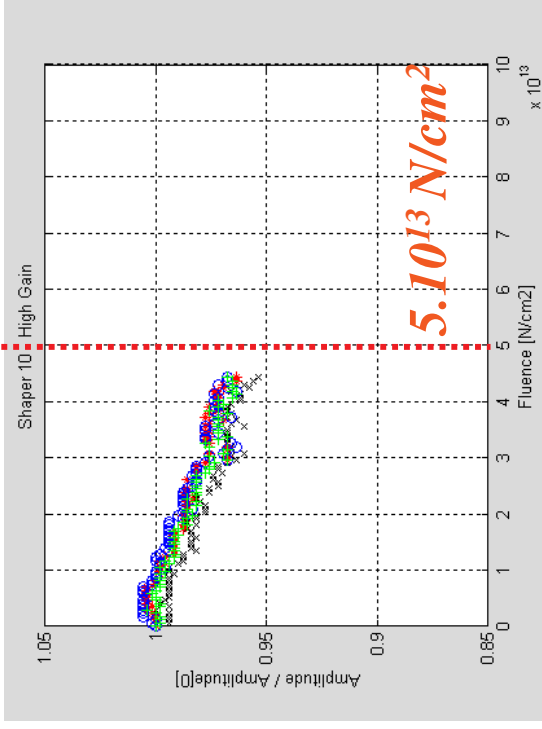
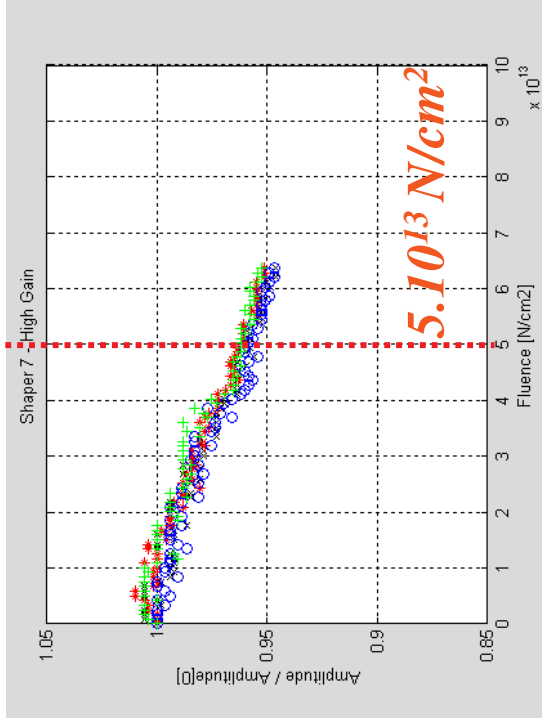
Préampli
« 0T »

7- IRRADIATIONS NEUTRONS: GAIN

[J.P. RICHER, CERN – Larg Meeting 25/04/01]

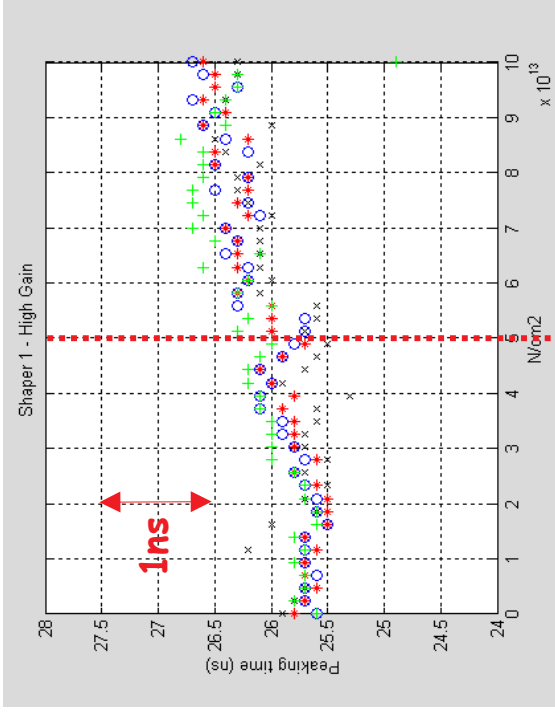


High Gain

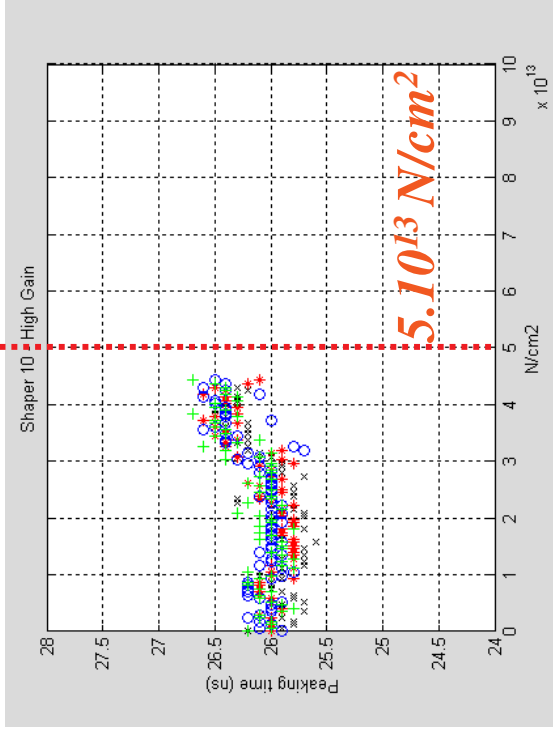
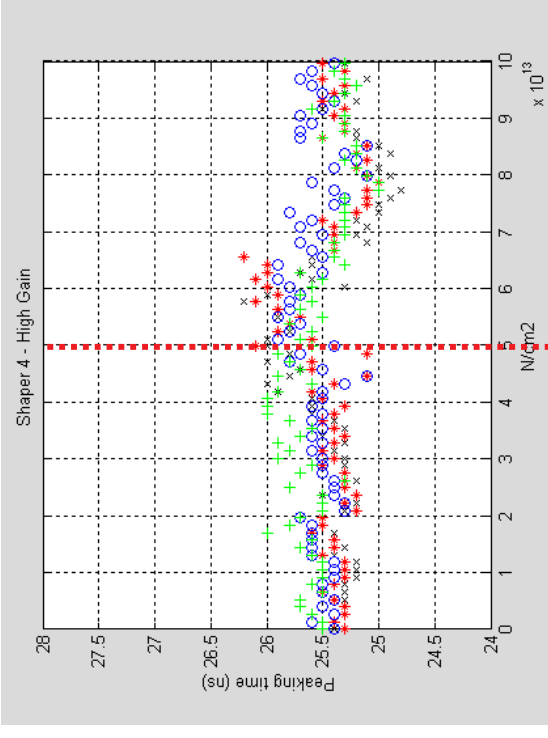


7- IRRADIATIONS NEUTRONS: Peaking time

[J.P. RICHER, CERN – Larg Meeting 25/04/01]



High Gain

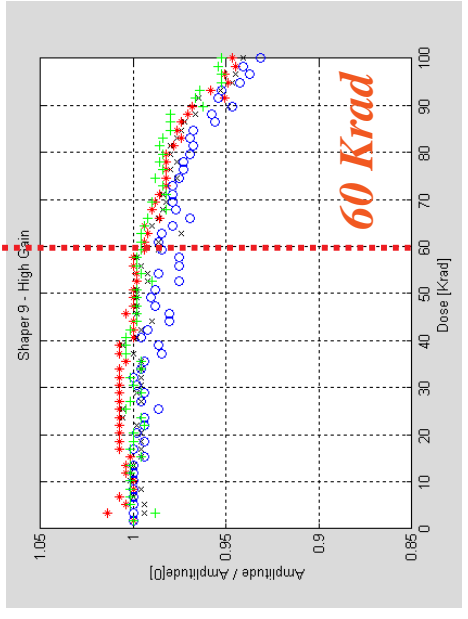
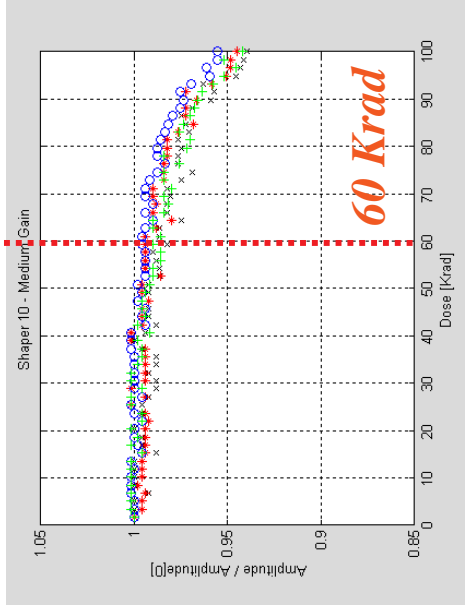
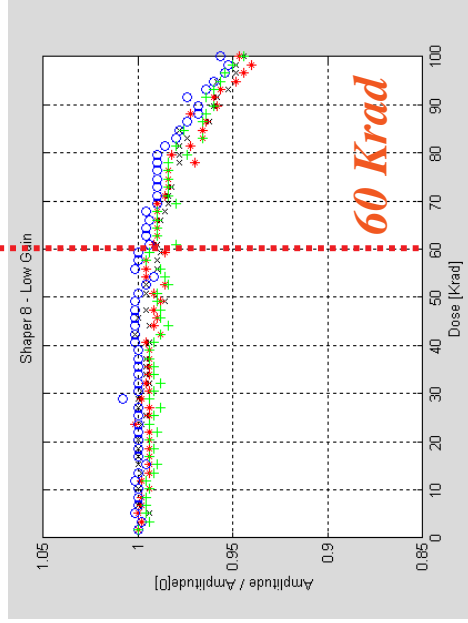
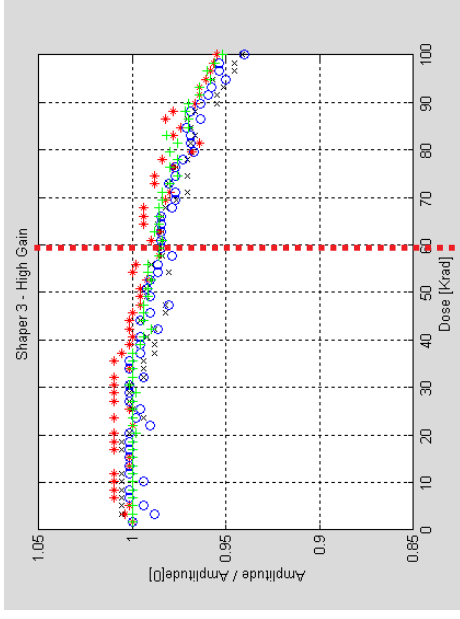
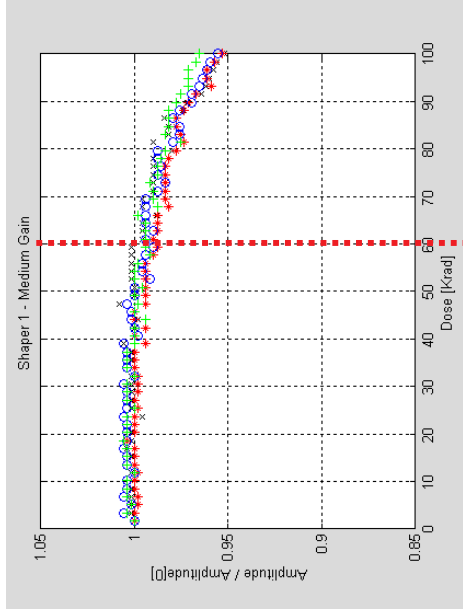
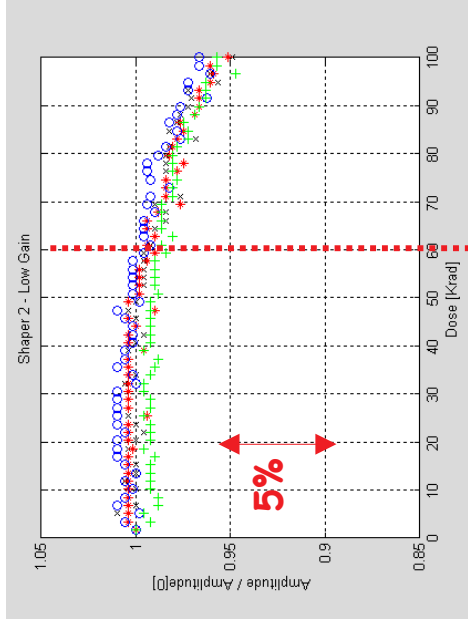


7- IRRADIATIONS NEUTRONS: Conclusions

- Shaper 1 [$1.8 \cdot 10^{14} \text{ N/cm}^2$] :
 - High Gain decreased by 15% on the four channels.
 - With new OT (non-irradiated) the High Gain increased by 10%.
- Shaper 8 [$5.5 \cdot 10^{13} \text{ N/cm}^2$] :
 - High Gain decreased by 5% on the four channels.
 - With new OT (non-irradiated) the High Gain increased by 3%.
- Gains : maximum decrease < 3% limited to the shaper contribution [Fluence < $5 \cdot 10^{13} \text{ N/cm}^2$].
- Peaking time : stable within $\pm 0.5\text{ns}$ [Fluence < $5 \cdot 10^{13} \text{ N/cm}^2$].
- Internal register (mixer inputs selections) fully working on the 10 shapers.

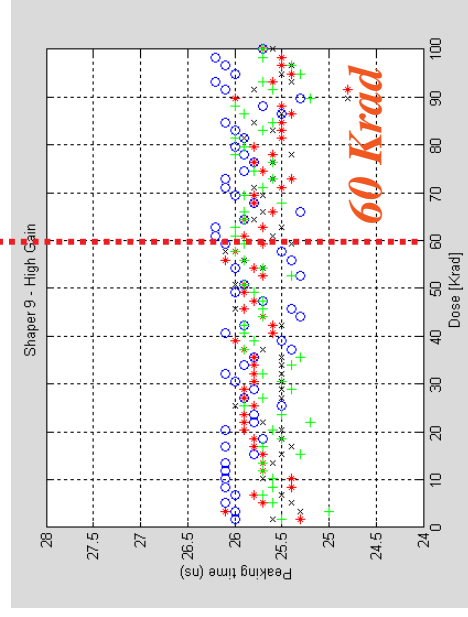
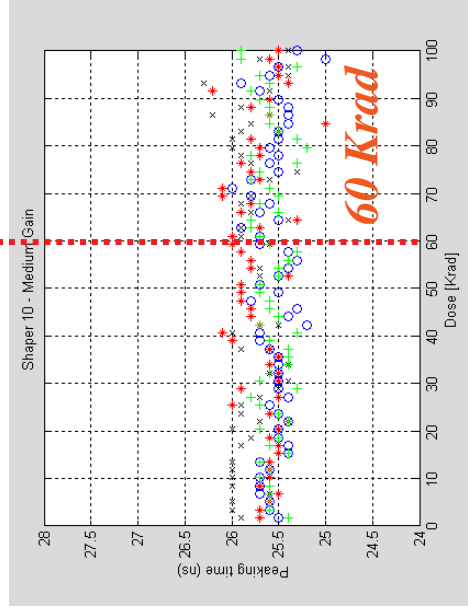
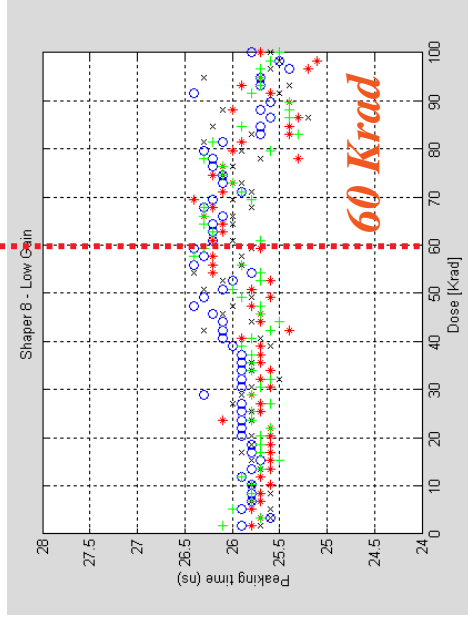
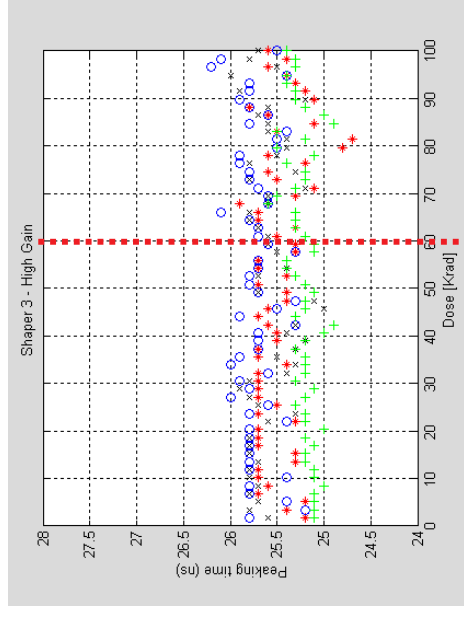
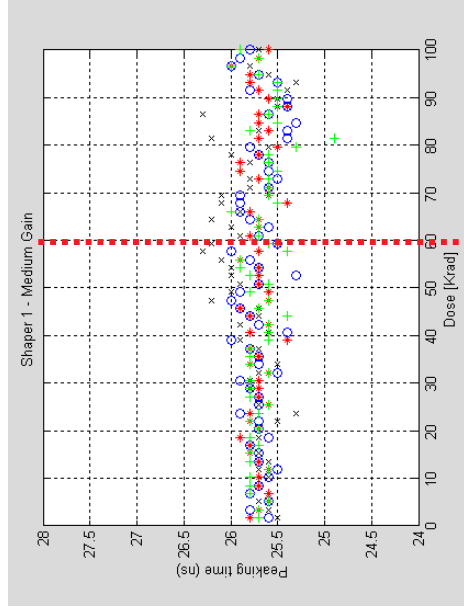
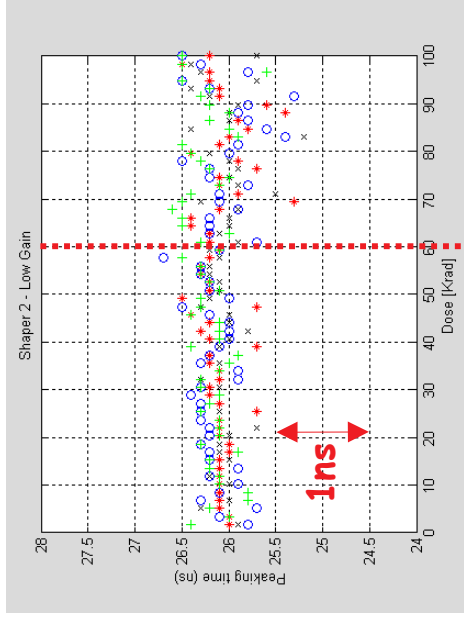
7- IRRADIATIONS GAMMAS: GAINS

[J.P. RICHER, CERN – Larg Meeting 25/04/01]



7- IRRADIATIONS GAMMAS: Peaking Time

[J.P. RICHER, CERN – Larg Meeting 25/04/01]



7- IRRADIATIONS GAMMAS: Conclusions

[J.P. RICHER, CERN – Larg Meeting 25/04/01]

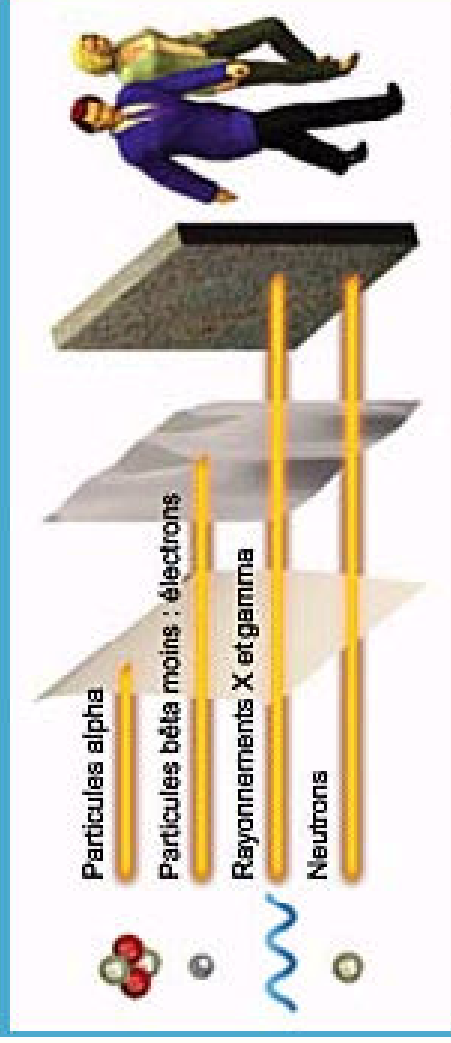
- Dose > 60 Krad → all the gains decrease linearly.
- Power consumption of the ancillary logic [Fast-TTL] increases strongly [x2 for 200 Krad] → power supply overloaded → non-linearity on the test boards [dynamic range of the analog mux. reduced].
- After changing logic circuits all the shapers parameters [Gains and tp] are **within the required limits**.

8- Effets des radiations sur l'homme (1)

[www.cea.fr]

POUVOIR DE PÉNÉTRATION DES RAYONNEMENTS IONISANTS

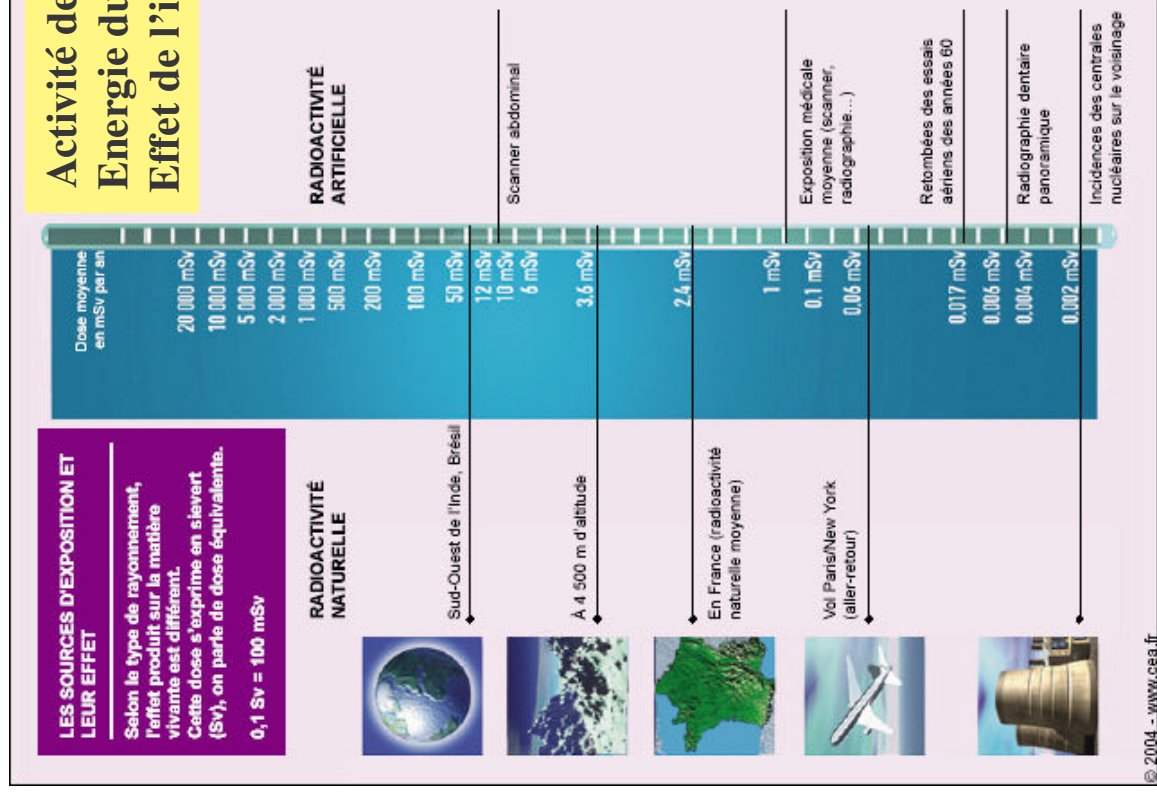
- Particules alpha. Pénétration très faible dans l'air. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter les noyaux d'hélium.
- Particules bêta moins : électrons. Pénétration faible. Parcourent quelques mètres dans l'air.
Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut arrêter les électrons.
- Rayonnements X et gamma. Pénétration très grande, fonction de l'énergie du rayonnement : plusieurs centaines de mètres dans l'air. Une forte épaisseur de béton ou de plomb permet de s'en protéger.
- Neutrons. Pénétration dépendante de leur énergie. Une forte épaisseur de béton, d'eau ou de paraffine arrête les neutrons.



© Yuvanoë

8- Effets des radiations sur l'homme (2)

[www.cea.fr]



Activité de la source: Nbre de désintégration/s en **Becquerel**
Energie du rayonnement reçue: Dose absorbée en **Gray**
Effet de l'irradiation reçue: Equivalent de dose absorbée en **Sievert**

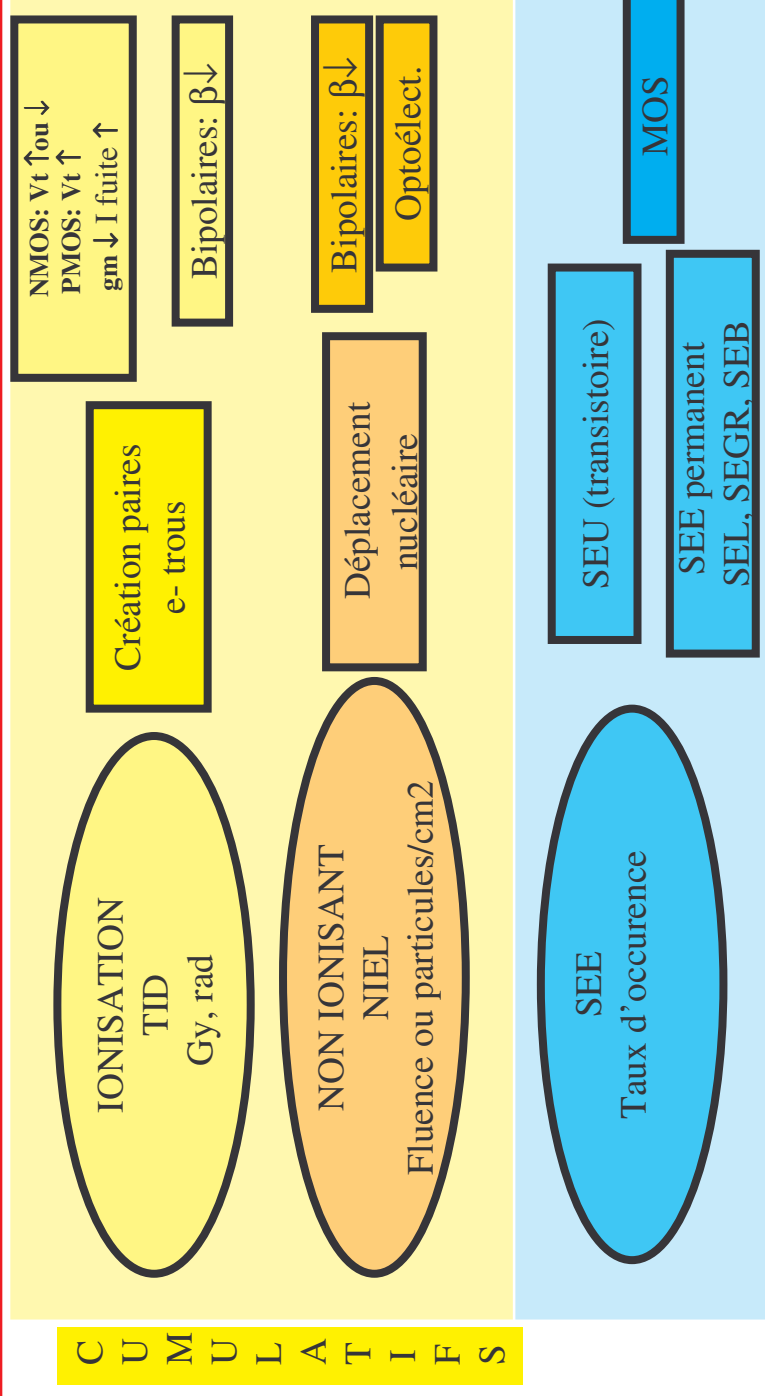
Valeurs limites de dose

pour les personnes exposées aux rayonnements dans l'exercice de leur profession

- **Dose effective:** 20 mSv par année (irradiation externe et incorporation).
- **Dose effective:** 5 mSv par année pour les personnes âgées de **16 à 18 ans**.
- **Cristallin:** dose équivalente **150 mSv** par année.
- **Peau, mains et pieds:** dose équivalente **500 mSv** par année.
- **Femmes enceintes:** depuis le moment où la grossesse est connue jusqu'à son terme: dose équivalente à la surface de l'abdomen **2 mSv**, et dose effective résultant d'une incorporation **1 mSv**.
- **Les femmes qui allaitent:** elles ne doivent pas accomplir de travaux avec des substances radioactives qui présentent un danger d'incorporation ou de contamination.

Irradiation	Examens	Dose Effective
très faible	dent, main, coude, pied, genou	env. 0.01 mSv (0.003 - 0.03)
faible	crane, poumon, hanche	env. 0.1 mSv (0.03 - 0.3)
moyenne	bassin, abdomen, colonne vertébrale, seins, tomodynamétrie de la tête et du cou	env. 1 mSv (0.3 - 3.0)
elevée	tomodynamétrie de la colonne vertébrale, de l'abdomen ou du bassin; angiographie; examens avec produit de contraste des reins, des voies urinaires et du tractus digestif	env. 10 mSv (3 - 30)

Conclusion



■ SOLUTIONS:

- Technologie rad hard, mais très chère (et rendement médiocre) car volume de production trop faible
- Essayer d'améliorer la tolérance par design et par l'architecture
- Technologie sub micronique, très bien adaptée au numérique.

Références

- Digest of the Radiation effects on Electronics (CERN 8 juin 1999) par Martin DENTAN
- Radiation effects in the electronics for CMS par Frédéric FACCIO
- <http://rd49.web.cern.ch/RD49/RD49Docs/anelli/these.html> par Giovanni ANELLI (CERN)
- <http://radhome.gsfc.nasa.gov>