

## Résumé de la réunion d'Annecy (10/12/97)

Intervenants: F. Richard(CERN-LAL), I. Laktineh(Lyon), S. Pokorski(CERN-Varsovie), W. de Boer(Karlsruhe), D. Froidevaux(CERN), G. Coignet(LAPP).

Résumé: F. Richard

Ce texte est destiné à résumer la réunion d'Annecy et à donner des éléments pour la rédaction d'une note GDR.

I/ Les paramètres

On suppose SUGRA (universalité des masses des scalaires et des gauginos) avec les contraintes de la brisure de symétrie électro-faible(EWSB). On aboutit à 3 types de scénarios.

a/ Scénario petit  $\tan\beta$

La brisure de symétrie est générée par le terme de Yukawa du top. Si ce terme est suffisamment grand à GUT, la solution est fixée par la relation  $m_t=200 \text{ GeV}\sin\beta$  ("point fixe" indépendant de la valeur à l'échelle GUT). At, le coefficient trilineaire intervenant dans le mélange des squarks top, est également "point fixe" si bien que tout dépend de  $m_0$  et  $M_{1/2}$  ( $\mu$  est donné, au signe près, par EWSB).

Il existe une région de paramètres  $m_0$  et  $M_{1/2}$  conforme à toutes les mesures de précision. Ce scénario permet aussi d'obtenir l'unification des couplages de Yukawa du lepton  $\tau$  et du quark b.

La baryogenèse à l'échelle électrofaible (Carena et al, hep-ph/9710401) est possible. Elle implique également un stop léger (figure 2) qui pourrait être observé à LEP ou au Tevatron (pour ce dernier, détection difficile si la masse du stop et celle du LSP sont voisines). Ce résultat s'appuie sur un calcul à deux boucles et demande une confirmation par une analyse non-perturbative. Les auteurs en conviennent mais font remarquer que dans le cas du Higgs standard on a pu montrer que les 2 approches sont équivalentes. La contrainte d'un stop léger est extrêmement forte et suppose  $\tan\beta < 1.8$ ,

$M_{1/2} < 150$  GeV et un  $m_0 > 500$  GeV (afin d'être compatible avec la limite de LEP2 sur le Higgs). Il est possible d'échapper à ces contraintes en relâchant le critère d'universalité des masses scalaires (Carena et al, hep-ph/9408253).

La limite sur la durée de vie du proton donne une information utile "modèle-dépendent" (d=5 terme). Ce thème mérite d'être étudié en détail.

Dans ce scénario la détection directe de neutralinos ne marche que pour  $\mu > 0$  (le domaine accessible est exclu pour  $\mu < 0$  par LEP2). Le domaine de paramètres  $m_0/M_{1/2}$  donnant une solution cosmologique correcte est encore très ouvert pour  $\mu > 0$  et pour  $\mu < 0$ . Ce domaine correspond à un slepton droit léger (voir par exemple M. Drees hep-ph/9703260) qui permet une annihilation suffisante des neutralinos LSP par échange dans la voie t.  $m_0$  doit être inférieur à 150 GeV ce qui est incompatible avec la contrainte due à la baryogenèse. Il existe cependant une solution à grand  $m_0$  avec  $M_\chi$  voisin de  $M_Z/2$  ( $M_{1/2}$  de l'ordre de 140 GeV) pour laquelle l'annihilation dans la voie s est suffisante quelque soit  $m_0$ . Il serait très intéressant de voir si ce type de région peut être exclu par la recherche directe ou indirecte (e.g. Kamiokande) de neutralinos. Dans la région où l'échange dans la voie t d'un slepton  $\tau$  droit léger domine, on produit par annihilation de 2 neutralinos une paire  $\tau^+\tau^-$  qui permet la recherche indirecte par détection de neutrinos provenant de la désintégration des  $\tau$ .

Ce scénario prédit un Higgs léger. La limite précise dépend de la masse du top qui est plus sévèrement bornée par les mesures indirectes+MSSM que par le résultat de Fermilab. Pour s'en convaincre il suffit d'observer le contour obtenu par LEP1 (figure 1) dans le plan  $m_H/m_t$  et de fixer  $m_H$  à 100 GeV. On obtient alors une valeur centrale pour la masse du top inférieure à 160 GeV et, en ajoutant 1 s.d., une valeur inférieure à 170 GeV. La limite sur la masse du Higgs dépend également de  $m_0$  et  $M_{1/2}$  mais l'incertitude principale est sur  $\tan\beta$  que l'on peut augmenter en supposant un terme de Yukawa du top "petit" à GUT ce qui nous éloigne de la valeur "point fixe".

Si  $\tan\beta < 2$ , LEP2 couvre entièrement le domaine des paramètres SUSY par la recherche du boson de higgs h en opérant à 200 GeV et 200pb-1/expérience. La découverte est alors possible jusqu'à 105 GeV pour  $m_t=175$  GeV (l'exclusion étant assurée pour  $m_t$  jusqu'à 180 GeV).

W. deBoer et al. (hep-ph/9712376) suggèrent même que le scénario IRFP est déjà couvert par LEP si l'on impose une solution compatible avec tous les résultats expérimentaux + la contrainte cosmologique. Cette conclusion paraît contredire le résultat du workshop LEP2 qui donne, dans le

scénario IRFP, des masses allant jusqu'à 103 GeV pour  $m_t=175$  GeV. Wim a maintenant clarifié ce point: les contours d'exclusion sont obtenus en prenant  $m_t=166$  GeV, valeur qui combine les mesures de précision de LEP/SLC et la mesure directe de Fermilab. Si l'on prend  $m_t=175$  GeV, le scénario reste encore ouvert.

#### b/ Scénario $tg\beta$ moyen

Ce scénario s'écarte résolument de la solution "point fixe" parcequ'il cherche à minimiser le "réglage fin" des paramètres supersymétriques (S. Pokorski et al hep-ph/9712234) nécessaire pour générer la masse des bosons Z et W mais aussi  $tg\beta$  lui-même. Sur ce dernier point, il y a désaccord car on peut douter de la signification physique de  $tg\beta$ .

Les mêmes arguments (Dimopoulos, Giudice CERN-TH/95-188) prédisent un chargino accessible à LEP2 avec cependant l'incertitude quantitative sur la définition du "réglage fin".

Un autre moyen d'échapper au "réglage fin" et donc de permettre  $tg\beta$  petit, serait de postuler une corrélation entre les paramètres SUSY (e.g.  $\mu$  et  $M_{1/2}$ ) mais le support théorique manque !

Sur ce dernier point : P. Binetruy rappelle que dans un scénario "dilaton", une telle corrélation est naturelle car  $m_0$ ,  $M_{1/2}$  et  $\mu$  sont proportionnels à  $m_{3/2}$  (voir par exemple A. Brignole et al CERN-TH/97-143). Il est vrai que la solution est incompatible avec les contraintes expérimentales mais il est p.e. possible de s'en écarter en partie tout en conservant la corrélation qui résout le problème conceptuel du réglage fin.

Dans ce scénario, la détection directe du neutralino LSP permet de couvrir une zone de paramètres SUSY plus grande que LEP2. Notons toutefois qu'il faut que  $\mu$  soit positif pour être compatible avec  $b \rightarrow s + \gamma$  (Baer et al HEP-970605). Le domaine de paramètres  $m_0/M_{1/2}$  donnant une solution cosmologique correcte est également plus limité pour  $\mu < 0$ .

Le réglage fin est minimum pour une masse de Higgs de 105 GeV, ce qui correspond à la limite de détection par LEP2. Fermilab ne peut espérer un signal au-delà de LEP2 qu'en accumulant plus de 10fb-1 (Amidei et al. Fermilab-pub-96/082).

c/ Scénario grand  $\tan\beta$

Cela signifie que  $\tan\beta$  est de l'ordre de  $m_t/m_b$  si bien que les 2 termes de Yukawa b et t contribuent de manière semblable. On est alors conduit à relâcher le critère d'universalité des masses scalaires dans le secteur de Higgs pour générer l'EWSB (voir par exemple W. deBoer et al. hep-ph/9603350).

Il existe une solution pour laquelle les 3 constantes de Yukawa de la troisième famille sont égales à GUT mais alors la contrainte de  $b \rightarrow s + \gamma$  plus l'effet des CR sur la masse du b conduisent à des paramètres  $m_0$  et  $M_{1/2}$  de l'ordre du TeV (W. deBoer).

Il existe une solution point fixe qui, en plus de l'unification, postule de grandes constantes de Yukawa. Elle prédit que A, le boson CP=-1, puisse être léger mais est incompatible avec la masse du top.

Si l'on relâche la contrainte d'unification (Baer et al hep-971104), la solution est plus acceptable mais comporte une forte dose de "réglage fin".

Mêmes remarques que pour le scénario b pour la détection de neutralinos.

Le boson de Higgs pèse  $>120$  GeV dans un tel scénario sauf dans le cas d'un A léger. Récemment (Drees et al. hep-ph/9801229), une analyse exploitant les données  $\tau^+ \tau^- + 2$  jets de CDF semble exclure que hA soit visible à LEP2 pour  $\tan\beta \sim m_t/m_b$ .

Certains aspects de cette discussion peuvent être résumés dans la table 1.

## II/ Les perspectives

### a/ En cas de découverte à LEP2

On veut préciser le type de scénario, et le domaine des paramètres SUSY. La masse du Higgs (quelle précision: 1 GeV ?) est l'information principale mais elle ne peut donner d'informations précises sur  $M_{1/2}$  que si l'on connaît  $\tan\beta$ . Si l'on inclut les contraintes cosmologiques (matière cachée et baryogénèse) on peut aboutir à une solution très "étroite" dans le domaine des paramètres SUSY (figure p. 9). Il serait alors important de démontrer que les recherches directes ou indirectes de neutralino permettent de détecter un neutralino de masse voisine de  $MZ/2$  et donc de valider, ou d'éliminer une

Table 1: Les 3 scénarios

$\text{tg}\beta$	$<2$	Moyen	$m_t/m_b$
Point fixe	***		
Réglage fin	*	***	
Unification scalaires	***	***	
Unification Yukawa	***		*
Mh GeV	$<105$	100-110	120
Baryogenèse EW	***		

telle solution. Cette découverte serait très suggestive d'un scénario SUSY et aboutirait à une mise en perspective complètement nouvelle du programme de physique des hautes énergies : Tevatron, LHC et futur collisionneur à leptons. Elle permettrait aussi d'orienter la recherche directe de neutralino LSP.

La découverte directe de la supersymétrie n'est pas exclue mais elle n'obéit pas à des contraintes aussi précises que la recherche du Higgs. On ne peut qu'invoquer l'argument imprécis de réglage fin pour prédire un chargino léger.

L'événement CDF semble impliquer une désintégration radiative de neutralinos présente dans 3 schémas théoriques (GMSB, LNZ et cascade  $\chi_2 \rightarrow \chi_1 + \gamma$ ) qui peuvent être testés à LEP à 200 GeV avec 200pb-1/expérience. Question: est-ce que l'évt CDF peut encore être expliqué par le scénario gravitino léger (talk de Womersley à Jérusalem et Ambrosiano et al hep-ph/9605398)? La réponse semble être oui car la recherche inclusive de paires de photons à CDF et D0 n'exclut que l'hypothèse chargino en supposant qu'ils se désintègrent en W (en ce cas on attend un ordre de grandeur en plus d'efficacité par la recherche inclusive).

b/ En cas de non découverte

On doit repenser la stratégie LHC : peut-on couvrir tous les scénarios SUSY ? Par exemple, le scénario c (en cours d'élaboration ds ATLAS) avec des paramètres  $m_0$  et  $M_{1/2}$  élevés, est-il couvert et quelle luminosité est nécessaire ? Est-on assuré de couvrir le scénario Higgs MSSM. Le rapport de branchement  $h$  en 2 photons, comme le souligne PM-97/51 (A. Djouadi) ne peut être significativement affecté que par un stop léger et dans ce cas il y a interférence positive avec les termes standards.

La question plus générale est : si SUSY n'est pas la bonne théorie peut-on en être certain avec LHC ?

En résumé il est souhaitable de définir un point de fonctionnement "difficile" ( $M_{1/2}$  et  $m_0$  de l'ordre du TeV,  $\tan\beta=35$  et  $\mu < 0$ ) qui respecterait  $b \rightarrow s + \gamma$ . Si on veut respecter la contrainte cosmologique il faut prendre  $m_0$  inférieur à 500 GeV.

Dans le secteur de la matière cachée, les conséquences sont moins contraignantes. La question sera : quelle limite inférieure peut-on donner après LEP2 sur la masse du neutralino LSP ds le cadre MSSM+SUGRA ou ds un cadre + large ? Que peut-on dire sur la détectabilité de ce LSP par les expériences de détection directe ? Plus précisément, que peut-on dire sur le rôle de l'interaction spin-spin/ à l'interaction scalaire (l'interaction spin-spin joue un rôle plus important dans le scénario b d'après hep-ph/970605)? Rappelons à ce sujet (cf. C. Tao), que la méthode de détection indirecte l'emporte nettement dans le cas où l'interaction spin-spin est dominante.

Le scénario de Baryogenèse à l'échelle électrofaible est-il encore viable ?

SUITE A DONNER :

Le but est maintenant de produire une note GDR pour la fin du mois de février. Le texte précédent, rédigé par Francois Richard, suggère des pistes sur lesquelles des analyses complémentaires pourraient être faites (il en existe certainement d'autres). Ceux qui désirent compléter le bilan ainsi établi dans les directions indiquées ou dans d'autres peuvent se faire connaître auprès de Francois Richard (richard@lalcls.in2p3.fr) ou de Pierre Binetruy (Pierre.Binetruy@cern.ch). Une ou deux réunions devraient permettre d'incorporer ces travaux dans un texte final qui serait disponible pour tous fin février.

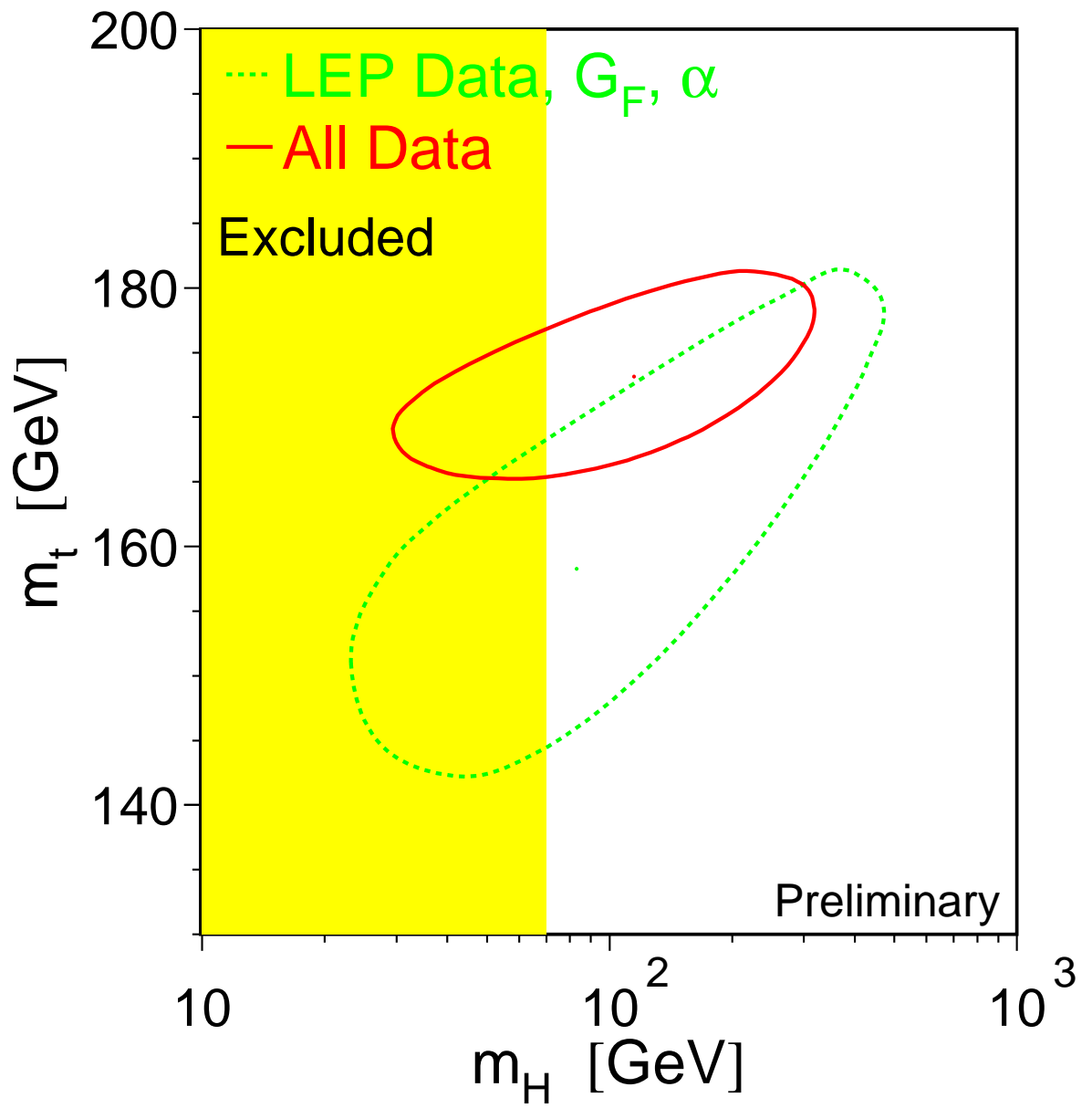


Figure 1: Precision measurement results

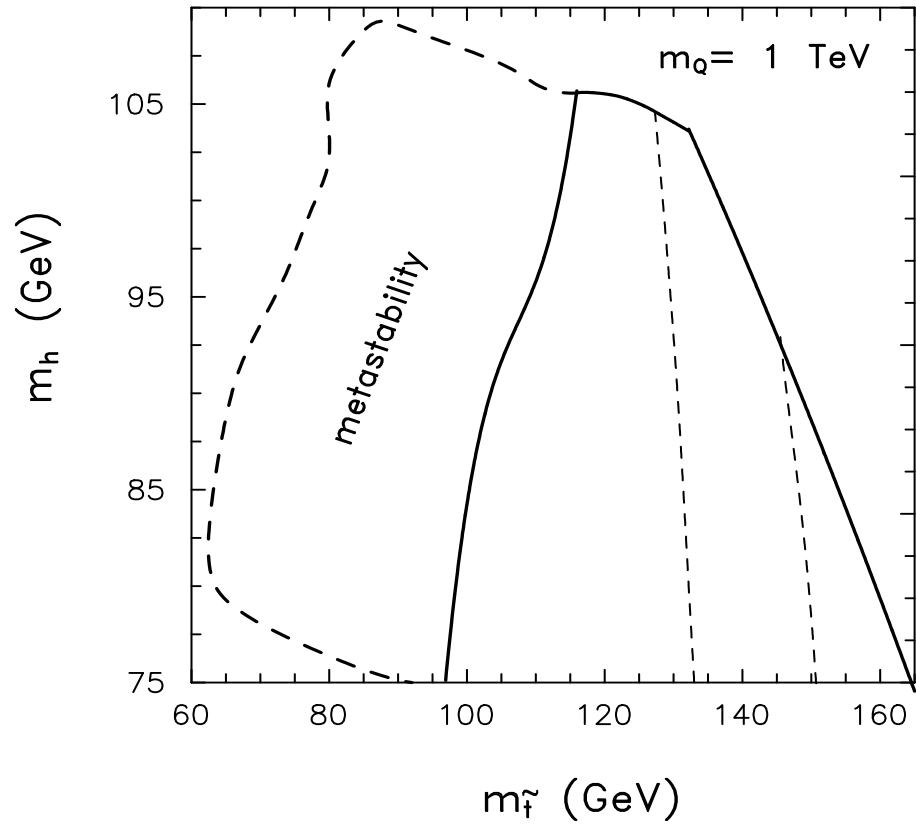


Figure 2: Region of the  $m_h$ - $m_{\tilde{\tau}}$  parameter space for which a strongly first order phase transition takes place is shown within solid lines. The short-dashed lines demark the region for which a two-step phase transition may occur. The region on the right of the dashed line and left of the short-dashed may lead to a metastable vacuum state.



**MSSM  $\tan\beta=1.6$   $\mu > 0$**

