Le gluino LSP ?

Patrice Verdier
Institut de Physique Nucléaire de Lyon

- Rappels théoriques
- Interaction du gluino avec la matière
- Recherche des R-hadrons dans la désintégration du stop
  - Rappels sur l'hadronisation du stop
  - Hadronisation du gluino
  - DELPHI : Résultats préliminaires
- Conclusion

code FORTRAN :
$\Longrightarrow$ http://home.cern.ch/verdier/

Rappels théoriques

Modèle SUGRA :

- Masse commune à l'échelle GUT : $m_{1/2}$
- Equation du groupe de renormalisation:

$$M3 : M2 : M1 \sim \alpha_3 : \alpha_2 : \alpha_1$$

Habituellement : $m_{\tilde{g}} \sim M3$ **est plus lourd que** $M_{\tilde{\chi}_1^0}$

- **Mais, il existe des modèles où** $m_{\tilde{g}} <$ **M1,M2**
- **0-II String model :** $M3 : M2 : M1 \sim -(3 + \delta_{GS}) : (1 - \delta_{GS}) : (33/5 - \delta_{GS})$
- **Si** $\delta_{GS} \sim -3$ **: M3 est le plus léger** $\Longrightarrow$ **Le gluino est la LSP**

Modèle GMSB : (S. Raby)

- La masse légère du $\tilde{g}$ provient du mélange entre les champs de Higgs et les champs messagers (α_1, α_2, α_3 at messenger scale)

$$
\begin{aligned}
M_3 &= \frac{\alpha_3}{\pi}\,\Lambda b^2 \\
M_2 &= \frac{\alpha_2}{4\pi}\,\Lambda(1+4b^2) \\
M_1 &= \frac{3}{5}\frac{\alpha_1}{4\pi}\,\Lambda(1+\frac{20}{3}b^2)
\end{aligned}
$$

(+ D terms)

e.g : $b \sim 0.1$, $\Lambda = 10^5\ GeV$, $M_3 = 13\ GeV$, $M_2 = 330\ GeV$

- le $\tilde{g}$ peut être la LSP
- Un $\tilde{g}$ NLSP ($\tilde{G}$ LSP) aura une durée de vie > 100 ans.
  $\Longrightarrow$ Gluino stable

Hadronisation du gluino :

Un $\tilde{g}$ stable s'hadronise pour former des hadrons singlets de couleurs :

- **Isoscalar** $R_o = \tilde{g}g$ **(gluballino)**
- **Isotriplet** $\tilde{\rho} = \tilde{g}q\bar{q}'$ **(glumesino)**
- **flavor singlet** $S_o = \tilde{g}uds$ **(glubarino)**
  $n\tilde{g} = \tilde{g}\tilde{g}$ **(gluinoball)**

$n\tilde{g}$ **:** $m_{n\tilde{g}} > m_{R_o} > m_{glueball}$ **est instable**

- **Si** $m_{\tilde{\rho}} > m_{R_0} + m_\pi$**:**

$$\tilde{\rho} \rightarrow R_o + \pi \; : \textbf{I. forte}$$

- **Sinon :**

$$\tilde{\rho}^{\pm} \rightarrow R_o + l^{\pm} + \nu_l \; : \textbf{I. faible}$$
$$\tilde{\rho}^{0} \rightarrow R_o + \gamma \; : \textbf{I. élec.}$$

Rappels théoriques

- $\tilde{\rho}_o$ **LSP :**
  $\tilde{\rho}^{\pm}$ **ne peut être stable (isotopes lourds, accelerateurs)**
  $\Delta M(\tilde{\rho}^+ - \tilde{\rho}_o) \sim$ **1 MeV**
  $\tilde{\rho}^+ \rightarrow \tilde{\rho}_o + e^+ + \nu_e$
  $\rightarrow T_{\tilde{\rho}^+} \sim T_{neutron}$
  $\Longrightarrow$ **stable pour les détecteurs**
  $R_o \rightarrow \tilde{\rho} + \pi$

- S_o **LSP :**
  Cas possible sinon, il se désintègre comme le Λ^o

$\Longrightarrow$ **Pour la suite, on considère 2 états de R-hadrons :**

$$R_o \;,\; R^{\pm}$$

Soit P la probabilité que le $\tilde{g}$ fragmente en un $R^{\pm}$

Limites actuelles :

- **Gluino NLSP : $\tilde{g} \rightarrow q q \tilde{\chi}_1^0$:**
  - **kTeV exclut $M_{\tilde{g}}$= 1-5 GeV**
  - **CDF exclut $M_{\tilde{g}}$= 5-173 GeV**
- **Contraintes si le $\tilde{g}$ est stable:**
  - **Fermilab (beam dump) exclut $M_{\tilde{g}}$= 2-4 GeV**
  - **Fermilab : $M_{\tilde{g}}$= 1-5 GeV pour $M_{\tilde{q}}$= 150-600 GeV**
  - **Running de α_s exclut toute la fenêtre du $\tilde{g}$ léger**

Contraintes supplémentaires:

- **Cosmologie : la densité relique peut être suffisament faible**
- **Isotopes lourds et stables : Les R-hadrons ne s'attachent pas aux noyaux lourds**

Pour la suite, $M_{\tilde{g}} > \mathbf{5GeV}$

$\Longrightarrow$ **Recherche directe des R-hadrons**

Interaction $\tilde{g}$-matière

Energie déposée dans un calorimètre:

- Le R^o interagit peu avec la matière
- On suppose que la cible est un nucléon plutôt qu'un noyau

On considère donc le processus :

$$R_0 N \rightarrow R_0 X$$

$$\Delta E = \frac{m_X^2 - m_N^2 + |t|}{2m_N}$$

où $|t|$ est le moment de transfert standard, et m_X la masse du système produit.

Pour estimer la valeur moyenne de l'énergie perdue à chaque collision $\Longrightarrow$ estimation de $\frac{d\sigma}{d|t|dm_X}$

Interaction $\tilde{g}$-matière

3 Modèles de sections efficaces

- **(1)** $\frac{d\sigma}{d|t|dm_X} \propto 1$ **pour** $|t| \leq 1GeV^2$**, 0 ailleurs.**
- **(2)** $\frac{d\sigma}{d|t|dm_X^2}$ **(triple-Pomeron)**

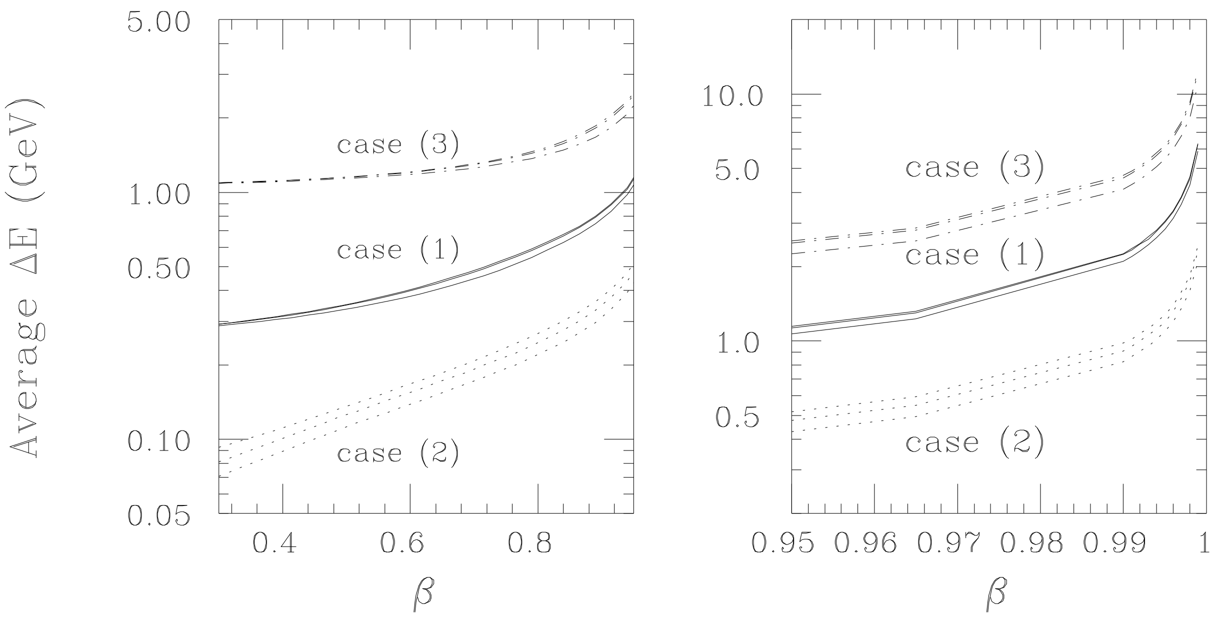
$$\frac{d\sigma}{d|t|dm_X^2} \propto \frac{1}{m_X^2}\beta^2(|t|)\left(\frac{s}{m_X^2}\right)^{2(\alpha_P(|t|)-1)}\left[m_X^2\right]^{\alpha_P(0)-1}$$

- **(3)** $\frac{d\sigma}{d|t|dm_X} \propto 1$ **pour** $|t| \leq 4GeV^2$**, 0 ailleurs.**

Energy moyenne perdue à chaque collision :

$$\langle \Delta E \rangle = \frac{\int_{m_N}^{\sqrt{s}-m_{R^0}} dm_X \int_{|t|_{\min}(m_X)}^{|t|_{\max}(m_X)} d|t|\, \Delta E \frac{d\sigma}{d|t|dm_X}}{\int_{m_N}^{\sqrt{s}-m_{R^0}} dm_X \int_{|t|_{\min}(m_X)}^{|t|_{\max}(m_X)} d|t| \frac{d\sigma}{d|t|dm_X}}$$

$\Longrightarrow$ Energie déposée en fonction de β



Le modèle (2) est préféré car il donne des résultats plus proches de l'experience pour des pions :

- **Remarque : pour $\beta \leq 0.998$, $\Delta E \leq 2GeV$**

Interaction $\tilde{g}$-matière

Les R-hadrons dans DELPHI :

Calorimetres Electromagnetiques: $\sim$ **1** Λ_T
Calorimetre Hadronique: **6.6** Λ_T

- **Correction 1 :**
  Prise en compte de la nature en octet de couleur des constituants du R^o **(facteur** C_A/C_F)

$$\sigma^T_{R^oN} \sim (9/4)\sigma^T_{\pi N}$$

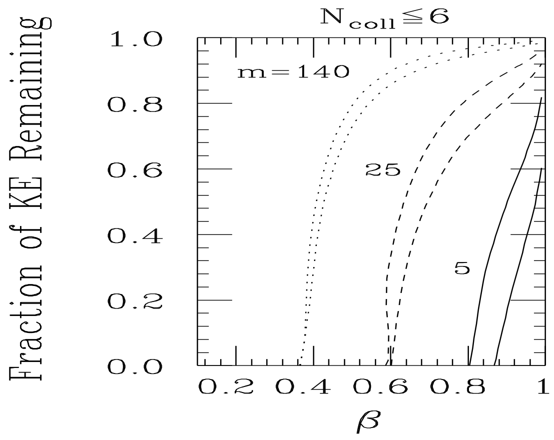
- **Correction 2 :**
  Taille du R-hadron (facteur $\langle r^2_{R^o}\rangle/\langle r^2_{\pi}\rangle$)

$$\sigma^T_{R^oN} \sim (1/4)\sigma^T_{\pi N}$$

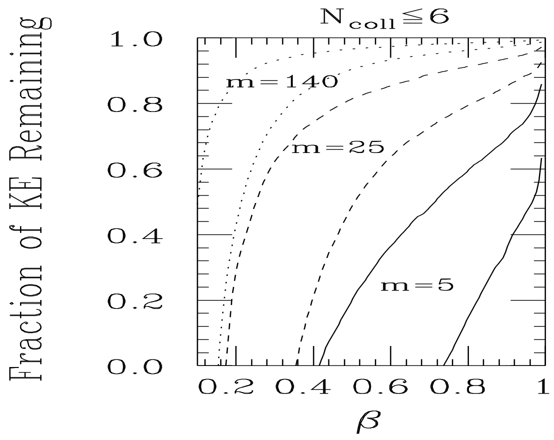
- **Correction totale :** $\sigma^T_{R^oN} \sim (9/16)\sigma^T_{\pi N}$
- **(ce qui revient à dire que** $\Lambda_T(R^o) =$ **(16/9)** $\Lambda_T(\pi)$)
- $\Longrightarrow (9/16) \times 7.6\Lambda_T = 4$ **collisions**

Energie reconstruite dans un détecteur :

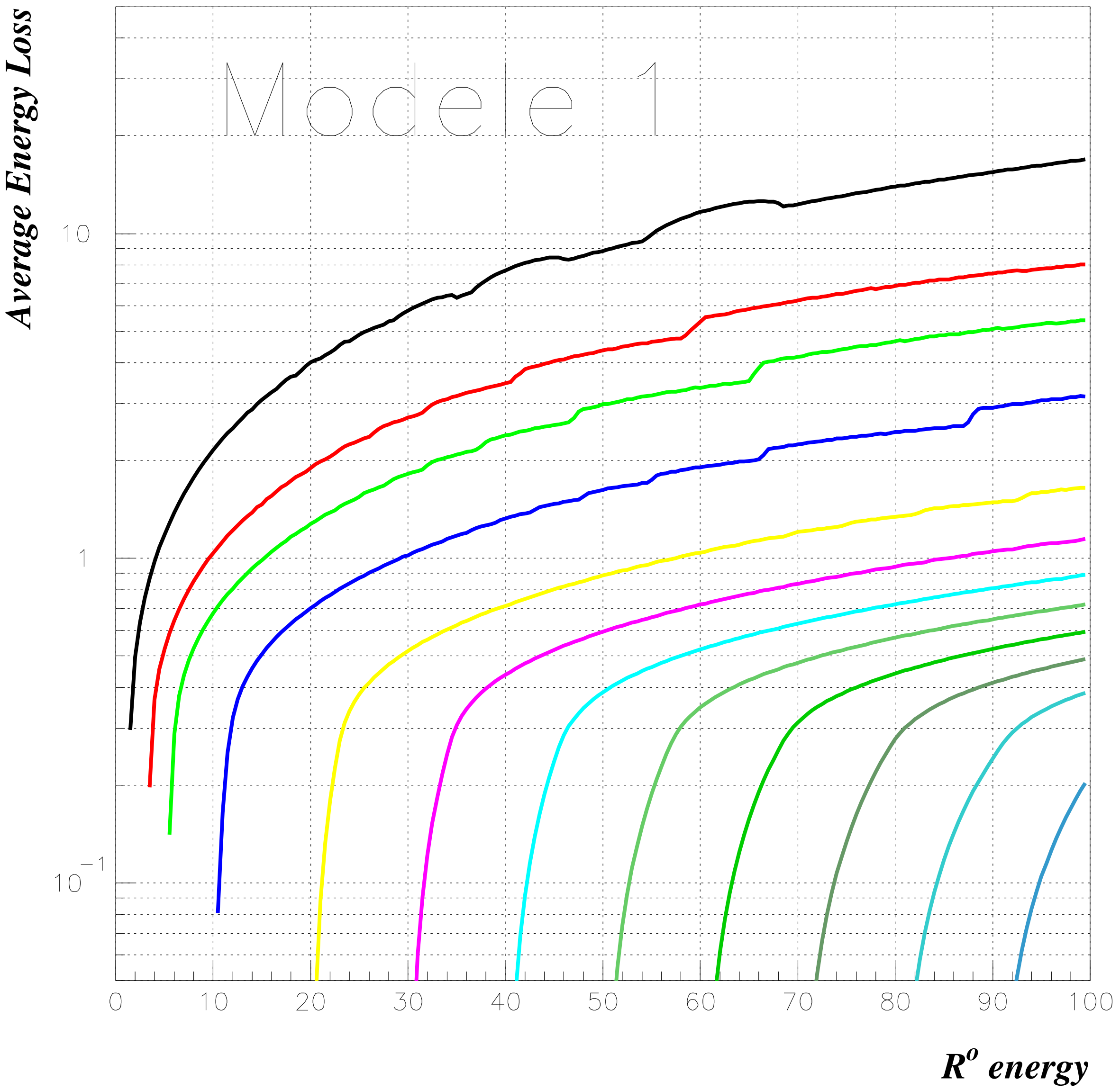
- **R-hadrons chargés : $R^{\pm}$ (en tenant compte de l'ionisation)**



- **R-hadrons neutres : R^{0}**



Interaction $\tilde{g}$-matière



Choix des particules pour la simulation

On va simuler les R-hadrons comme :

- **des muons lourds pour le cas des $R^{\pm}$**
- **des k_L^o pour le cas des R^o**

- **Pour les R_o, l'énergie donnée au k_L^o sera celle calculée à partir des formules précédentes.**

- **Pour les $R^{\pm}$: on recherchera des dE/dx anormaux.**
  (Utilisation du RICH de DELPHI).

Interaction $\tilde{g}$-matière

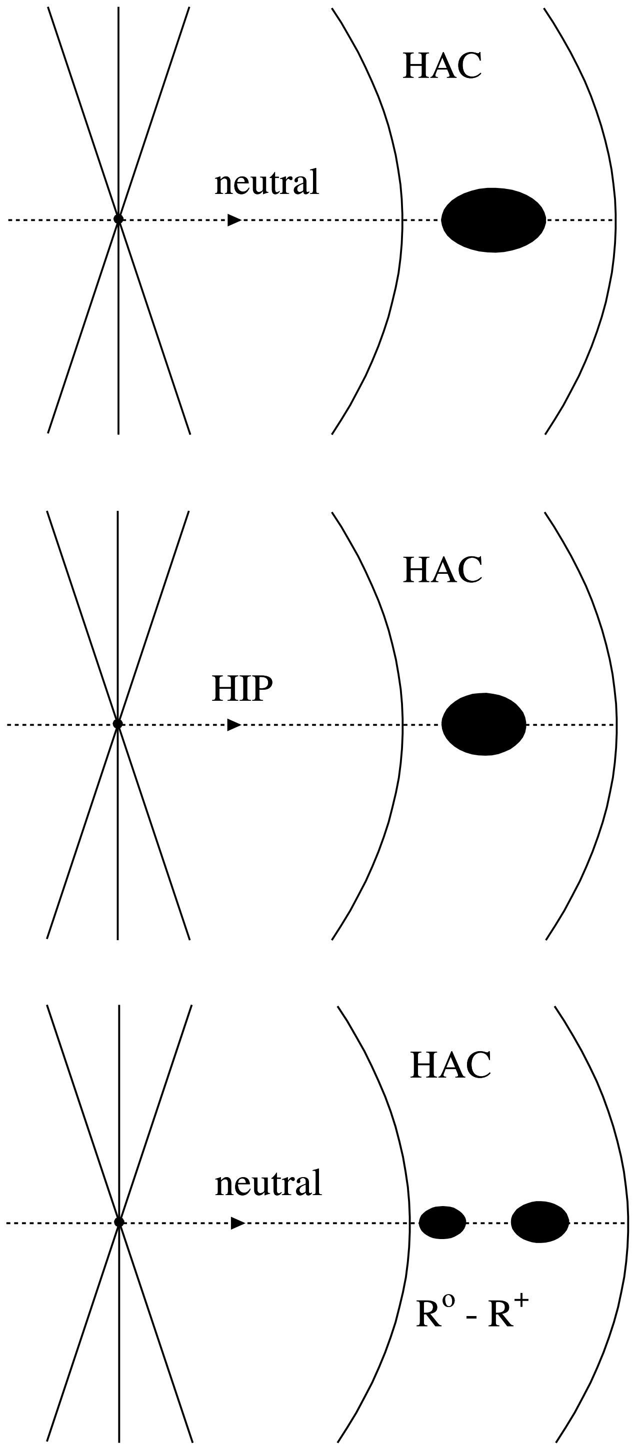
Complications :

- On définit P, la probabilité qu'un gluino se fragmente en un $R^{\pm}$ stable ($P = Prob(\tilde{g} \rightarrow R^{\pm})$)
- A partir des analyses de recherche de "Heavy Ionising Particles"(HIP), une limite sur P peut être donnée
- Possibilité d'échange de charge :

$$\sigma(R^o N \rightarrow R^{\pm} X)$$

- Le dE/dx dans les calorimètres peut augmenter l'énergie déposée (problème quand on simule le $R^{\pm}$ avec un muon)
- Problème de compensation

Interaction $\tilde{g}$-matière



Production de R-hadrons

Désintégration de particules SUSY:

- $e^+e^- \quad \widetilde{\chi}_1^0\widetilde{\chi}_1^0 \quad \rightarrow$ **qq'**$\tilde{g}$ **qq'**$\tilde{g}$ **(6 jets)**
- $\widetilde{\chi}^+\widetilde{\chi}^- \quad \rightarrow$ **qq'**$\tilde{g}$ **qq'**$\tilde{g}$ **(6 jets)**
- $\tilde{t}_1\tilde{t}_1 \quad \rightarrow c\tilde{g}c\tilde{g}$ **(4 jets)**

Indépendante des autres sparticules:

- **Splitting du gluon :**

$$e^+e^- \rightarrow q\bar{q}\tilde{g}\tilde{g}$$

- **Diagramme en boucle**

$$e^+e^- \rightarrow \tilde{g}\tilde{g} \; (loops)$$

$$Br(Z^o \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}) \sim 1-2\times 10^{-4}$$

$$pour \; \tilde{m} \sim 200 \; GeV \sim \frac{1}{\tilde{m}^2}$$

Le générateur STOPGEN:

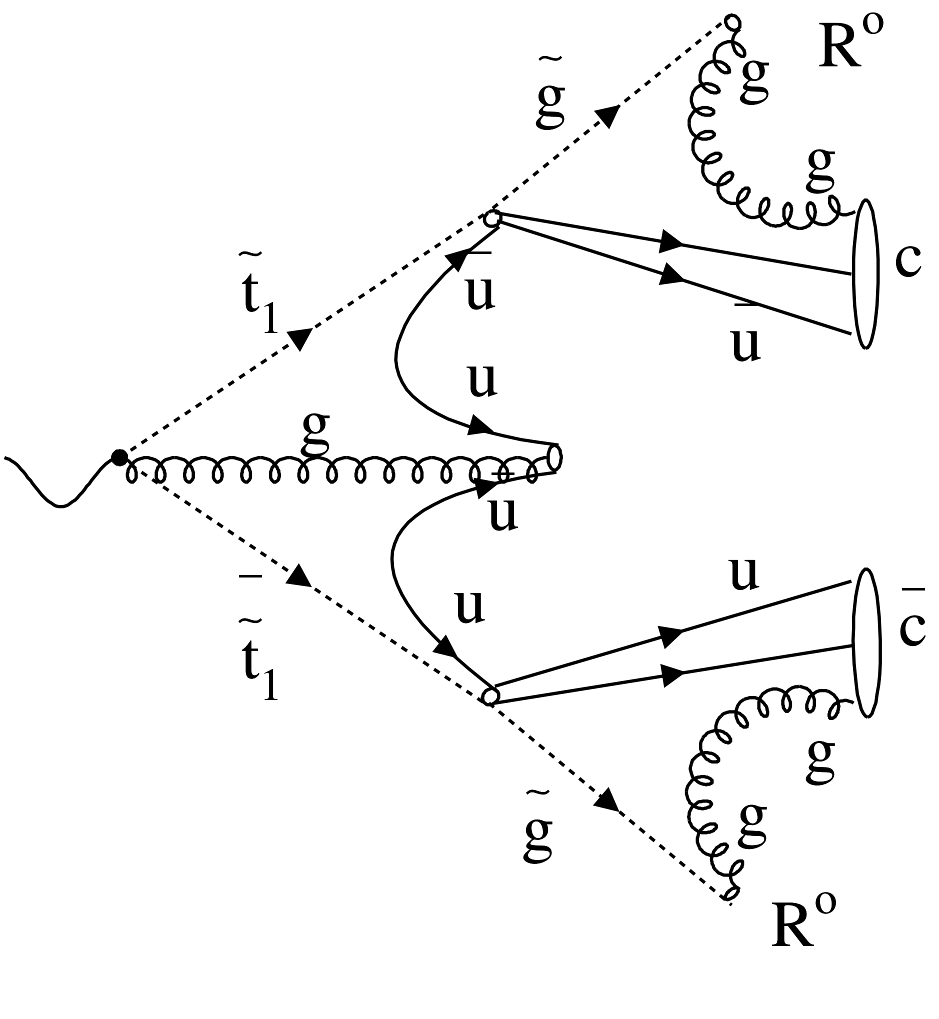
Simulation de l'hadronisation du stop

- **3 modes de désintégration:**
  - **Mode 1 :** $\tilde{t}_1 \rightarrow \mathbf{c}\widetilde{\chi}_1^0$
  - **Mode 2 :** $\tilde{t}_1 \rightarrow \mathbf{c}\tilde{g}$
  - **Mode 3 :** $\tilde{t}_1 \rightarrow b\tau$**(RPV)**
- **Bientôt : Mode 4 : désintégration à 4 corps** $\tilde{t}_1 \rightarrow$ **b**$\widetilde{\chi}_1^0$**ff'**
- **émission de gluon "dur" du stop**
- **modèle d'hadronisation non-pertubative (distribution de Peterson)**
- **Les jets de fragmentation et les quarks spectateurs sont traités comme des quarks de type "up"**
- **Mouvement de Fermi**

Le générateur STOPGEN:

Niveau des "Partons"

- **Mode 2 dans STOPGEN**
- **Exemple pour la production de R^o : ($R^o \equiv \tilde{g}g$)**

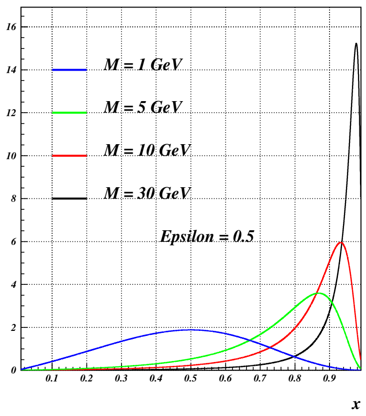


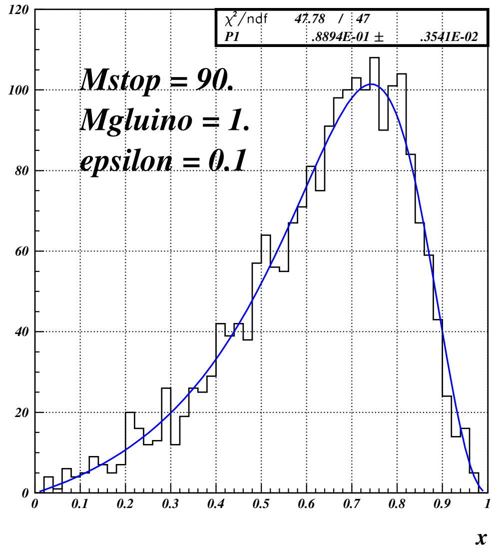
Le générateur STOPGEN:

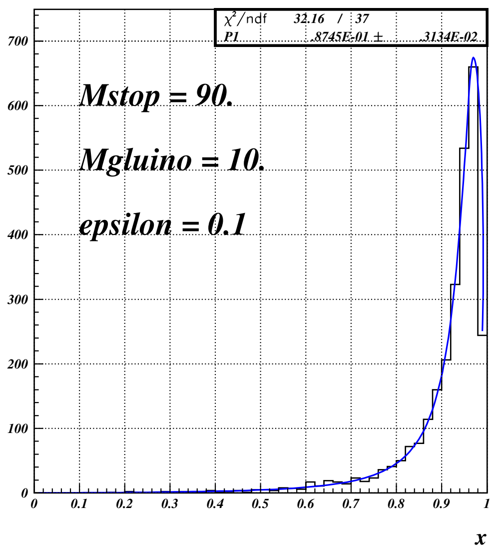
interface avec JETSET

Fragmentation :

- **Utilisation d'une fonction de Peterson pour calculer la fraction d'énergie du gluino initial emportée par le R-hadron**







Le générateur STOPGEN:

"Parton shower evolution" :

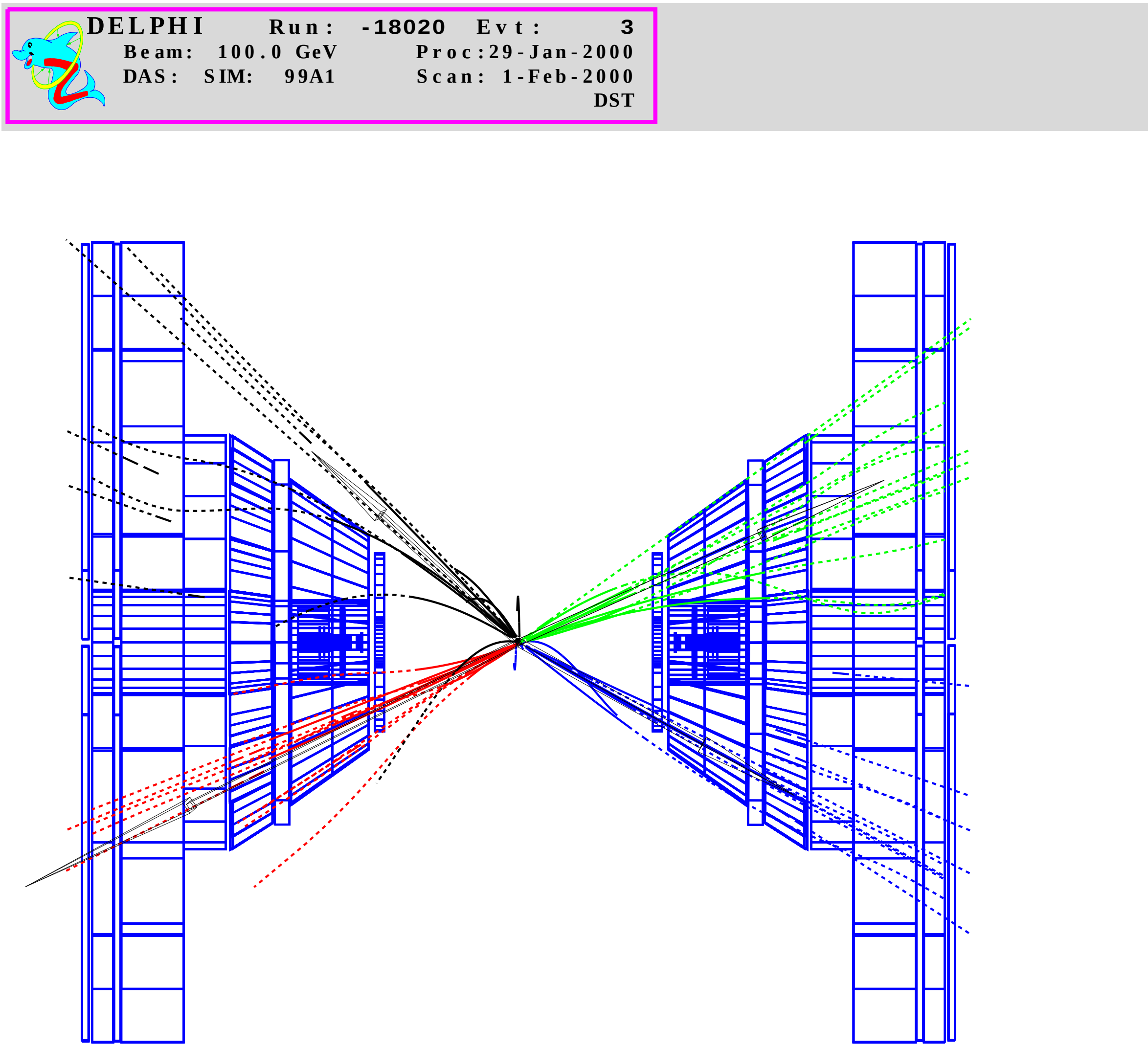
Problemes avec JETSET pour l'évolution partonique (SUBROUTINE LUSHOW) :

- **l'évolution partonique à 3 corps dans JETSET ne marche pas toujours**

$\Longrightarrow$ J'ai choisi de regénérer l'évènement quand LUSHOW ne marche pas, au lieu de passer par une fragmentation indépendante (pour conserver l'énergie-impulsion).

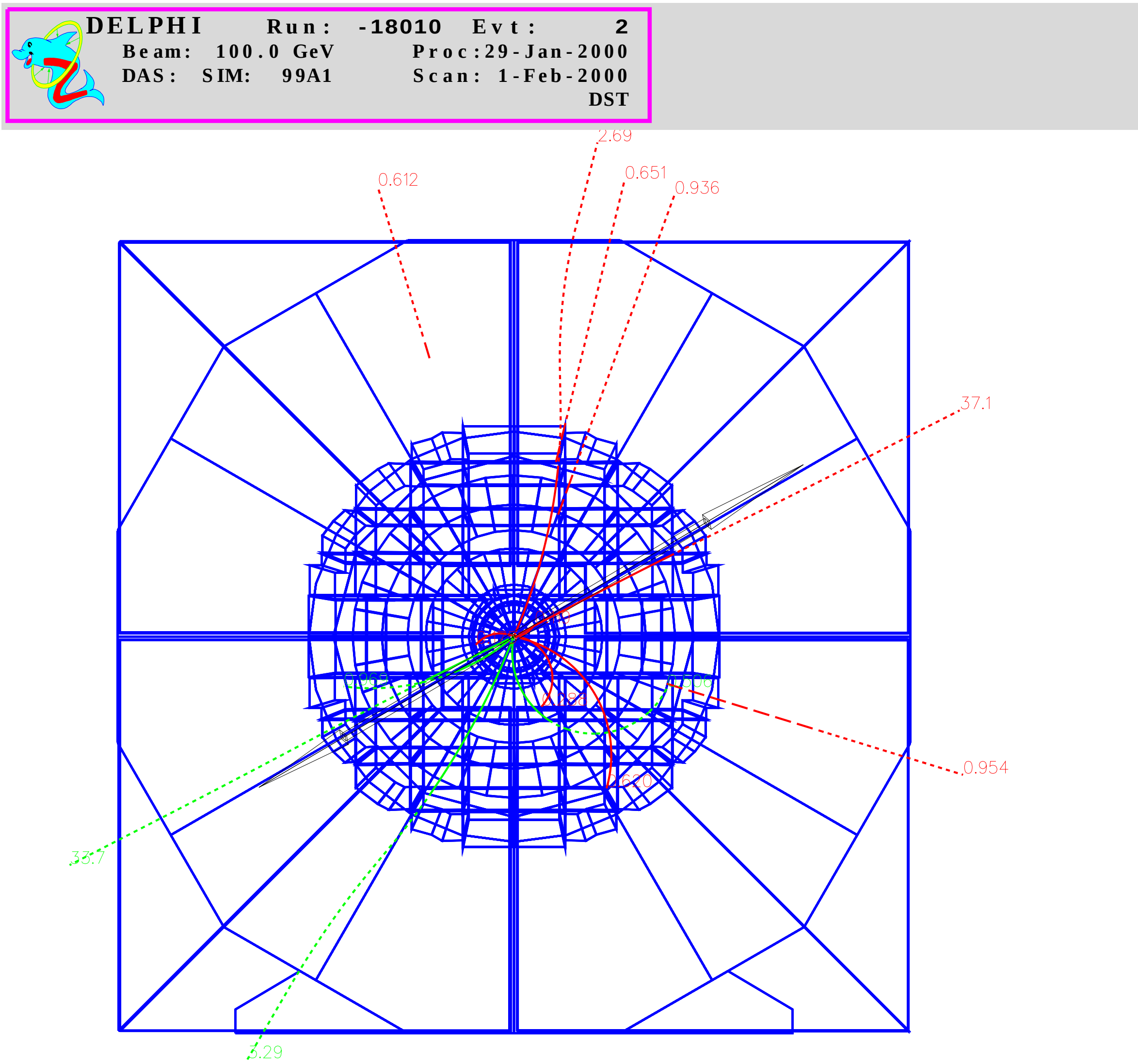
Le générateur STOPGEN:

$M_{\tilde{t}_1} = 50$, $M_{\tilde{g}} = 1$:



Le générateur STOPGEN:

$M_{\tilde{t}_1} = 90$, $M_{\tilde{g}} = 85$:

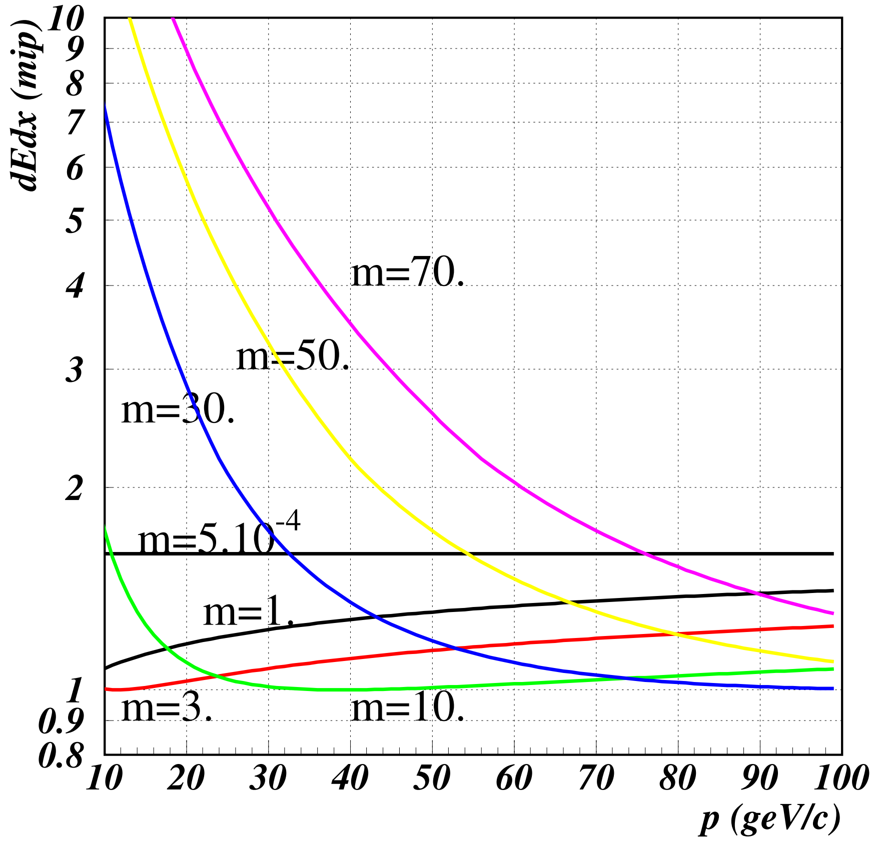


Recherche de $R^{\pm}$:

On suppose que :

- le $\tilde{g}$ fragmente toujours vers un état $R^{\pm}$ (P=1)
- BR($\tilde{t}_1 \rightarrow$ c$\tilde{g}$) = 1.

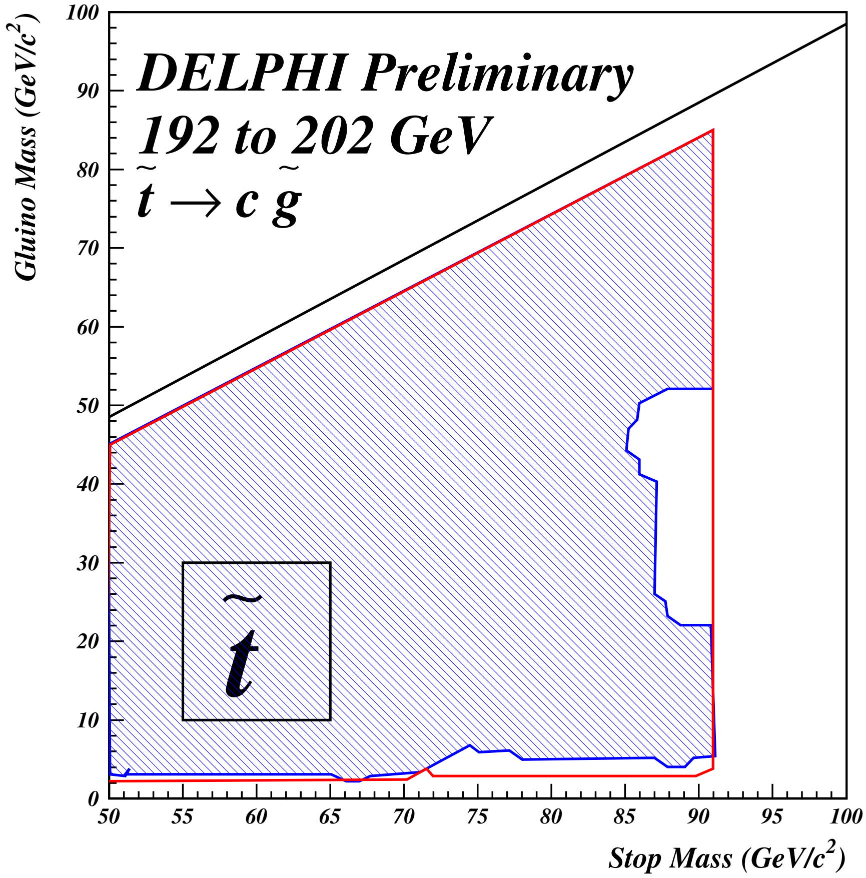
Analyse basée sur le dE/dx mesuré dans la TPC :



Recherche de $R^{\pm}$:

	192 GeV		196 GeV	
	Observed	Backgrounds	Observed	Backgrounds
$M_{\tilde{g}} \leq$ 20.	1	.50±.13	2	1.23±.20
20. $< M_{\tilde{g}} \leq$ 50.	1	2.20±.29	11	5.30±.51
$M_{\tilde{g}} >$ 50.	0	.15±.09	0	.07±.07

	200 GeV		202 GeV	
	Observed	Backgrounds	Observed	Backgrounds
$M_{\tilde{g}} \leq$ 20.	4	1.57±.21	0	.74±.13
20. $< M_{\tilde{g}} \leq$ 50.	6	6.00±.44	4	2.70±.24
$M_{\tilde{g}} >$ 50.	0	.12±.06	0	.08±.04



CONCLUSION

- Le gluino pourrait être **la LSP ou la NLSP** dans différents modèles supersymétriques et former des particules stables, **les R-hadrons.**

- Les interactions des R-hadrons avec la matière :
  - Dans tous les cas, la fraction d'énergie déposée dans un calorimètre est faible.
  - Les $R^{\pm}$ sont des candidats "HIP"
  - A LEP, la signature d'énergie manquante pour les évènements SUSY reste valide pour un R^{o}.

- Les R-hadrons peuvent être produit même si aucune autre sparticule n'est accessible. (mais X-sections faibles)

- Le générateur STOPGEN permet de simuler la désintégration du stop en c$\tilde{g}$ et est disponible sur le WEB. (la partie "interaction avec la matière" n'est pas encore accessible)

- Une analyse de **recherche des R-hadrons dans la désintégration du stop a commencé dans DELPHI** : cf Moriond

$\Longrightarrow$ http://home.cern.ch/verdier/