



Projet ILC des benchmarks de physique à la R&D détecteur

Djamel BOUMEDIENE
ILC – Collaboration CALICE



- **Introduction**
- **La Physique des collisions e^+e^-**
 - ↳ Les mesures Benchmarks
 - ↳ Mesure du couplage trilinéaire de Higgs
 - ↳ Influence du contexte expérimental sur la mesure
- **Algorithmes de *particle flow***
- **Les concepts de détecteur :**
 - ↳ Pourquoi un calorimètre électromagnétique au silicium-tungstène ?
 - ↳ Etude du prototype de calorimètre Si-W dans CALICE
- **La synergie avec le LHC**
- **Conclusion et perspectives**



Introduction

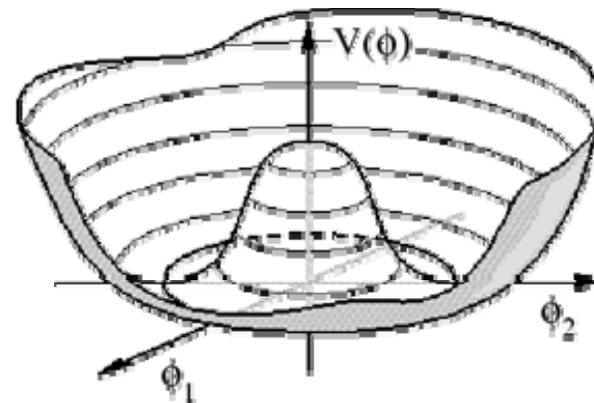


- Le secteur de Higgs est un doublet de champs scalaires :

Sur les 4 degrés de liberté initiaux, 3 sont absorbés par les bosons W^\pm, Z . Le quatrième correspond à une particule physique : le Higgs

- Couplage Yukawa doublet scalaire-fermions \rightarrow masse des fermions

Les couplages du boson de Higgs aux fermions et aux bosons de jauge (ainsi que l'autocouplage) sont proportionnels aux masses



Potentiel de Higgs

Observables :

- $g_{ffH} = m_f / v$
- $g_{vvH} = 2 M_V^2 / v$
- $\lambda_{hhh} = 3/\sqrt{2} m_h^2 / v^2$

- Le MS peut être également testé à l'échelle des corrections radiatives grâce aux mesures de précision de ses paramètres

Observables :

- m_{top}
- m_W

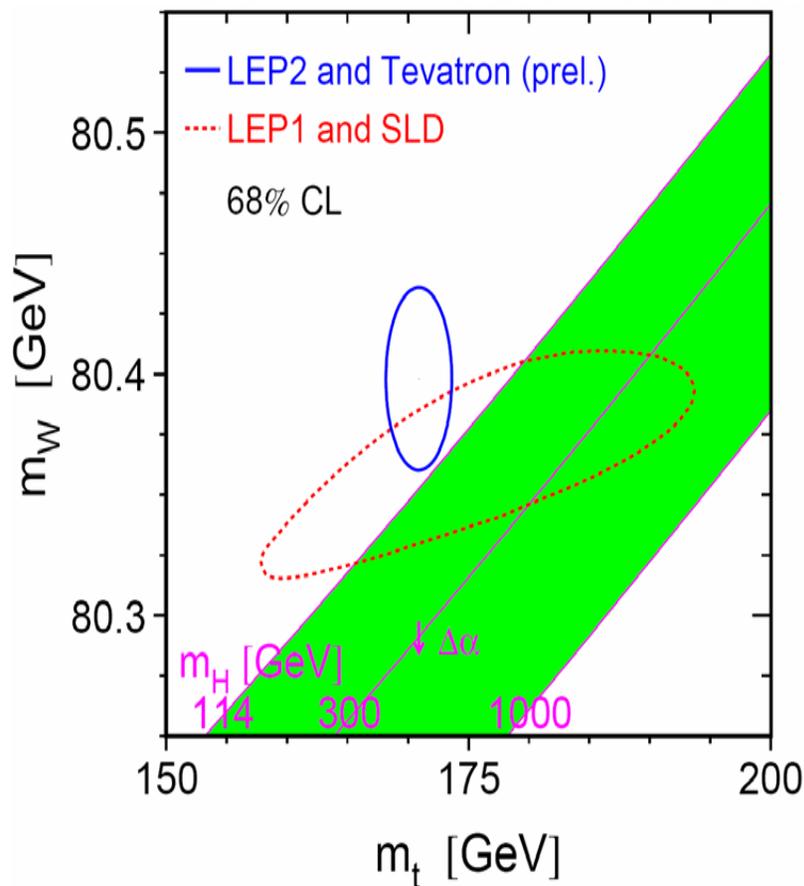
Le Model Standard Minimal est actuellement capable de décrire les mesures de précision LEP/Tevatron.

Si le Higgs est observé : A-t-il le profil prédit par le MS ?

En masse, temps de vie, Br, couplage aux fermions, auto-couplage, section efficace, spin.

Est-ce un Higgs supersymétrique?

ILC poussera la précision des mesures pour contraindre le modèle au niveau quantique afin de répondre à cette question



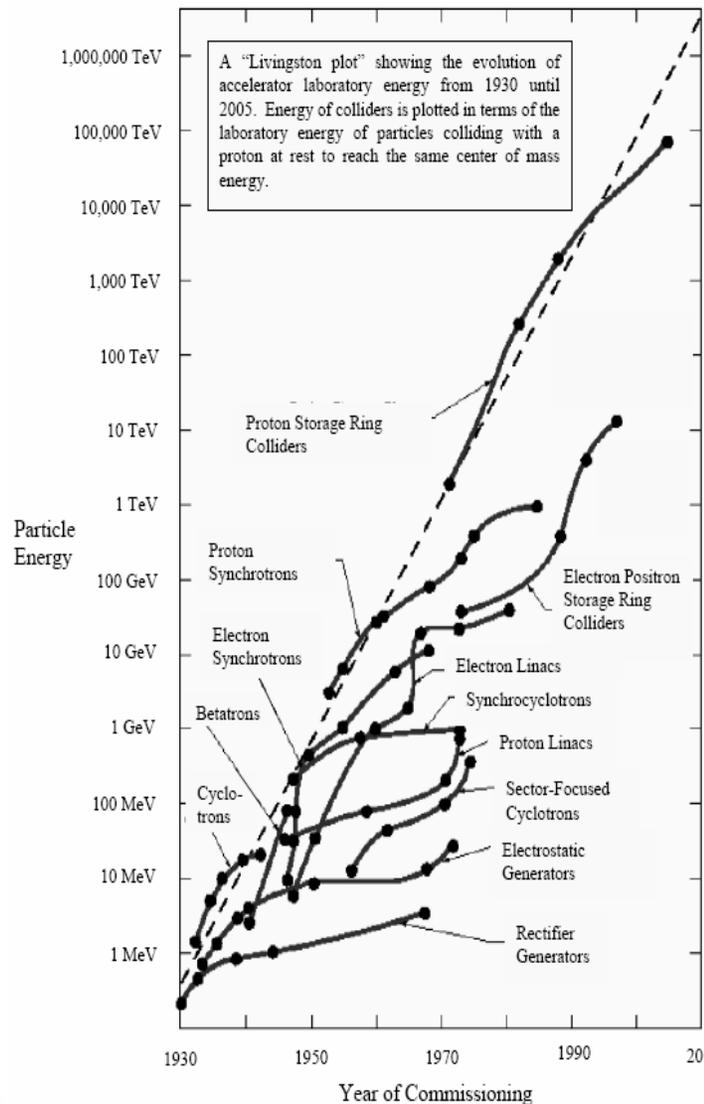
Winter 2007

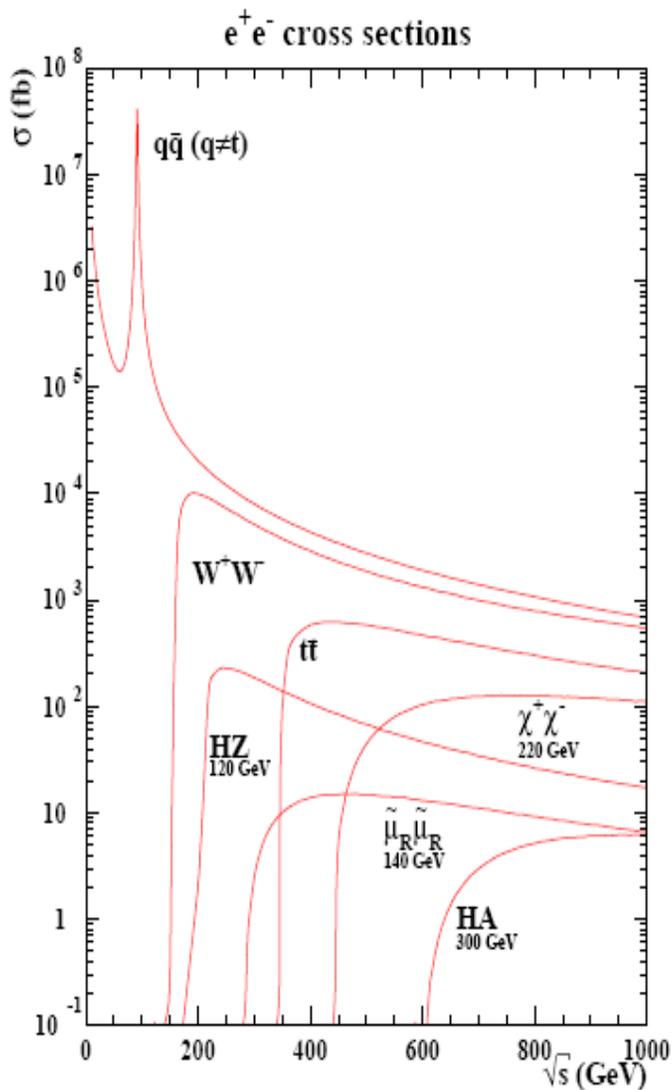
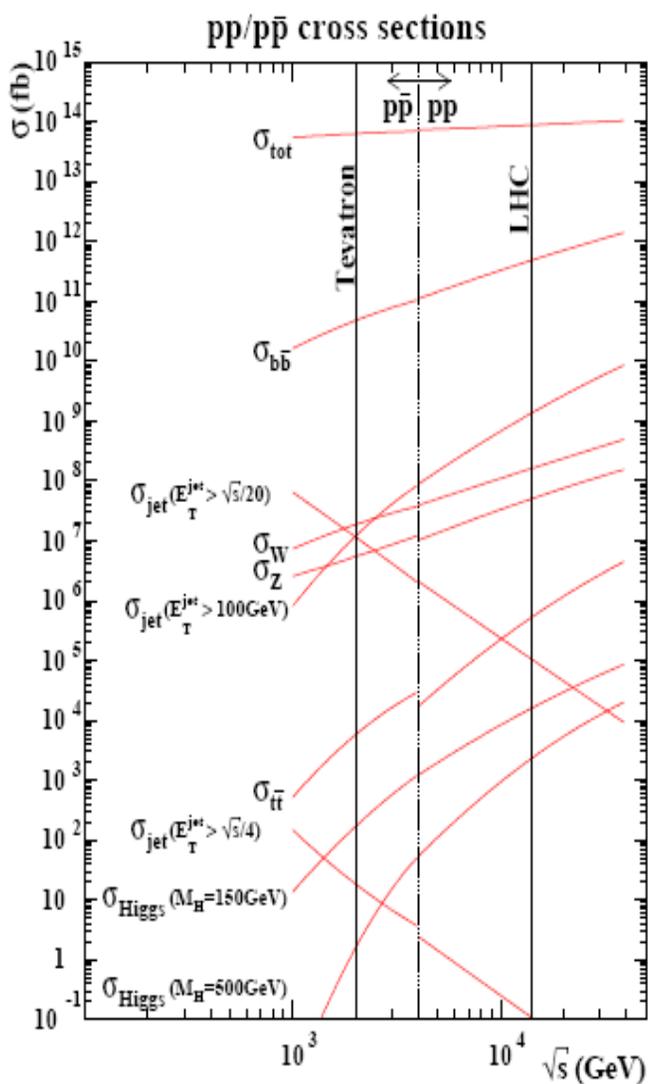
On doit pouvoir observer l'inattendu \Rightarrow réaliser des mesures indépendantes des modèles

Physique des collisions e^+e^- à haute énergie



- Collisions e^+e^-
- Dispersion du au beamstrahlung
 - 2,4 – 3,7%
- Polarisation
 - e^- 80% e^+ 60%
- Collisions ajustables en énergie
 - 500 GeV à 1 TeV
 - Option GigaZ
- Luminosité
 - 3 à 5 ab^{-1}
 - typiquement 500 fb^{-1} / année
- Option : collisions $\gamma\gamma$, $e\gamma$, e^-e^-
- Machine lente \Rightarrow pas d'empilement
- Pas de trigger





- **Etat initial contrôlé**

- **Bruits de fond contrôlés**

Particules initiales « électrofaibles » \Rightarrow contribution hadronique limitée

- **Avantage des effets de seuil**

- Choix du \sqrt{s} en fonction de la physique désirée
physique du Higgs @ seuil Zh
($\sim 300\text{GeV}$ pour $m_h \sim 120\text{ GeV}/c^2$)
- Mesures des masses :
 m_t @ seuil tt



● Nécessité de définir quelques mesures

- contraignantes, pour un choix de contexte expérimental (performances du détecteur ...)
- importantes du point de vu de la physique (élément de justification de l'ILC)
- robustes : les critères testés par les benchmarks doivent rester valides pour des scénarios non considérés

● Trois classes de processus

- Secteur de Higgs
- SUSY
- Mesures de précision dans le MS, indirectement sensibles à une nouvelle physique





Physics Benchmarks for the ILC Detectors

M. Battaglia, T. Barklow, Y. Okada, S. Yamashita, P. Zerwas

6 Mar 2006

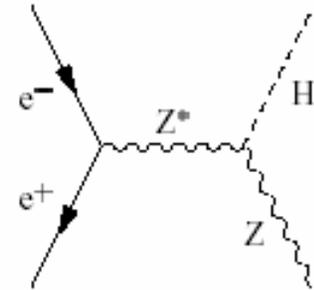
arXiv:hep-ex/060301v1

Process	Vertex	Tracking		Calorimetry		Fwd		Very Fwd	Integration					Pol.
	σ_{IP}	$\delta p/p^2$	ϵ	δE	$\delta\theta, \delta\phi$	Trk	Cal	θ_{min}^e	δE_{jet}	M_{jj}	ℓ -Id	V^0 -Id	$Q_{jet/vtx}$	
$ee \rightarrow Zh \rightarrow \ell\ell X$		x									x			
$ee \rightarrow Zh \rightarrow jjbb$	x	x	x			x				x	x			
$ee \rightarrow Zh, h \rightarrow bb/cc/\tau\tau$	x		x							x	x			
$ee \rightarrow Zh, h \rightarrow WW$	x		x		x				x	x	x			
$ee \rightarrow Zh, h \rightarrow \mu\mu$	x	x									x			
$ee \rightarrow Zh, h \rightarrow \gamma\gamma$				x	x		x							
$ee \rightarrow Zh, h \rightarrow invisible$			x			x	x							
$ee \rightarrow \nu\nu h$	x	x	x	x			x			x	x			
$ee \rightarrow tth$	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x			
$ee \rightarrow Zhh, \nu\nu hh$	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
$ee \rightarrow WW$										x				x
$ee \rightarrow \nu\nu WW/ZZ$						x	x		x	x	x			
$ee \rightarrow \tilde{e}_R \tilde{e}_R$ (Point 1)		x						x			x			x
$ee \rightarrow \tilde{\tau}_1 \tilde{\tau}_1$	x	x						x						
$ee \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{t}_1$	x	x							x	x		x		
$ee \rightarrow \tilde{\tau}_1 \tilde{\tau}_1$ (Point 3)	x	x			x	x	x	x	x					
$ee \rightarrow \tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_3^0$ (Point 5)									x	x				
$ee \rightarrow HA \rightarrow bbb$	x	x								x	x			
$ee \rightarrow \tilde{\tau}_1 \tilde{\tau}_1$			x											
$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \gamma + \cancel{E}$					x									
$\tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 + \pi_{soft}^\pm$			x					x						
$ee \rightarrow tt \rightarrow 6 jets$	x		x						x	x	x			
$ee \rightarrow ff [e, \mu, \tau; b, c]$	x		x				x		x		x		x	x
$ee \rightarrow \gamma G$ (ADD)				x	x			x						x
$ee \rightarrow KK \rightarrow f\bar{f}$		x									x			
$ee \rightarrow ee_{fwd}$						x	x	x						
$ee \rightarrow Z\gamma$		x		x	x	x	x							

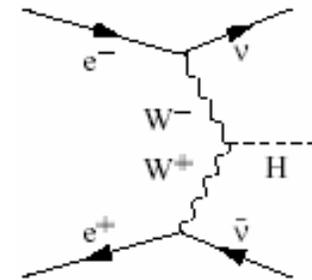


● Processus dominants

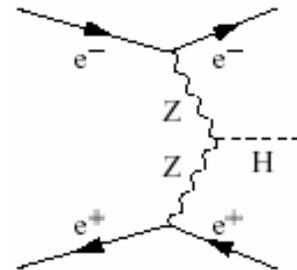
- a) Higgsstrahlung
 - σ en $1/s \Rightarrow$ dominant à basses énergies
- b) Fusion de W
 - σ en $\log(s/m_{h^2}) \Rightarrow$ dominant à haute énergie
- c) Fusion de Z
 - Pénalisée par le rapport CC / CN
 - σ inférieure d'un ordre de grandeur à $h\nu\nu$
 - Dans le cas de collisions e-e- même section que pour tout e+e-



(a) Higgsstrahlung



(b) W fusion



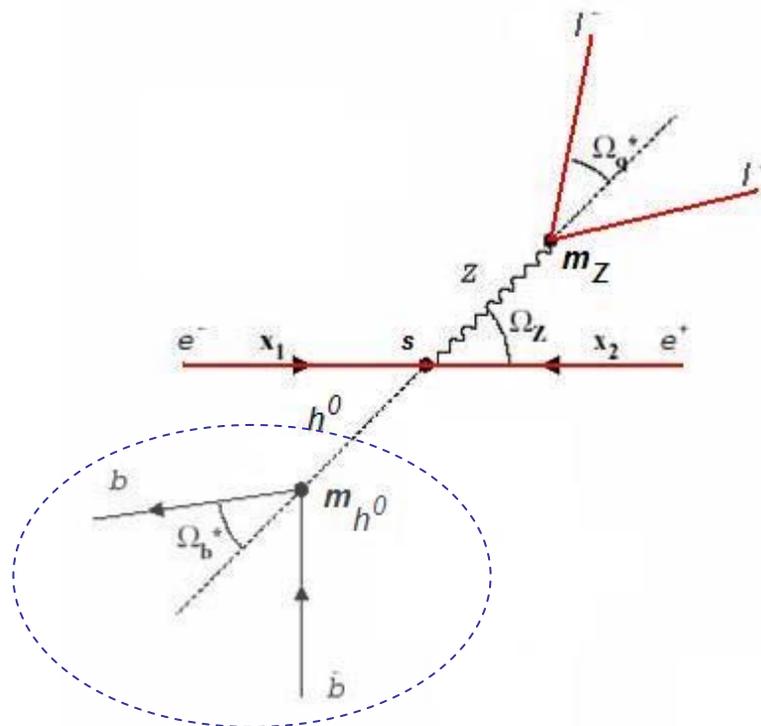
(c) Z fusion

● Nombre d'événements attendus

- À $\sqrt{s} = 350 \text{ GeV}$ $m_h = 120 \text{ GeV}$, $L = 500\text{fb}^{-1}$
80 000 Higgs attendus

Cas de la mesure de la masse de recul du Higgs (recoil mass)

- Hypothèse
 - Connaissance de m_Z , \sqrt{s}
 - Conservation de l'énergie-impulsion
- Nécessite
 - Une identification pure du Z
 - Une bonne mesure cinématique du Z
 - Emplois du canal $h \rightarrow b\bar{b}$
- Aucune mesure ne s'effectue sur les produits de désintégration du Higgs
- Précision : entre 40 et 80 MeV/c²

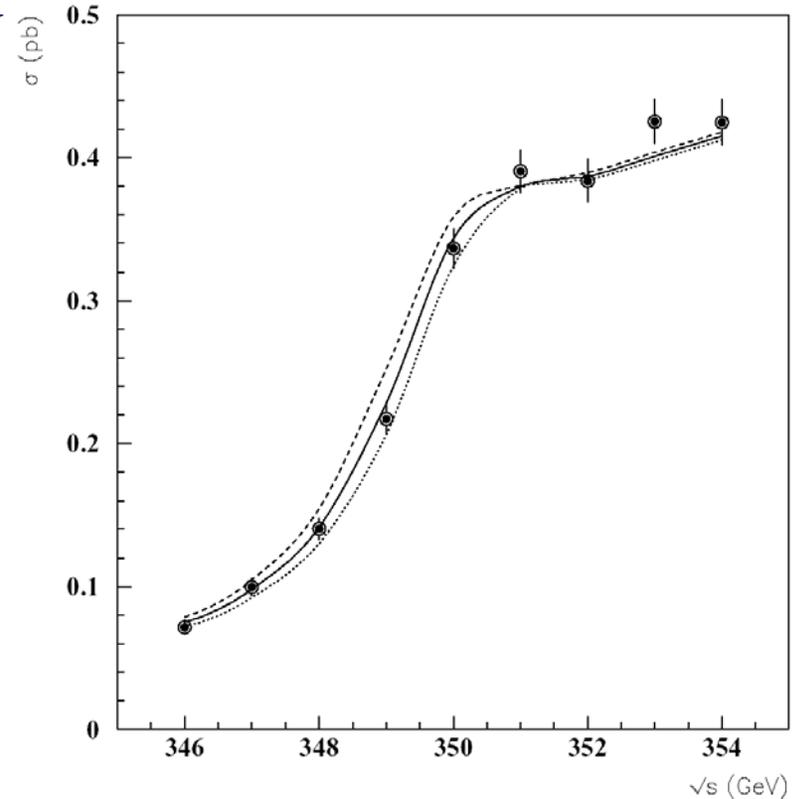


Avantage : Mesure indépendante de l'hypothèse d'une désintégration standard du Higgs

● Production de top au seuil (de 340GeV à 350GeV)

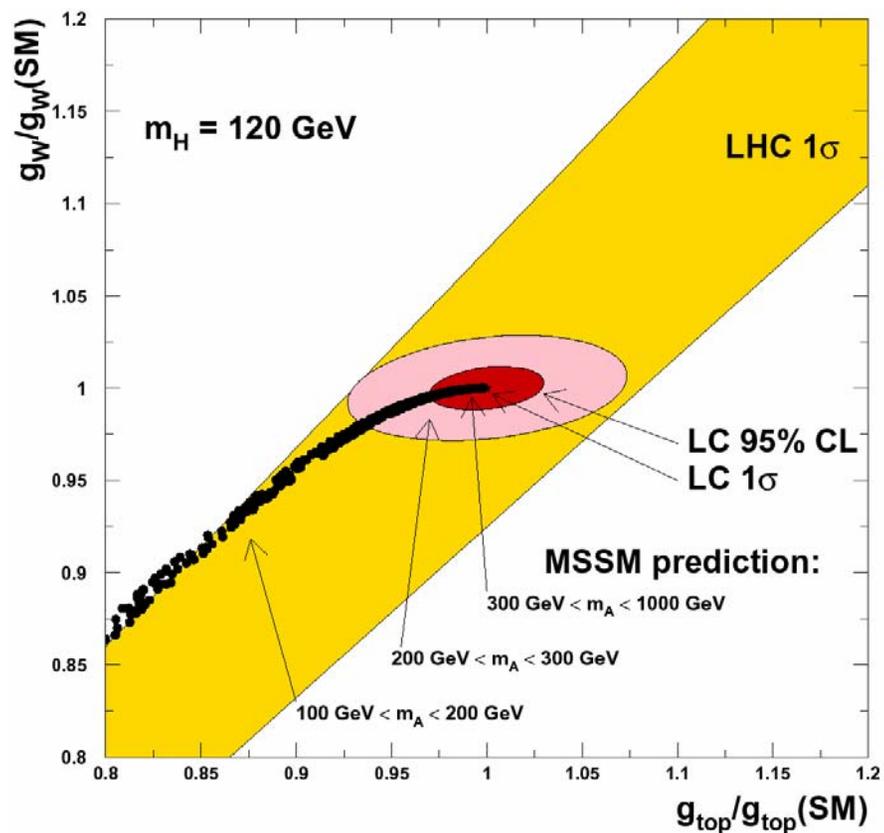
- Mesure de m_t au seuil
 $e^+e^- \rightarrow tt$
- Mesure robuste (cf. mesure de m_W au seuil à LEP2)

● Précision attendue pour $L=100\text{fb}^{-1}$ $\delta m_t \sim 100 \text{ MeV}/c^2$



- g_{HWW} en fonction de g_{Htt}
- Comparaison de la précision attendue aux écarts prédits dans le MSSM

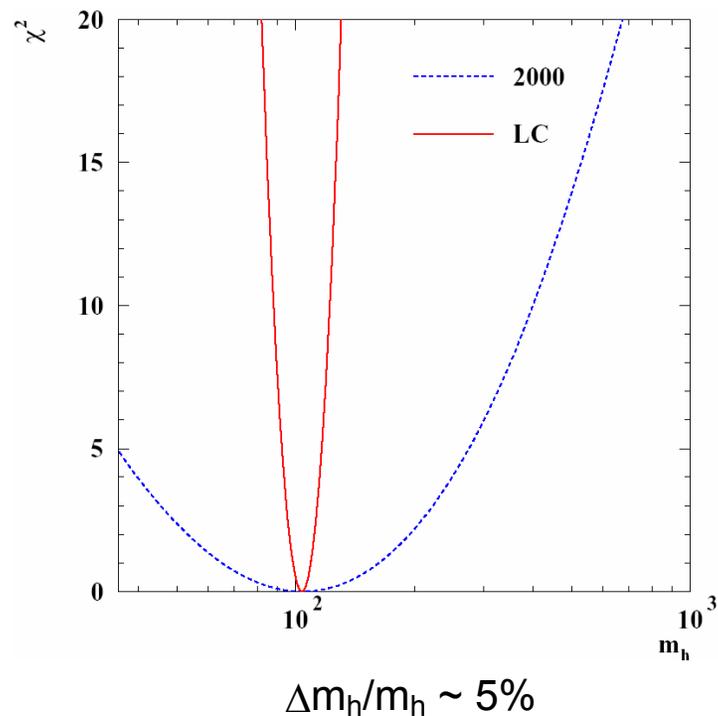
- $\delta m_0 \approx 0.09$ GeV
- $\delta m_{1/2} \approx 0.1$ GeV
- $\delta A_0 \approx 1$ GeV
- $\delta \tan\beta \approx 0.02$



Paramètres	m_H	Lumi., \sqrt{s}	Précision
m_H	120 GeV/c ²	500 fb ⁻¹ 350 GeV	± 40 MeV/c ²
m_H	150 GeV/c ²	500 fb ⁻¹ 350 GeV	± 70 MeV/c ²
$\Gamma_{H \rightarrow WW}$	120 GeV/c ²	500 fb ⁻¹ 350 GeV	$\pm 0,061$
Γ	160 GeV/c ²	500 fb ⁻¹ 500 GeV	$\pm 0,134$
Spin	120 GeV/c ²	30 fb ⁻¹ \sqrt{s} variable	Déterminé
g_{HWW}	120 GeV/c ² 140	500 fb ⁻¹ 500 GeV	$\pm 0,012$ $\pm 0,020$
g_{HZZ}	120 GeV/c ² 140	500 fb ⁻¹ 500 GeV	$\pm 0,012$ $\pm 0,013$
g_{Htt}	120 GeV/c ² 140	1000 fb ⁻¹ 800 GeV	$\pm 0,030$ $\pm 0,061$
g_{Hbb}	120 GeV/c ² 140	500 fb ⁻¹ 500 GeV	$\pm 0,022$ $\pm 0,022$
g_{Hcc}	120 GeV/c ²	500 fb ⁻¹ 500 GeV	$\pm 0,037$
g_{Htt}	120 GeV/c ²	500 fb ⁻¹ 500 GeV	$\pm 0,033$

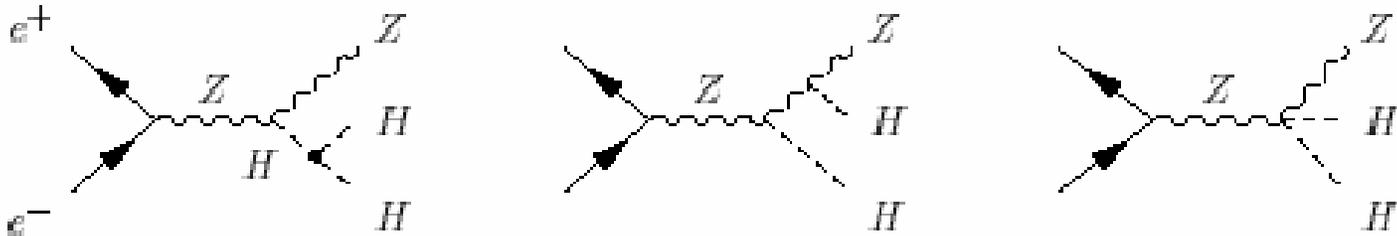


Paramètres	Lumi., \sqrt{s}	Précision
m_W	100 fb ⁻¹ variable	± 6 MeV/c ²
m_{top}	100 fb ⁻¹ variable	± 100 MeV/c ²



Ces mesures peuvent être effectuées sans hypothèse de modèle

- λ_{hhh} intervient dans les processus de double Higgs-strahlung : $e^+e^- \rightarrow Zhh$



- Constitue un test sévère du secteur de Higgs
- Mesure uniquement possible (\Leftrightarrow avec une précision $< 30\%$) à l'ILC
- Faible section efficace (@ $m_h = 120$ GeV) 0.15 fb \Rightarrow nécessite une haute luminosité

$$\Delta\lambda_{hhh}/\lambda_{hhh} \sim 1.75 \quad \Delta\sigma_{hhZ}/\sigma_{hhZ}$$

Mesure du couplage trilinéaire de Higgs



Signal : 3 canaux

- **hhqq**
 - 6 jets
 - m_h & m_Z

- **hhvv**
 - 4 jets
 - Energie manquante
 - m_h

- **hlll**
 - 4 jets
 - 2 leptons énergiques
 - m_Z & m_h

• Chaque événement est reconstruit en

- 6 jets
- 4 jets
- 2 jets

• *Jet pairing* basé sur la masse invariante de la paire de jets

- Différentes associations pour tester différents états finals
hhZ, hh(vv), ZZZ, ZZ, WWZ, ...
- Pour chaque événement, calcul d'un χ^2
 - $\chi^2_{hhZ} = (m_{12} - m_h)^2 / \sigma^2_h + (m_{34} - m_h)^2 / \sigma^2_h + (m_{56} - m_Z)^2 / \sigma^2_Z$
 - $\chi^2_{ZZ} = (m_{12} - m_h)^2 / \sigma^2_Z + (m_{34} - m_Z)^2 / \sigma^2_Z$
 - ...



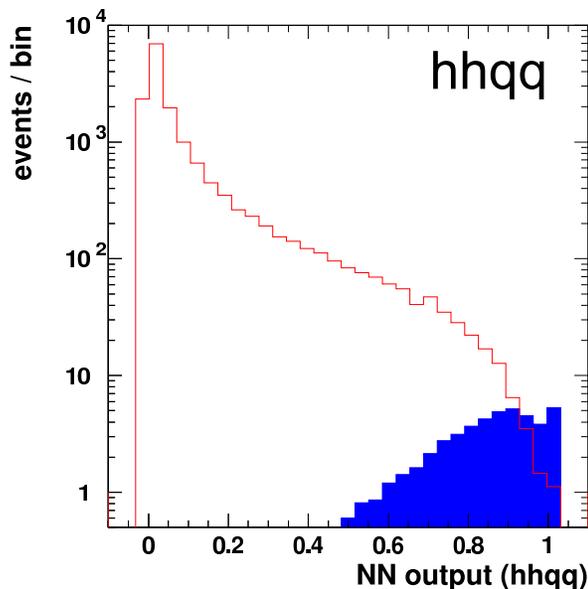
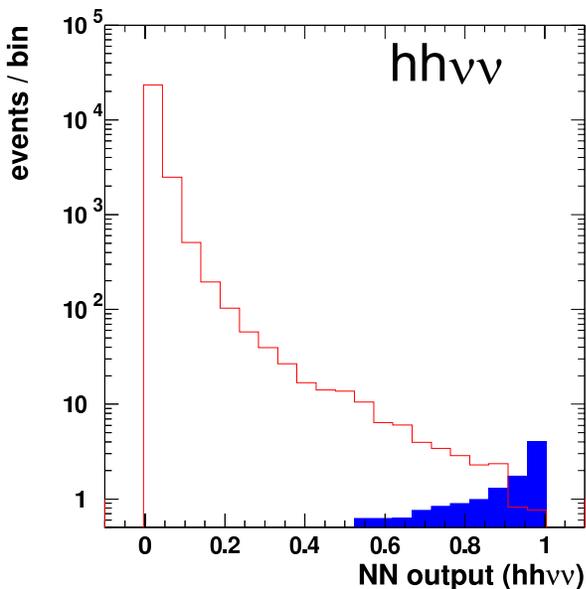
- Présélection séparant hhll, hhvv et hhqq
- Utilisation de multivariables (NN)

Inputs globaux :

- Energie visible
- Sphéricité

Inputs de reconstruction:

- Nombre de jets (y_{cut})
- χ^2_{hhZ} χ^2_{hh} $\chi^2_{\text{2-bosons}}$ $\chi^2_{\text{3-bosons}}$:
- Cohérence des masses reconstruites
- Étiquetage global des b



λ_{hhh} est mesuré par la maximisation d'une fonction de vraisemblance 2D (NN output \times btag)

La précision statistique attendue est évaluée avec des pseudo-expériences

- Pour obtenir un résultat réaliste, une luminosité supérieure à la luminosité attendue doit être générée

prohibitif pour une simulation complète

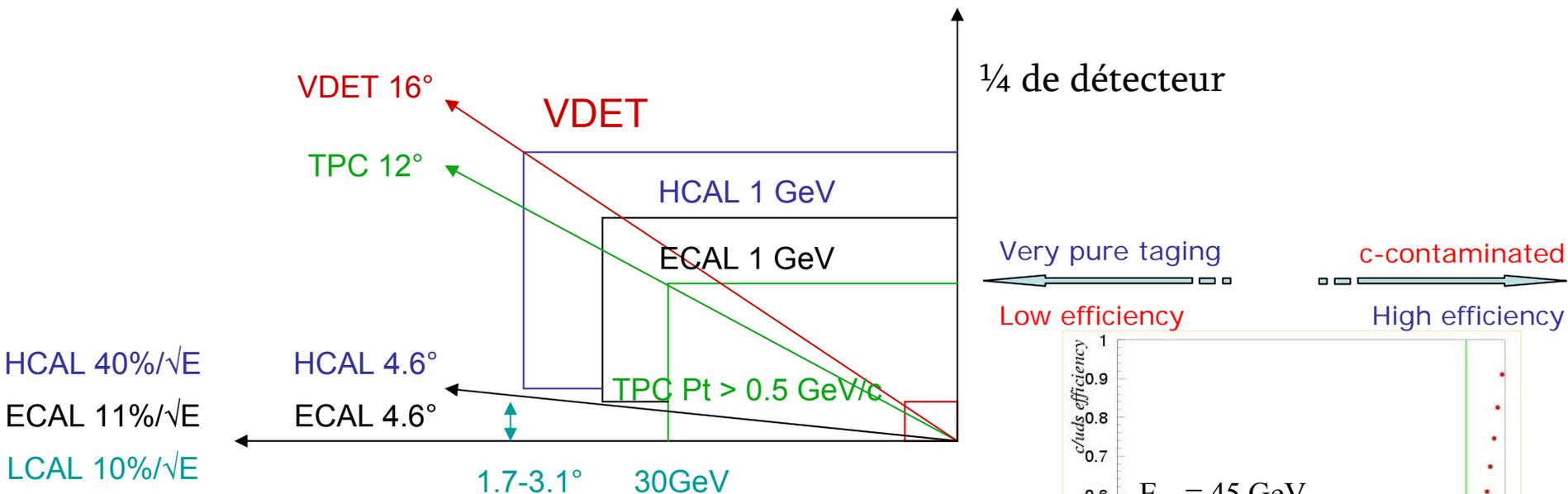
- Monte Carlo paramétrique

Processes	$\sigma(\text{fb})$	N attendus ($L = 500 \text{ fb}^{-1}$)
hhZ	0,1528	76,4
Bruit de fond	699	332 167
tt	526,4	263 200
ZZZ	1,051	525
tbtb	0,7	350
ZZ	45,12	22 560
vvtt	0,141327	70
WWZ	35,3	17 650
Wtb	16,8	8 400
eeZZ	0,287	143
vvWW	3,627	1 813
evZW	10,094	5 047
ZZh	0,5	250
vvZZ	1,08257	541
ttZ	0,6975	349



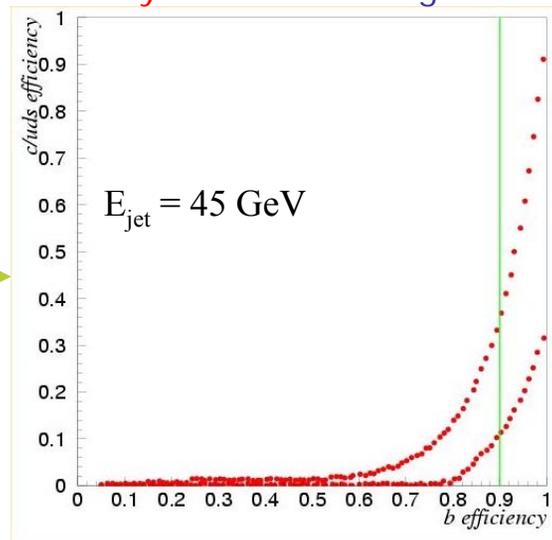
Résolution Acceptances

Seuils



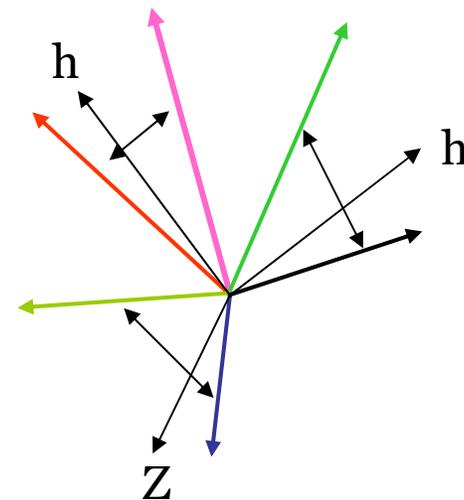
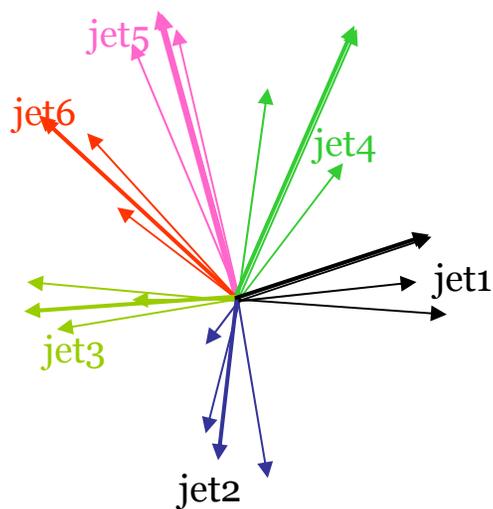
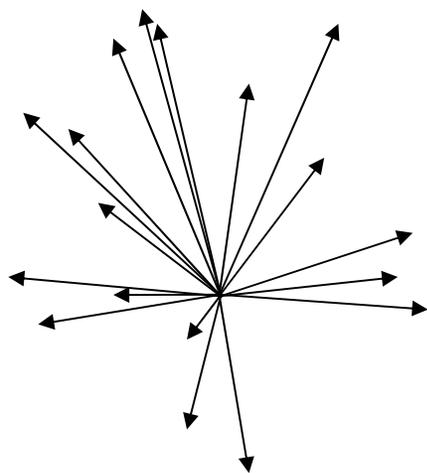
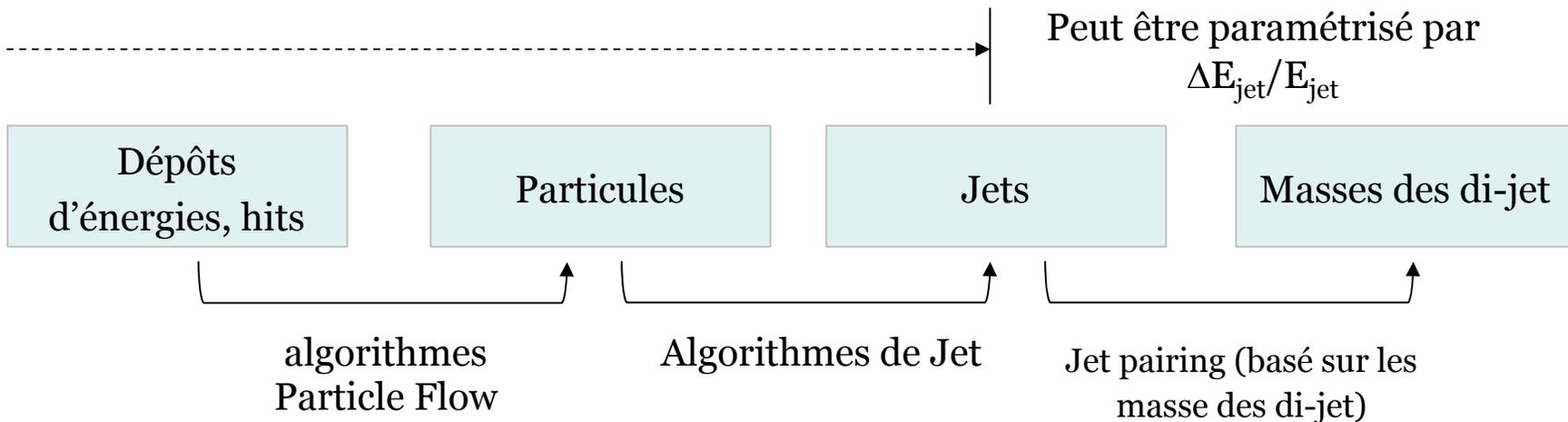
Paramétrisation du VDET

- 5 μm , 5 couches
- Rapport ctag/btag paramétrisé avec paramètre d'impact
- Choix de l'efficacité à optimiser



(Richard Hawkins parametrisation)





Simulation de différentes

↪ résolutions *particle flow*

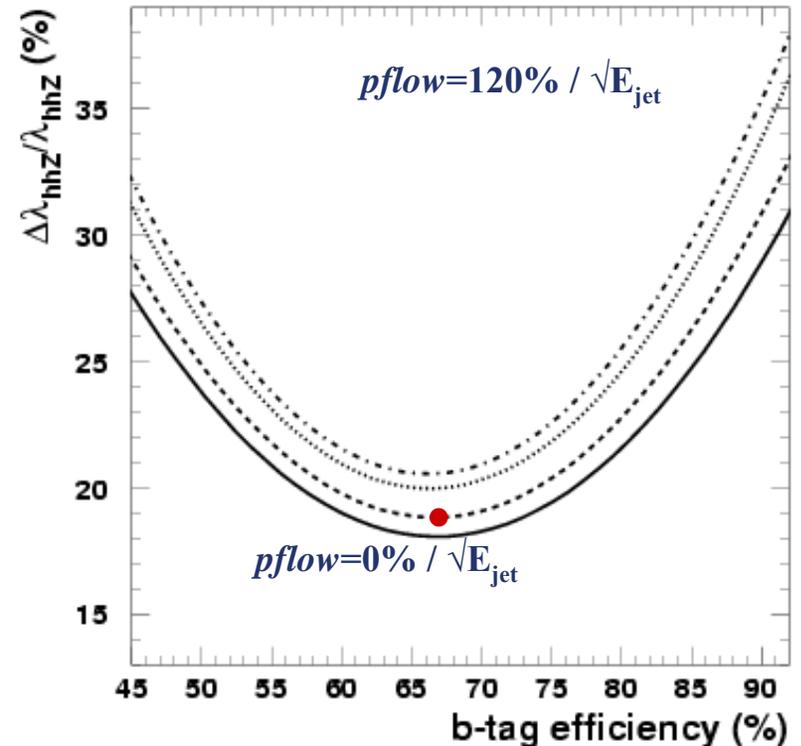
↪ efficacités d'étiquetage de b



Analyse réoptimisée pour chaque hypothèse

- Pour un $pflow = 30\% / \sqrt{E_{jet}}$, une précision de **19%** sur λ_{hhh} peut être atteinte
- $pflow$ à $30\% / \sqrt{E_{jet}} \rightarrow$ gain de 1/1.5 en luminosité (par rapport à $100\% / \sqrt{E}$)
- Grande sensibilité à la pureté du b -tag

$L=2ab^{-1}, \sqrt{s}=500GeV$



La reconstruction par algorithmes *particle flow*



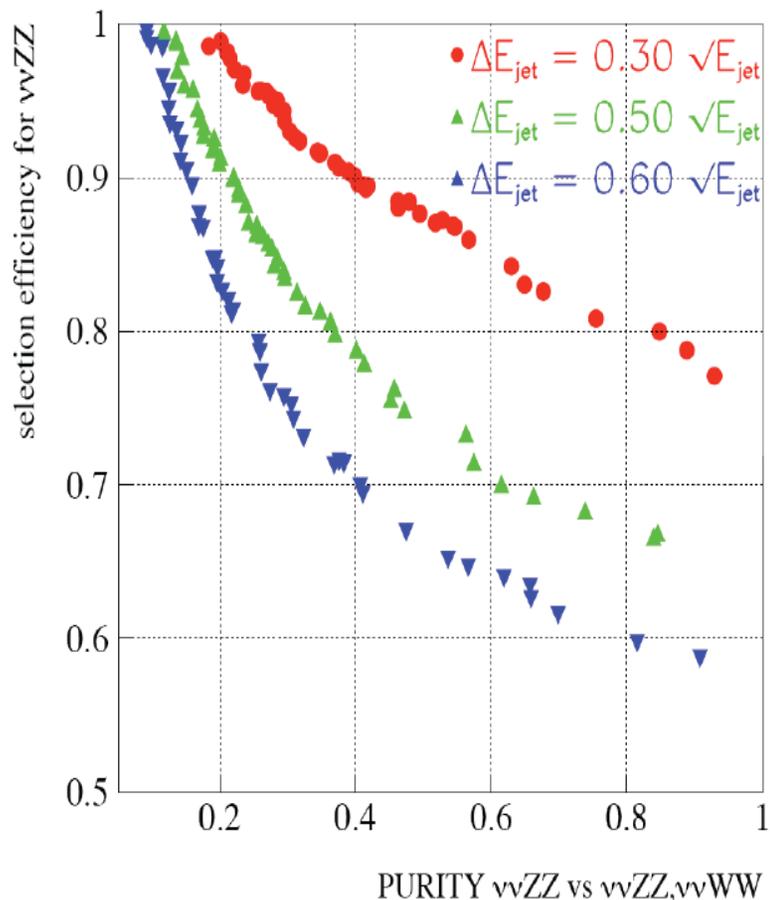
- Nous avons considéré : $\sigma_{E_{\text{jet}}}/E_{\text{jet}} = 30\%/\sqrt{E_{\text{jet}}}$
- Un jet est typiquement constitué de :
 - 65% particules chargés \leftrightarrow détecteurs de traces
 - 25% photons \leftrightarrow calorimètres EM
 - 10% hadrons neutres \leftrightarrow calorimètres EM et hadroniques

$$\sigma_{E_{\text{jet}}}^2 = \sigma_{E_{\text{charged}}}^2 + \sigma_{E_{\text{photons}}}^2 + \sigma_{E_{\text{neut.had.}}}^2 + \sigma_{\text{confusion}}^2$$

négligeable ↓ ↓ ↓
 $\sim (0,6\%)^2 E_{\text{jet}}$ $\sim (1,3\%)^2 E_{\text{jet}}$ $\sim (26\%)^2 E_{\text{jet}}$

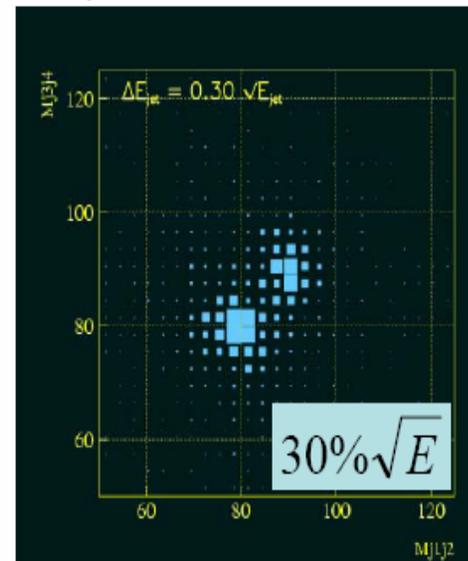
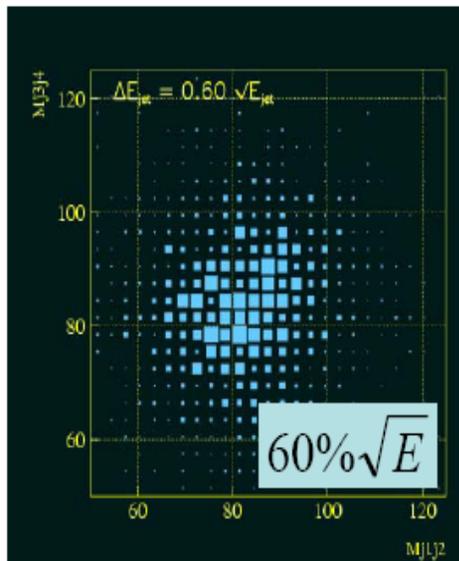
- Pourquoi $30\%/\sqrt{E_{\text{jet}}}$?

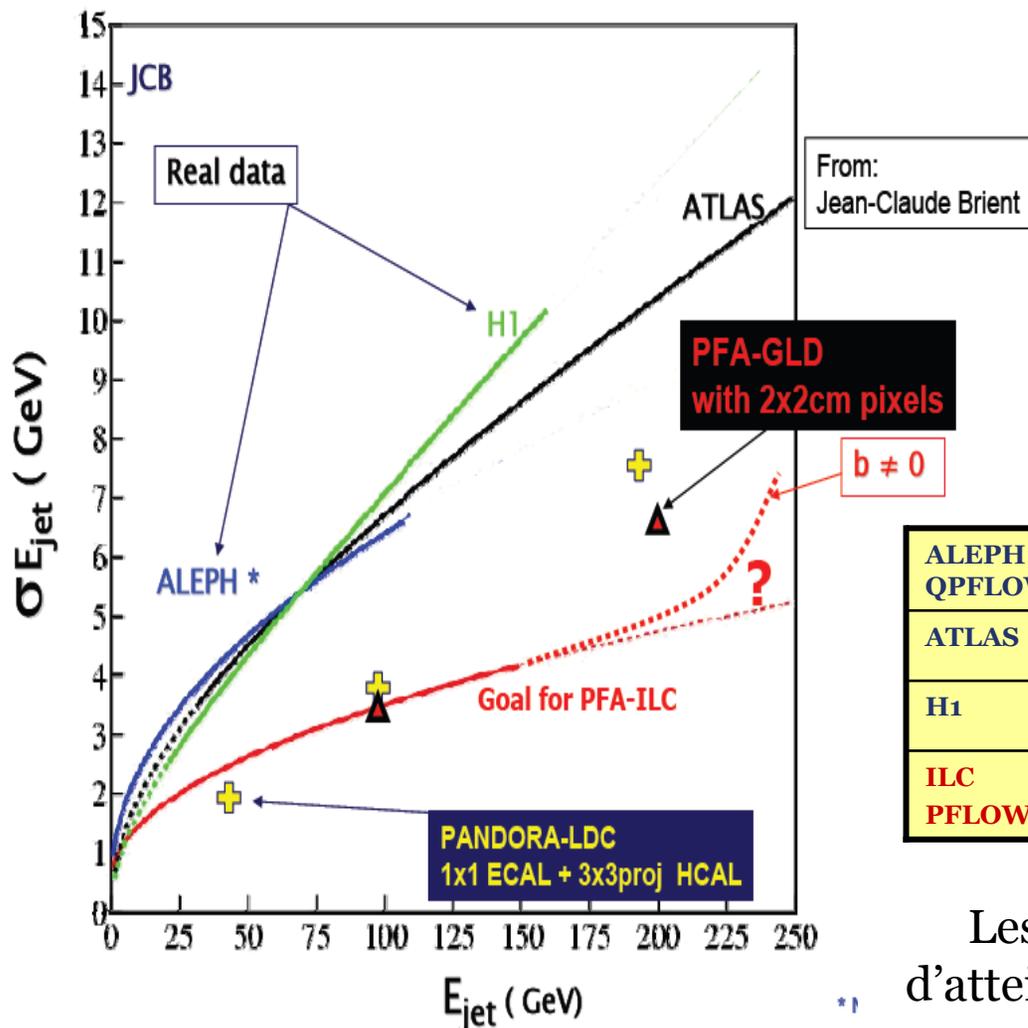




Influe fortement sur la capacité à effectuer l'appariement des jets, à séparer les W des Z

exemple: $e^+e^- \rightarrow WW\nu\bar{\nu}$, $e^+e^- \rightarrow ZZ\nu\bar{\nu}$





$$\Delta E_j = a\sqrt{E_j} \oplus bE_j \oplus c$$

	a	b	c (GeV)
ALEPH QPFLOW	0.59	0	0.6
ATLAS	0.6	0.03	0
H1	0.5	0.05	0
ILC PFLOW	0.3	0	0.5

Les algorithmes existants permettent d'atteindre cette résolution sur simulations complètes pour $E_{jet} < 150$ GeV



L'étiquetage des leptons τ

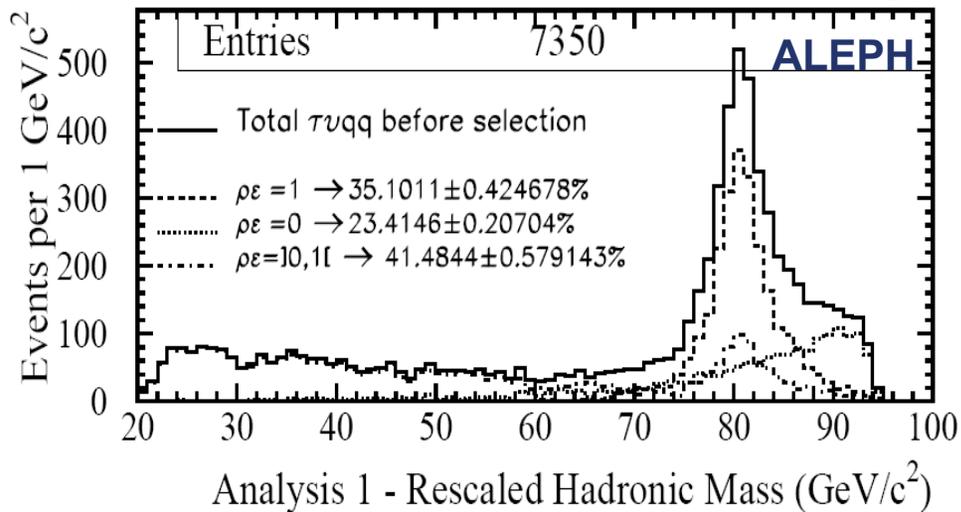
Masse invariante du W après une reconstruction en 3 jets

● L'efficacité de l'étiquetage des τ est un bon test pour les algorithmes *particle flow*

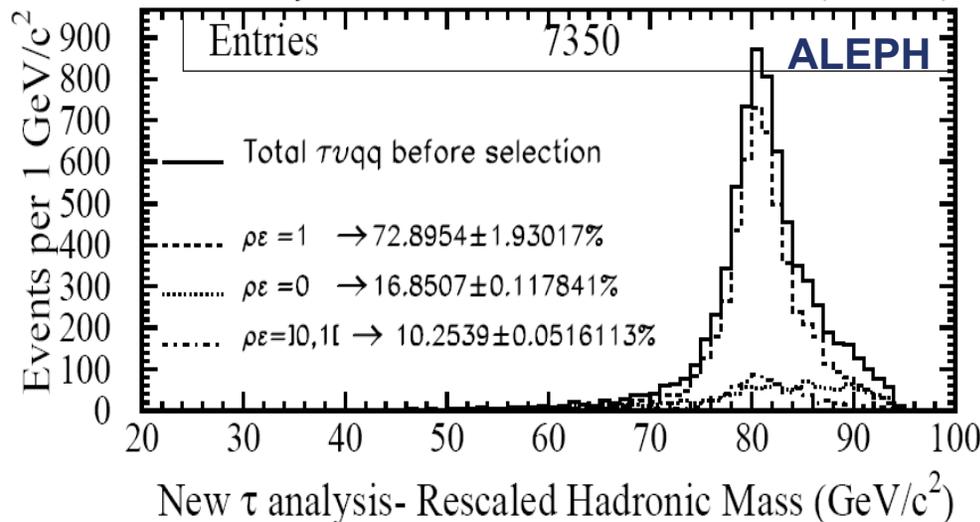
- nécessite de reconstruire des π^0 , π^\pm et γ en amont
- important pour la physique : H violant CP, SUSY

● Canal benchmark retenu : $e^+e^- \rightarrow hZ \rightarrow h\tau^+\tau^-$

● Exemple de l'impact de l'étiquetage des τ sur une mesure de précision : m_W dans ALEPH
($e^+e^- \rightarrow W^+W^- \rightarrow qq\tau\nu$)



Masse invariante du W après un τ id dédié



Comment atteindre 30%/√E ?

- Reconstruire de façon optimale toutes les particules d'un événement ⇒ optimise la résolution sur E_{jet}

$$\sigma_{E_{\text{jet}}}^2 = \underbrace{\sigma_{E_{\text{charged}}}^2}_{\text{négligeable}} + \underbrace{\sigma_{E_{\text{photons}}}^2}_{\sim (0,6\%)^2 E_{\text{jet}}}_{\downarrow} + \underbrace{\sigma_{E_{\text{neut.had.}}}^2}_{\sim (1,3\%)^2 E_{\text{jet}}}_{\downarrow} + \underbrace{\sigma_{\text{confusion}}^2}_{\sim (26\%)^2 E_{\text{jet}}}_{\downarrow}$$

Matériaux du détecteur + segmentation + choix des algorithmes ←

- La réduction du terme de confusion se fait

- en améliorant l'assignation traces-dépôts
 - en réduisant les doubles comptages
 - en effectuant une séparation efficace des dépôts
- ⇒ algorithmes astucieux
- ⇒ bonne résolution spatiale (**granularité ⊕ faible rayon de Molière**)

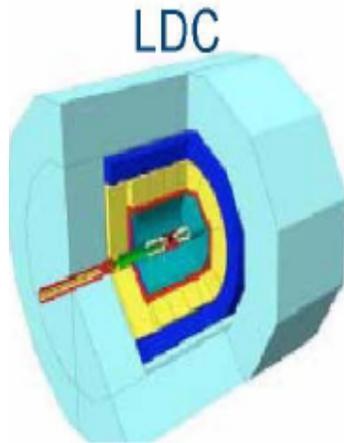
Motive l'option ECAL Si-W



Les concepts détecteurs à l'ILC

Pourquoi l'option Si-W ?





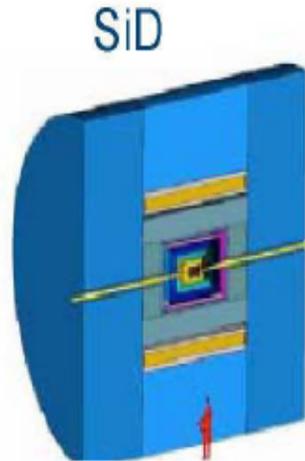
LDC

TPC (B=4T)



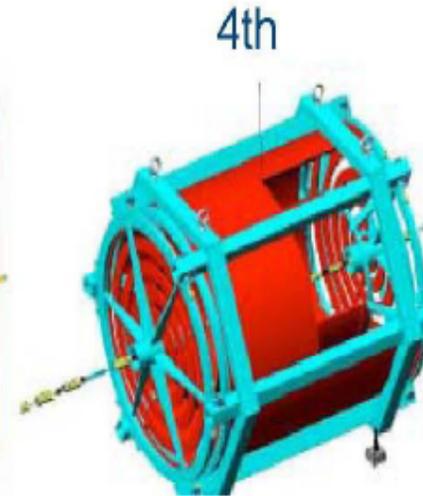
GLD

TPC (B=3T)



SiD

Silicon (B=5T)



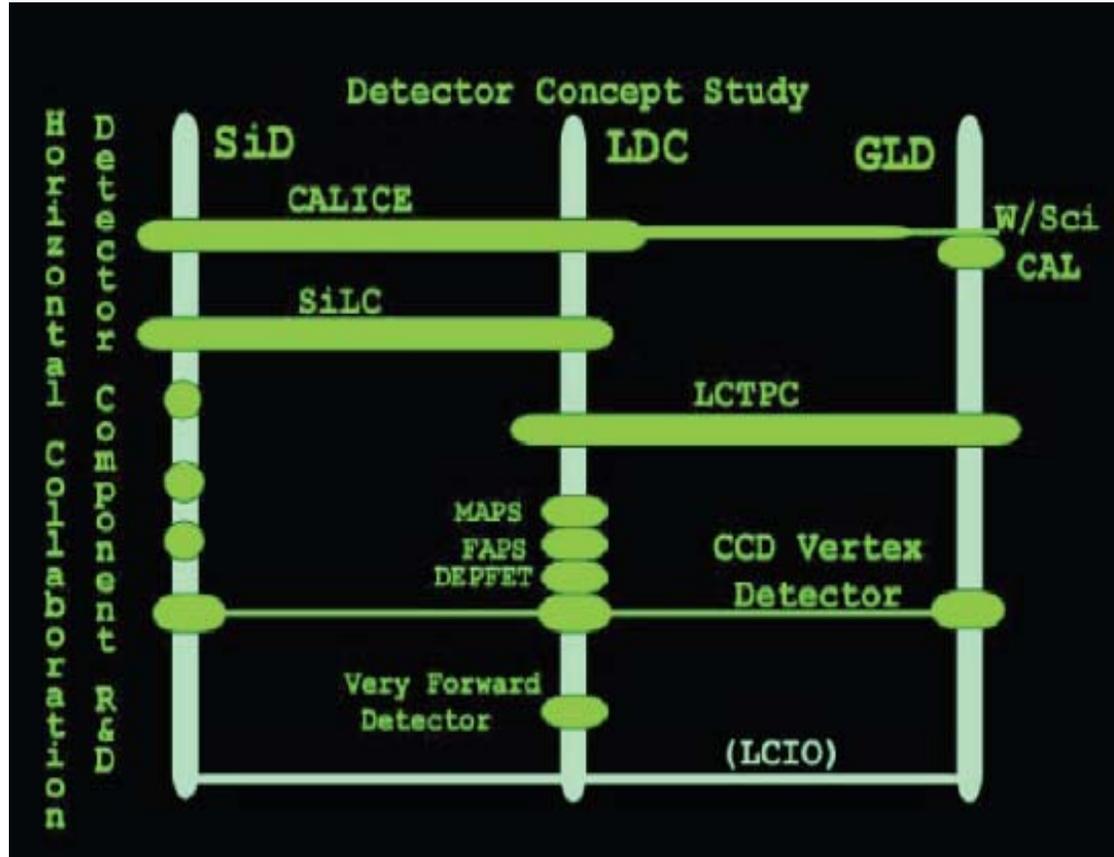
4th

TPC (B=3.5 T)

Fusionnés depuis septembre 2007

ILD

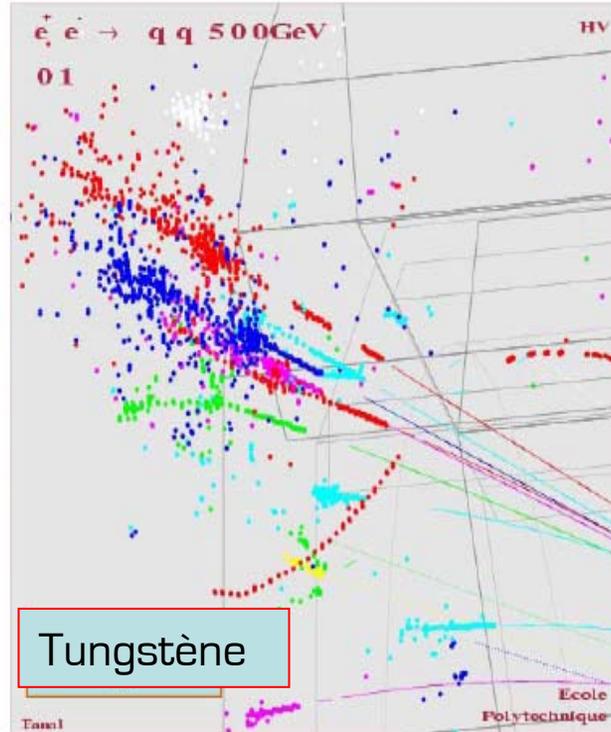
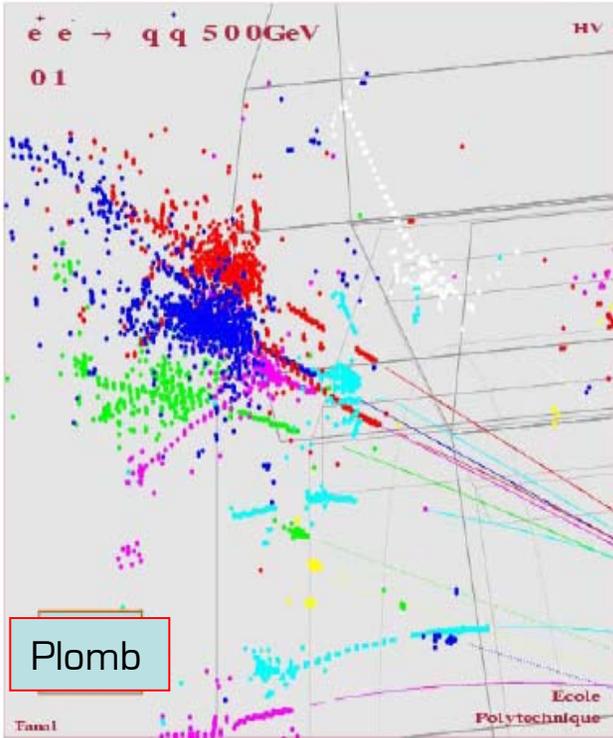




Pourquoi un calorimètre Si-W ?

- Le silicium permet d'atteindre une granularité de $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$ avec des épaisseurs réduites
- Le tungstène possède un faible rayon de Molière R_M (W) 9 mm

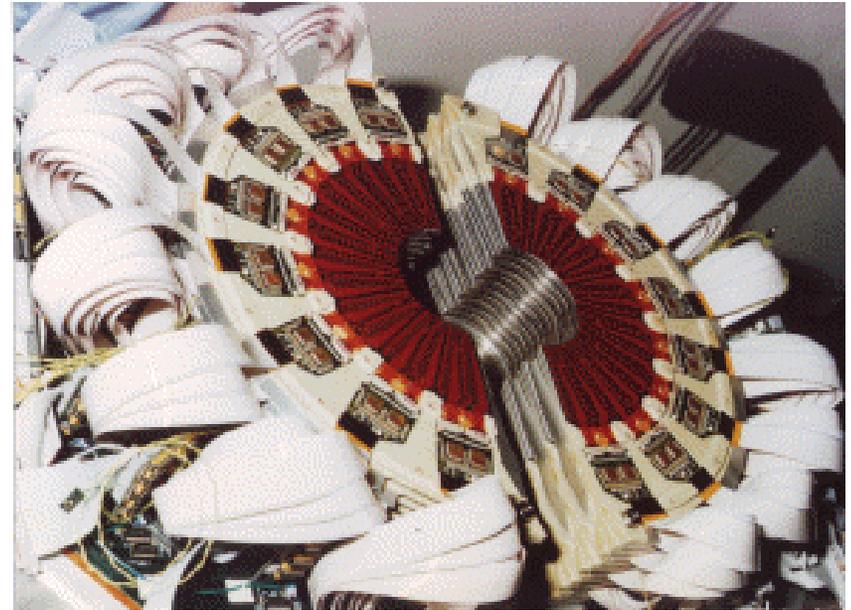
R_M (W) 9 mm



(many images courtesy H.Videau)



- Dans ALEPH le (premier) luminomètre était un ECAL Si-W en forme de disques
- A fournit un test en conditions réelles



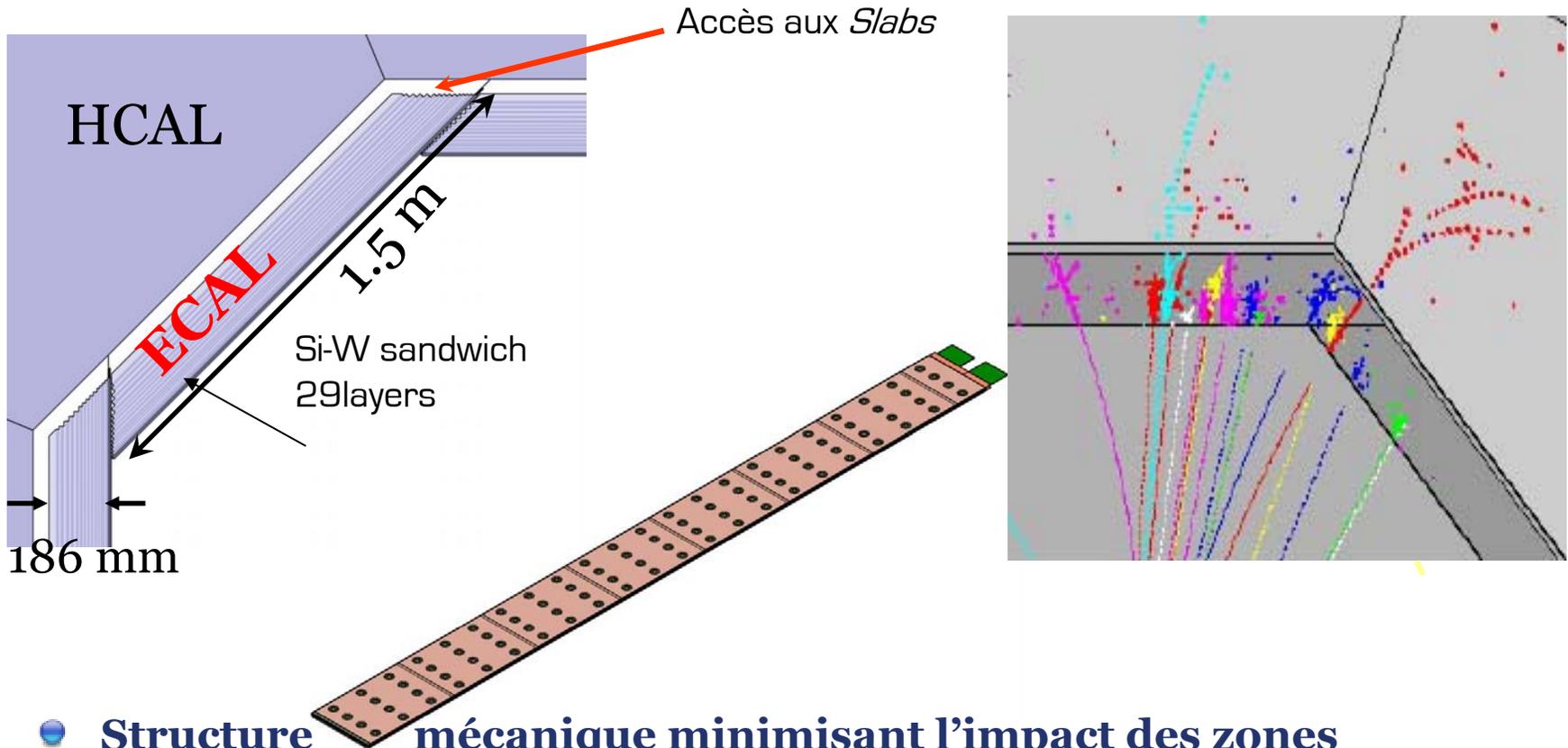


Collaboration de :

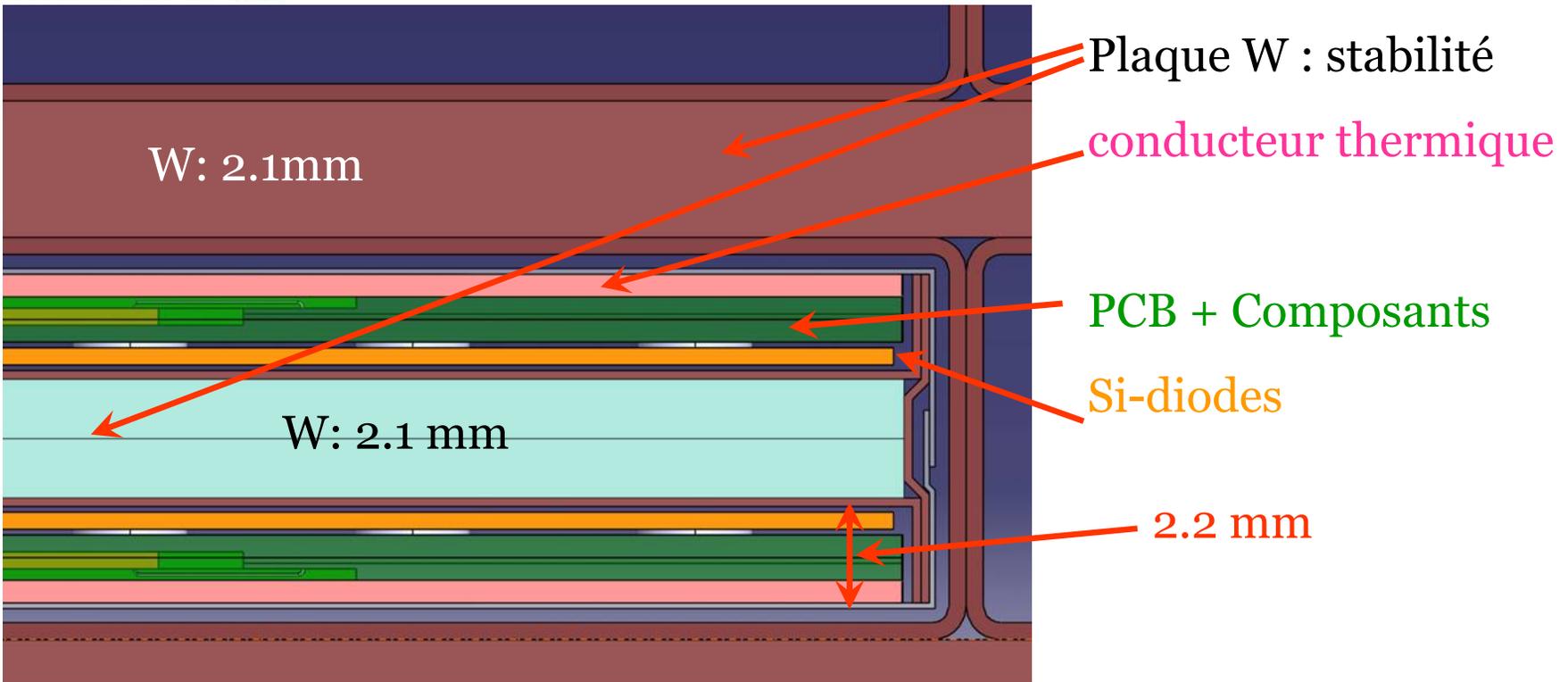
- 168 physiciens & ingénieurs
- 28 instituts
- 8 pays
- 3 continents

- **Coordination de la R&D → vers un *proposal* et un module 0**
- **Les efforts de CALICE couvrent toute la chaîne, de la R&D à l'analyse de données en faisceau test :**
 - Détecteur (prototype)
 - Acquisition
 - Software de reconstruction et format de données communs
 - Setup faisceau test
 - Caractérisation





- **Structure mécanique minimisant l'impact des zones mortes entre modules**
- **Calorimètre EM très compact (~19 cm de large)**
- **Numérisation des mesures dans les calorimètres**
- **ECAL : 80 millions de canaux**



Challenge pour l'électronique :

épaisseur : 2.2 mm

longueur : 1.5 m

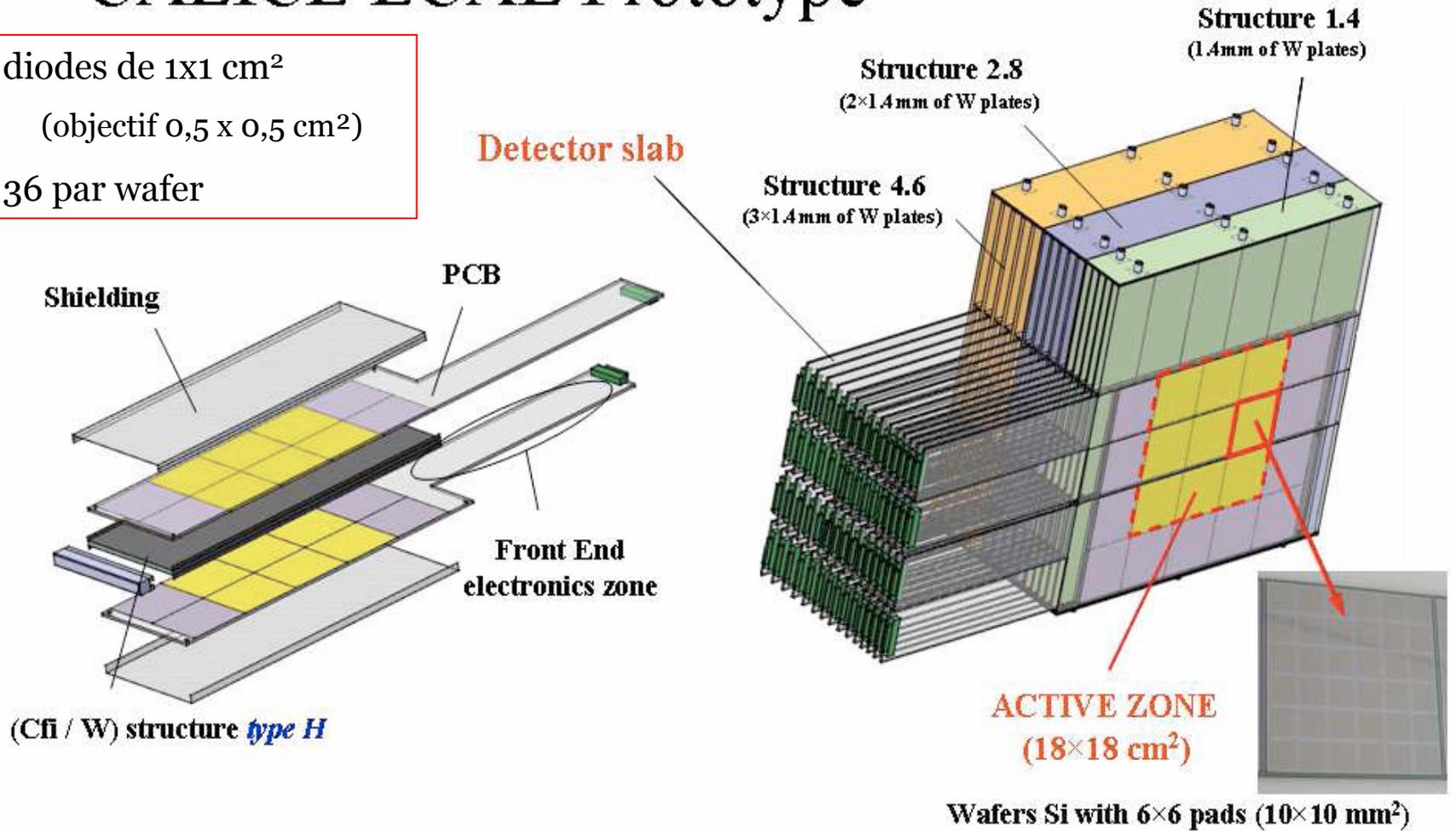
Rayon de Molière attendu

W pur : 9 mm

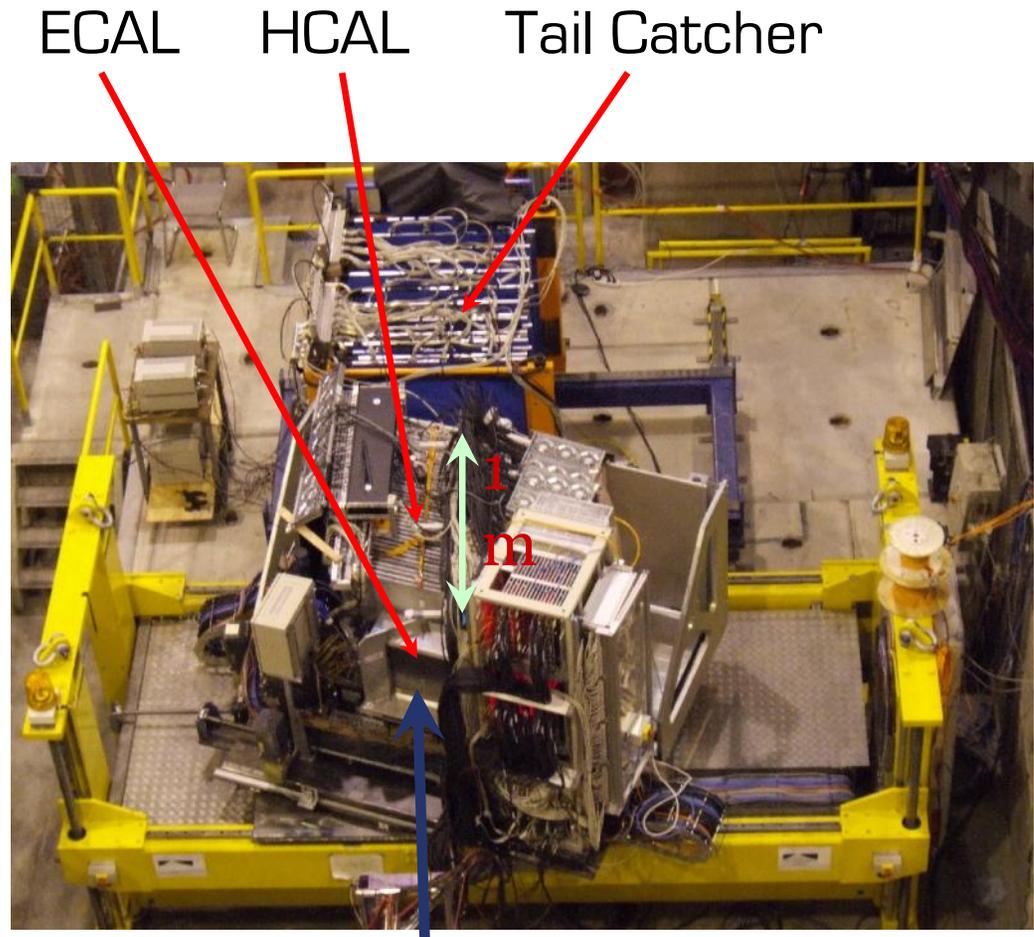
W + structure: ~ 14 mm

CALICE ECAL Prototype

- diodes de $1 \times 1 \text{ cm}^2$
(objectif $0,5 \times 0,5 \text{ cm}^2$)
- 36 par wafer

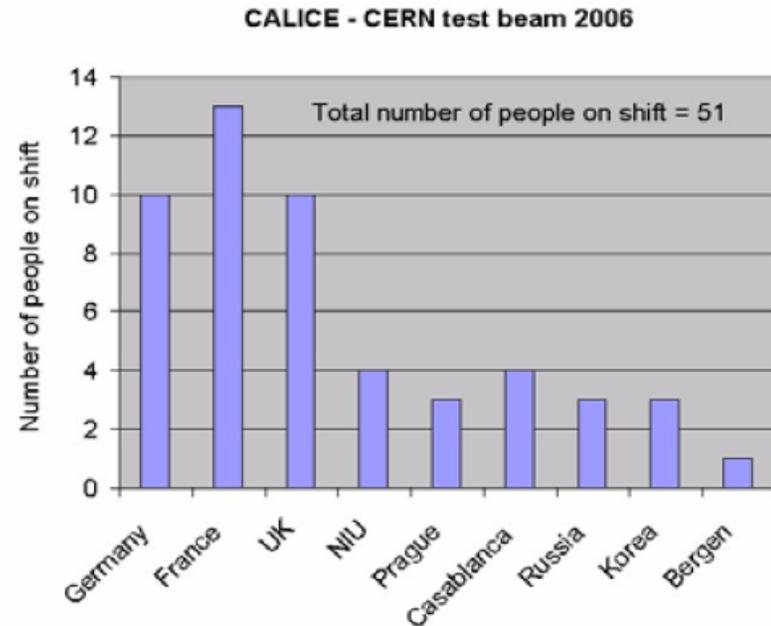
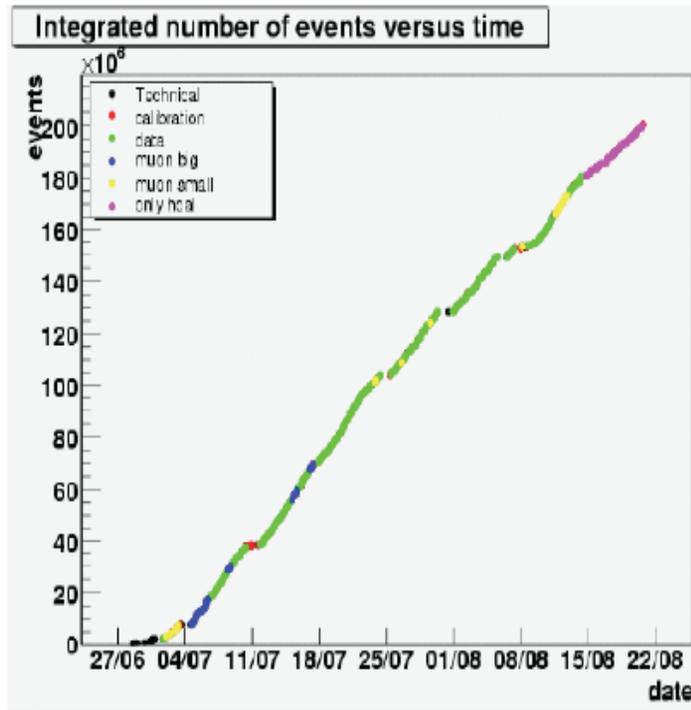


- TestBeam sur ECAL, HCAL, Tail Catcher
- 3 Campagnes à DESY et au CERN, de 2006 à 2007
- Campagne à venir au FNAL (mai et juillet 2008)



Faisceau (e^- ou π)

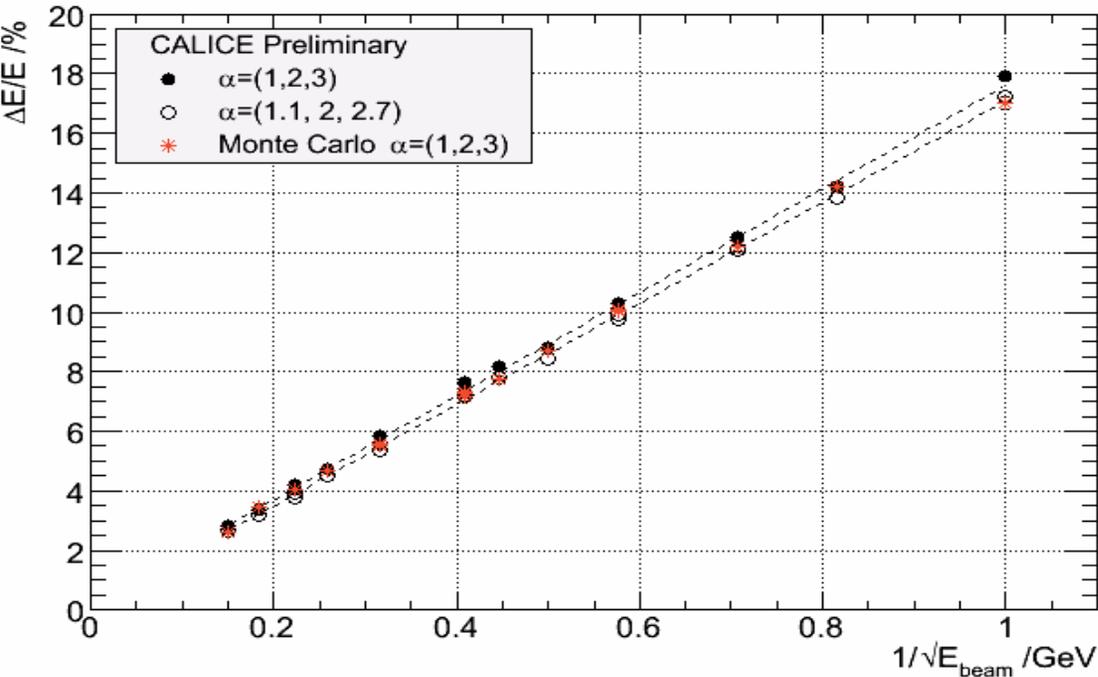
- 24 M d'événements accumulés en 2006 (DESY + CERN)
- 30 M d'événements accumulés en 2007 (CERN)
- Energies de 1 GeV à 50 GeV
- Différents angles d'incidence
- $e^- e^+ \pi^{+/-} \mu$



- **Fonctionnement, stabilité, bruit, calibration ...**
- **Aspect *hardware* → publication en cours dans NIM**
Description and Commissioning of the Physics Prototype of a Si-W Electromagnetic Calorimeter for the International Linear Collider
- **Déterminer la résolution du calorimètre et sa linéarité**
- **Déterminer le profil**
 - Transverse des gerbes EM → rayon de Molière
 - longitudinal des gerbes EM → capacité à identifier les photons
- **Maîtriser l'inhomogénéité**
 - Transversale → comprendre et corriger des zones non instrumentées et résolution spatiale
 - Longitudinale → contrôler l'échantillonnage
- **Aspect *caractérisation physique***
→ **publication en phase de finalisation**



$$\frac{\Delta E}{E} (\%) = \frac{17.7 \pm 0.1}{\sqrt{E}} \oplus (1.1 \pm 0.1)$$

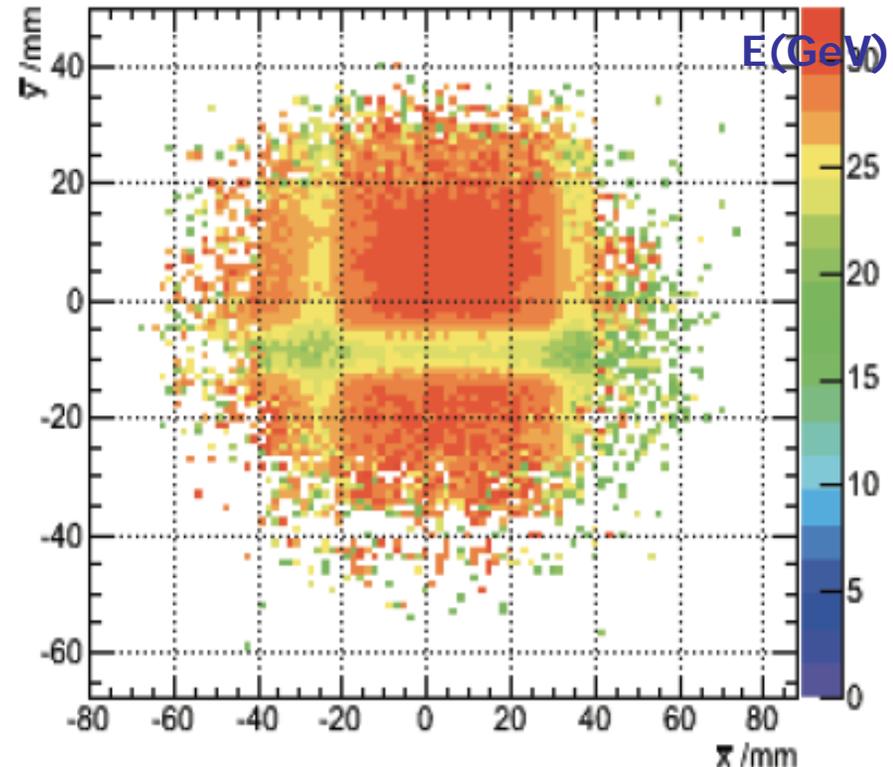


L'utilisation d'un facteur de calibration par couche (pair/impair) améliore la résolution de $0.3\%/\sqrt{E}$ à haute énergie, de $0.6\%/\sqrt{E}$ à basse énergie



Démontre le degrés de compréhension du ECAL

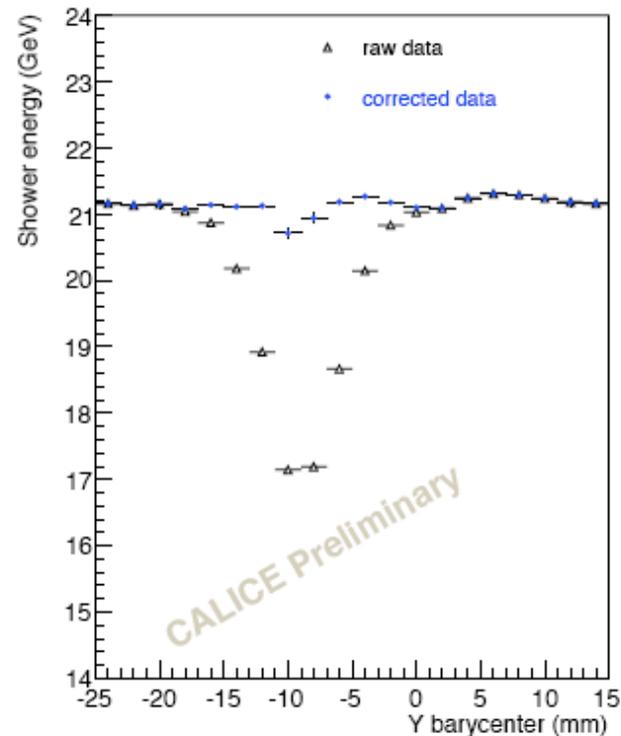
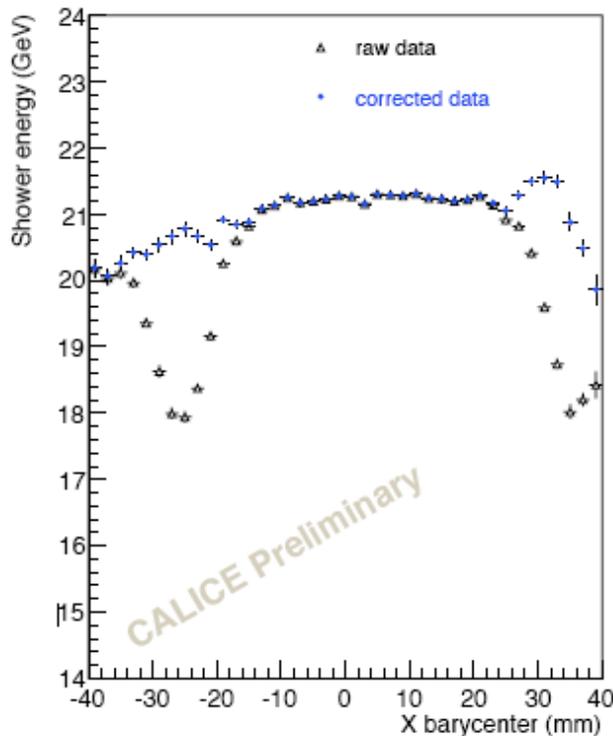
- Modélisation de la perte en énergie dans les zones non instrumentées
- Pertes de l'ordre de 20%
- La résolution sur la barycentre des gerbes permet de prédire la perte d'énergie en fonction de la distance au *guard-rings* (*zone morte*)



Illustre la résolution spatiale

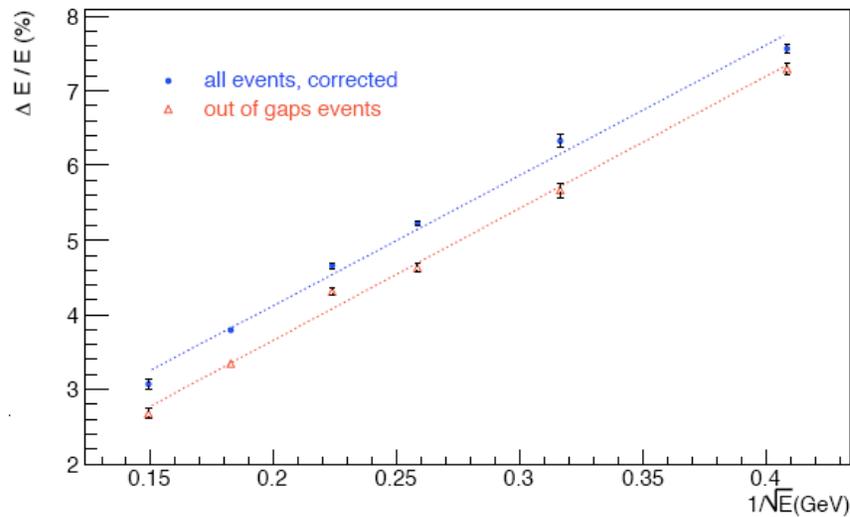
● **Application de la correction sur l'énergie reconstruite**

20 GeV electrons, global barycentre

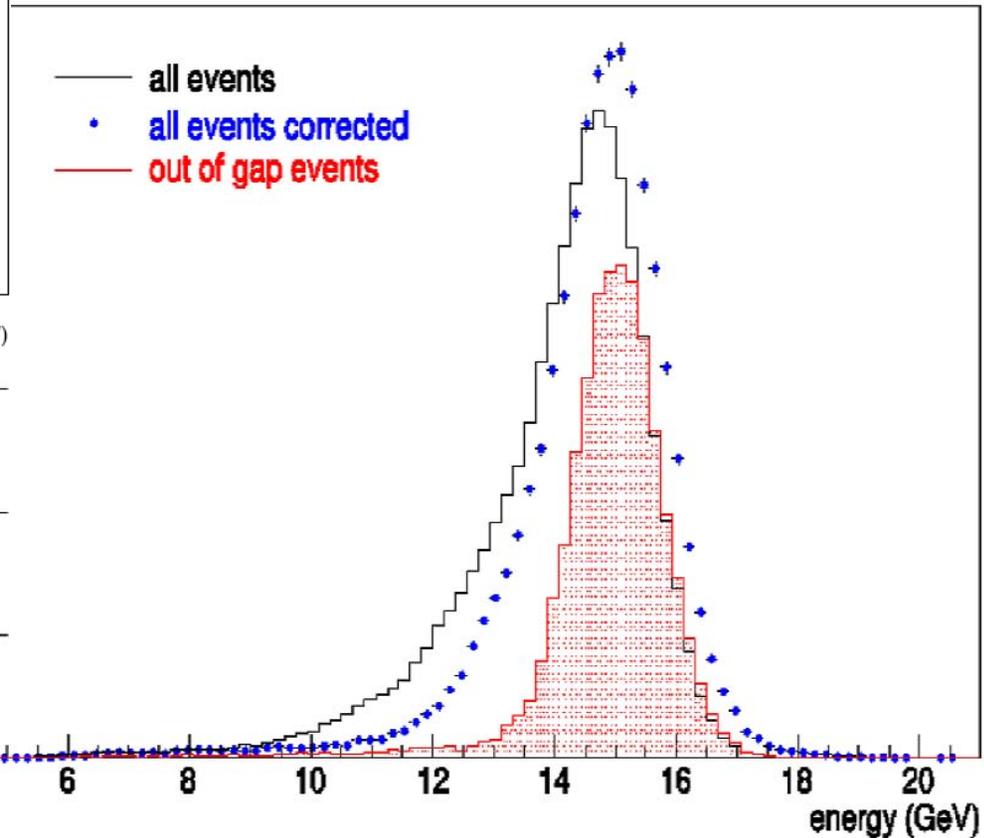


● **Démontre le contrôle des inhomogénéités transversales (avec le ECAL seul)**





- résolution conservée
- terme constant faiblement augmenté
- meilleure efficacité





- *Reference Design Report* prêt depuis août 2007.
- Lettre(s) d'intention pour 2009.
- La prochaine étape sera la publication du *Technical Design Report Phase 1* (TDR1) avant 2010, puis le TDR2. Dès lors, l'ILC sera prêt pour une approbation et la recherche d'un site pourra commencer.
- ~2012 : période clé correspondant à l'acceptation du projet
- La construction devrait alors commencer pour une durée estimée à 7 années.

La synergie avec le LHC

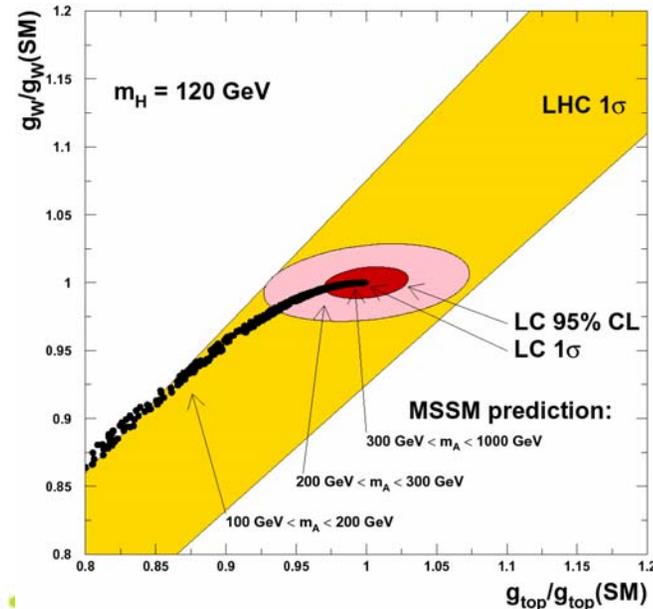
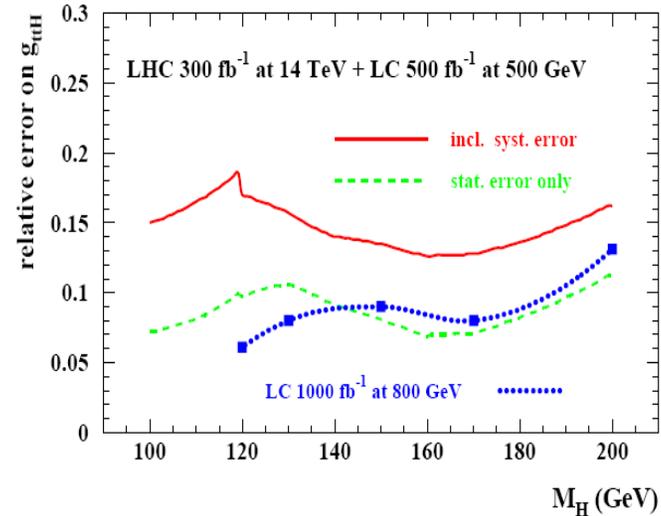
Complémentarité et cross-talk



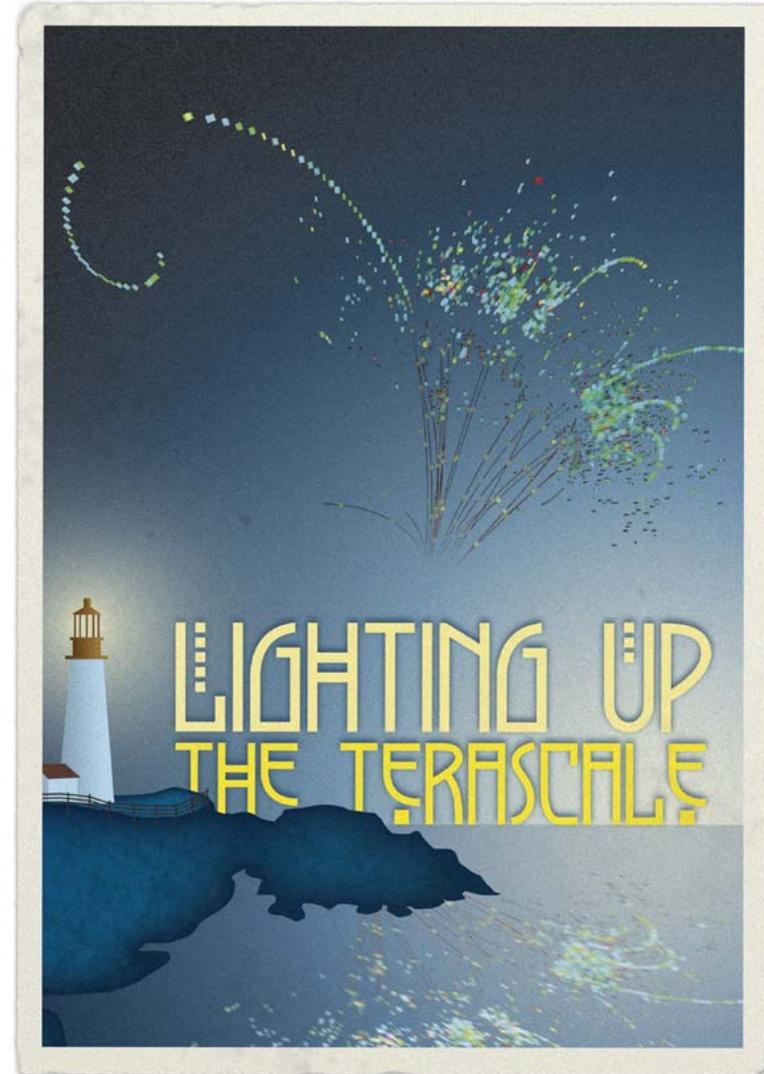
- **G. Weiglein et *al.*, *Physics Interplay of the LHC and the ILC*, hep-ph/0410364**
- **Quels apports ?**
 - ILC + LHC : l'un mesure ce que l'autre ne voit pas
 - ILC \oplus LHC : les observations se combinent
 - ILC \otimes LHC : l'un influence le fonctionnement de l'autre : *cross-talk*

Mesure du couplage g_{Htt}

- N'est exploitable à l'ILC qu'à forte énergie, forte luminosité (pénalisant pour d'autres analyses)
- Seul un rapport (g_{Htt}/g_{HWW}) est mesurable au LHC
- L'ajustement de ces deux couplages à partir de $(g_{Htt}/g_{HWW})_{LHC}$, $(g_{Htt})_{ILC}$ et $(g_{HWW})_{ILC}$ fournit une précision exploitable avec un ILC à basse énergie et faible luminosité



- L'apport d'une expérience e^+e^- à 500 GeV, 1 TeV sera riche
- Les choix de R&D sont faits pour la physique. Les efforts en R&D sont avancés avec des objectifs clairs
- L'ILC possède une souplesse qui lui permettra de s'adapter à des données provenant d'autres expériences et de leur fournir des indications : l'ILC se fera en synergie avec le LHC



- Figure pg #5: LEP EW Working Group, Tevatron EW Working Group
- Figures pg #28, 29 : J.-C. BRIENT (LLR)
- Figure pg #35 : Henri VIDEAU (LLR)
- Figure pg #36: ALEPH Collaboration
- Figure pg #41 : CALICE test beam website, Picture from F. Salvador
http://www.pp.rhul.ac.uk/~calice/fab/WWW/shift_schedule_2007.php
- Figures pg#40, 42, : Report to the Calorimeter R&D Review Panel, CALICE Collaboration, June 2007
- Figure pg#44, 45, 46, 47 CALICE Collaboration, contribution to LCWS07
- Figures pg#48: International Linear Collider

