

ATLAS



# Recherche du Boson de Higgs chargé et étiquetage des jets b

Avec l'expérience ATLAS au LHC

Rémy ZAIDAN

JRJC – décembre 2007

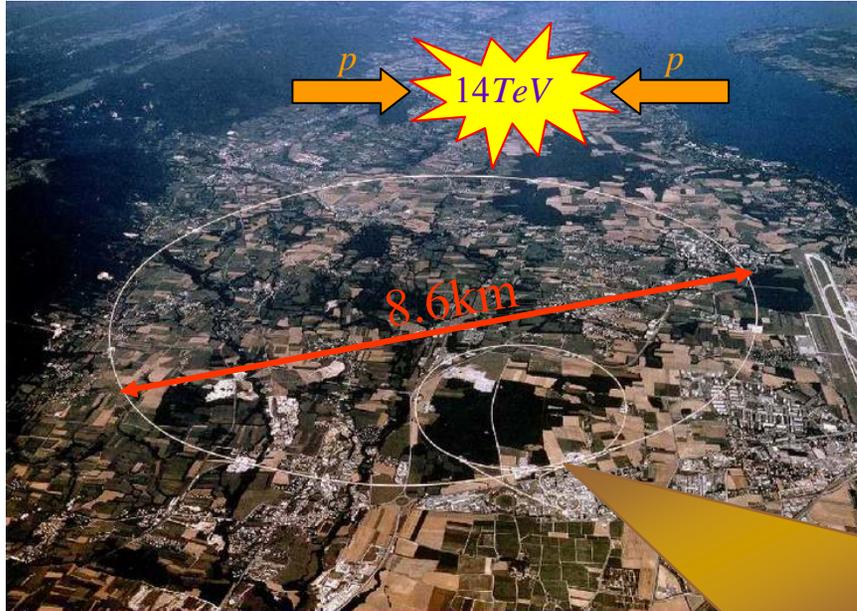
# Plan

- **Le Cadre expérimental:**
  - ATLAS et le LHC.
- **Le cadre théorique:**
  - Le Mécanisme de Higgs dans le Modèle Standard
  - La Supersymétrie et le boson de Higgs.
- **Recherche du boson de Higgs Chargé – L'analyse:**
  - La présélection.
  - L'étiquetage des jets b.
  - La reconstruction à l'aide d'une fonction de vraisemblance.
  - Résultats.
- **Résumé et conclusion.**

# Cadre Expérimental

---

# ATLAS et le LHC

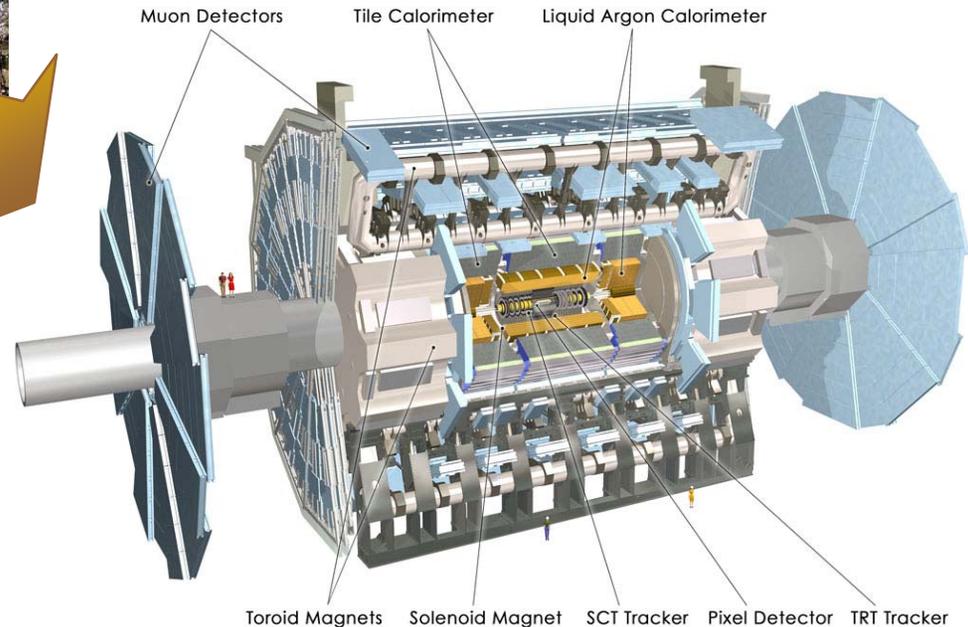


## Le LHC:

- Collisionneur proton-proton
- 14 TeV au centre de masse
- 27 km de circonférence
- 40 MHz de collisions

## ATLAS:

- 22 m x 42 m - 7000 tonnes
- $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Physique:
  - Higgs
  - Quark top
  - Nouvelle Physique...



# Cadre Théorique



# Le Modèle Standard

- Basé sur l'invariance de jauge:

$$G = SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$$

- Le terme de masse n'est pas invariant dans le Lagrangien:

$$\mathcal{L}_{YM} = \Psi_L^\dagger \mathcal{D}_L \Psi_L + \Psi_R^\dagger \mathcal{D}_R \Psi_R - \frac{1}{2g^2} F_{\mu\nu}^\alpha F_{\alpha}^{\mu\nu} - \cancel{m(\Psi_L^* \Psi_R + \Psi_R^* \Psi_L)}$$

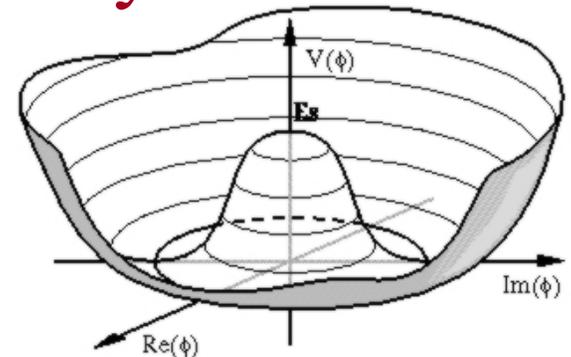
- Solution  $\Rightarrow$  Brisure spontanée de symétrie:

$$\mathcal{L}_\Phi = (D_\mu \Phi)^\dagger D_\mu \Phi - V(\Phi)$$

$$V(\Phi) = \mu^2 |\Phi|^2 + \lambda |\Phi|^4$$

- La « vev »:

$$\langle 0 | \Phi | 0 \rangle = v = \sqrt{-\frac{\mu^2}{\lambda}}$$



$$\mu^2 < 0 ; \lambda > 0$$

# La brisure spontanée de symétrie

- Un champ scalaire...

$$\Phi(x) = \begin{pmatrix} \phi_1(x) + i\phi_2(x) \\ \chi_1(x) + i\chi_2(x) \end{pmatrix} = e^{i\frac{G^a(x)\sigma^a}{2v}} \begin{pmatrix} 0 \\ v + H(x) \end{pmatrix}$$

- La masse aux bosons de jauge:

$$\mathcal{L}_\Phi = \frac{1}{2} \partial^\mu H \partial_\mu H + \frac{1}{2} \frac{g_w^2 v^2}{4 \cos^2 \theta_w} Z^\mu Z_\mu + \frac{g_w^2 v^2}{4} W^{\mu+} W_\mu^- - \frac{1}{2} (-2\mu^2) H^2 + \dots$$

$$\Rightarrow \begin{cases} m_W = \frac{g_w v}{2} \\ m_Z = \frac{g_w v}{2 \cos \theta_w} \\ m_H = \sqrt{-2\mu^2} \end{cases}$$

- La masse aux fermions:

$$\mathcal{L}_{Yukawa}^f = -C_f \bar{f}_L \Phi f_R + H.C.$$

$$= -\frac{C_f}{\sqrt{2}} v \bar{f} f - \frac{C_f}{\sqrt{2}} \bar{f} f H$$

$$\Rightarrow m_f = \frac{C_f}{\sqrt{2}} v$$

# La Supersymétrie et le Higgs

## Parmi les insuffisances du Modèle Standard:

- Une divergence quadratique dans la correction en boucle de fermions à la masse du Higgs.
- Aucun candidat pour la matière noire.

## Solutions avec la Supersymétrie:

- Les divergences s'annulent en postulant une symétrie entre degrés de libertés fermioniques et bosoniques.
- Une nouvelle parité conservée: La R-parité.
  - ⇒ La particule Supersymétrique la plus légère est stable.



## Le secteur du Higgs en Supersymétrie:

- 2 doublets de Higgs ⇒ 2 « vev »
- 5 bosons physiques dont 2 chargés

$$h^0, A^0, H^0, \boxed{H^+, H^-} + 3 \text{ Goldstone}$$

$$\left. \begin{array}{l} v_u = \langle H_u^0 \rangle \\ v_d = \langle H_d^0 \rangle \end{array} \right\} \Rightarrow \tan \beta = \frac{v_u}{v_d}$$

# Le boson de Higgs chargé

Le canal de recherche:

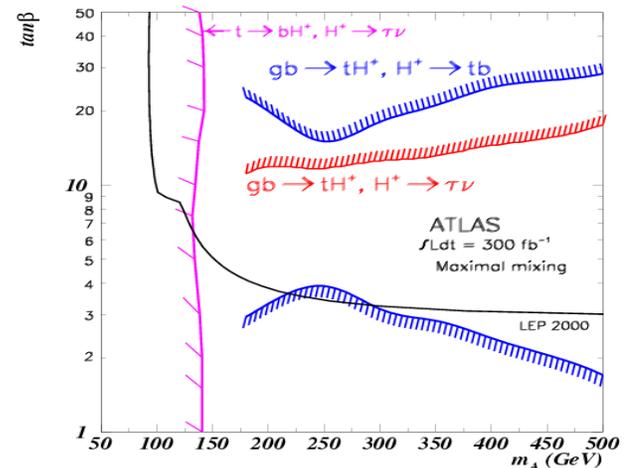
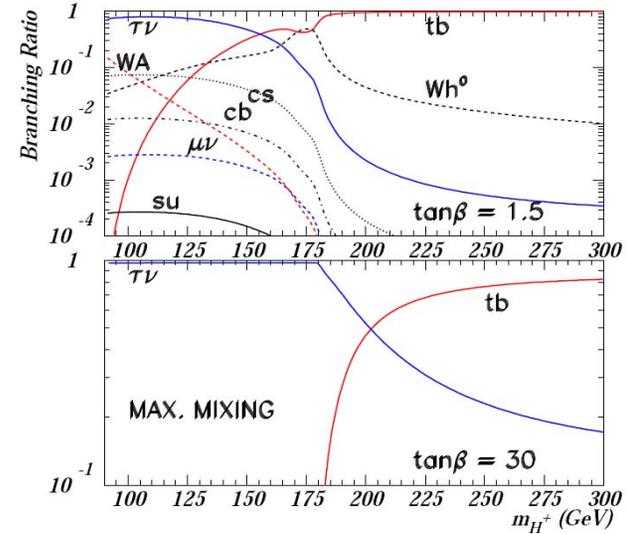
$$gg / qq \rightarrow tbH^\pm \rightarrow t\bar{t}b\bar{b}$$

- $M_H > M_t + M_b$
- Grand rapport de branchement de  $H^\pm \rightarrow tb$
- Bruit de fond combinatoire important

Les canaux alternatifs:

- $H^\pm \rightarrow \tau\nu$ 
  - Petit rapport de branchement
  - Moins de bruits de fond
- $t \rightarrow H^\pm \rightarrow \tau\nu$ 
  - $M_H < M_t + M_b$
  - Grand rapport de branchement

Sur ATLAS, des études précédentes ont été faites avec des simulation rapides. Les résultats doivent être mis à jour avec la simulation complète

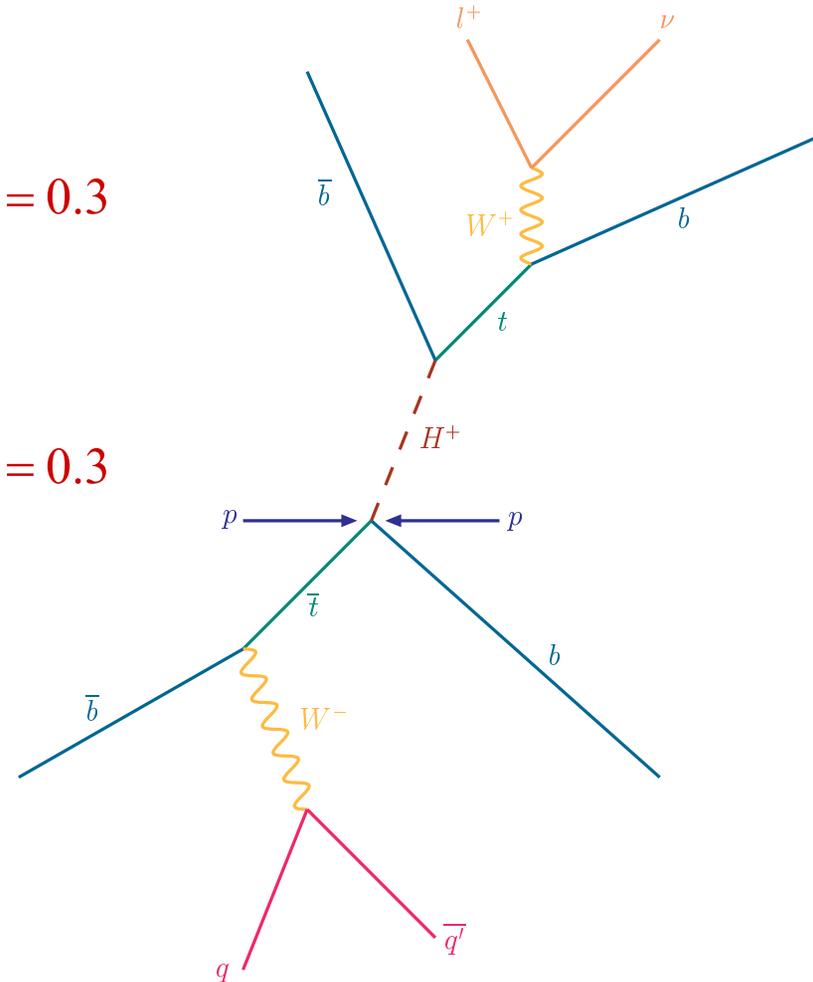




# L'analyse



- 1 lepton isolé :
  - électron :
    - $p_T > 25 \text{ GeV}$  ;  $|\eta| < 2.5$
    - isolation :  $< 10 \text{ GeV}$  dans un cône de  $\Delta R = 0.3$
    - Identification basée sur les paramètres de la gerbe électromagnétique.
  - muon :
    - $p_T > 20 \text{ GeV}$  ;  $|\eta| < 2.5$
    - isolation :  $< 10 \text{ GeV}$  dans un cône de  $\Delta R = 0.3$
  
- au moins 5 jets avec
  - $p_T > 25 \text{ GeV}$  ;  $|\eta| < 5$  :
  - parmi lesquels au moins 3 jets b :
    - $p_T > 25 \text{ GeV}$  ;  $|\eta| < 2.5$  ;  $w > 5$
  - veto sur les jets aussi reconstruits comme électrons

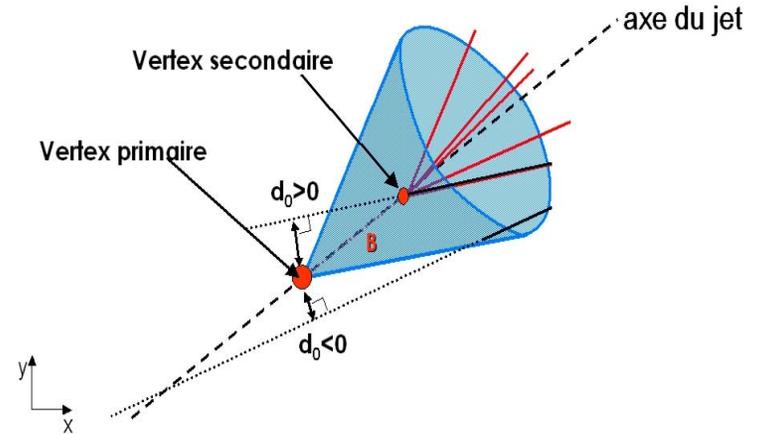


## Etiquetage spatial: Les hadrons B ont une durée de vie non nulle.

- ⇒  $E(B) \sim 50 \text{ GeV}$ ,  $L \sim 5 \text{ mm}$
- ⇒ Existence d'un vertex secondaire dans le jets
  - ⇒ algorithme d'étiquetage *SVI*:
  - ⇒ Grand paramètre d'impact des traces.
  - ⇒ algorithme d'étiquetage *IP3D*

## Etiquetage par leptons mous:

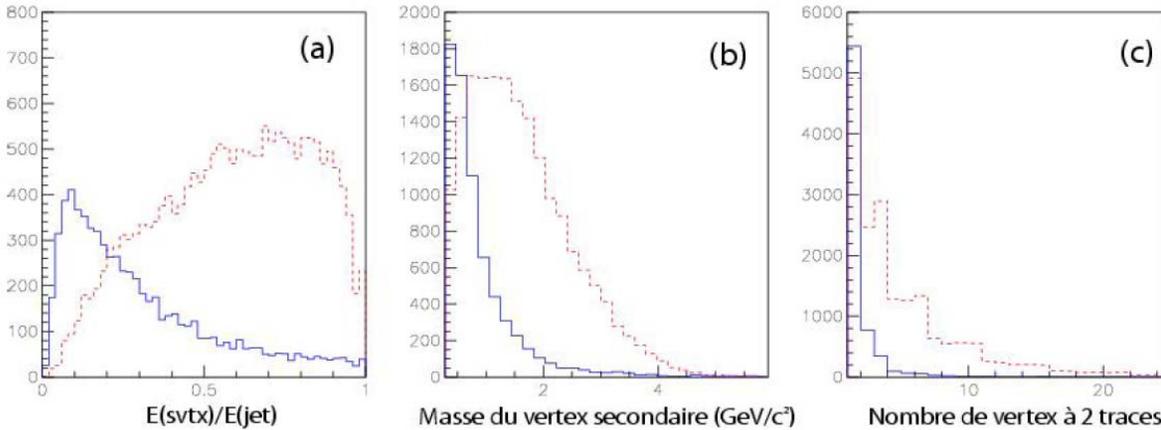
- ⇒ Electrons ou muons provenant de désintégration de mésons B



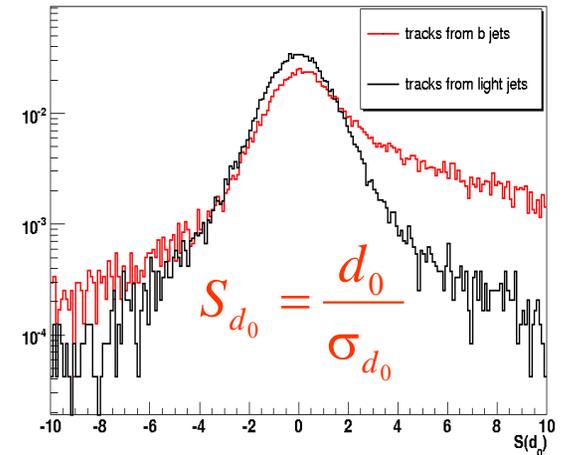
## Eléments indispensables:

- ⇒ Une bonne résolution du détecteur à pixels.
- ⇒ Un bon algorithme de reconstruction des traces.
- ⇒ Une bonne identification des leptons.

Vertex secondaire:



Paramètre d'impact:

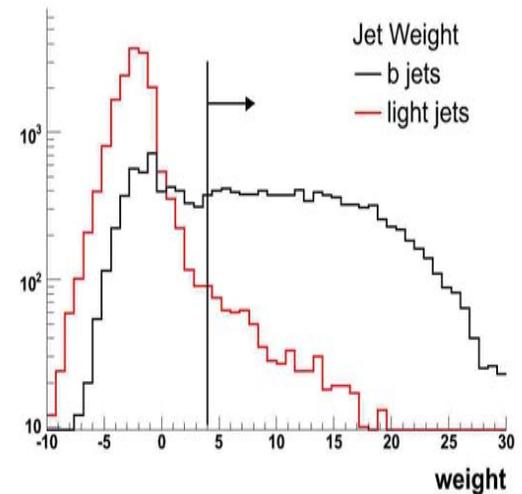
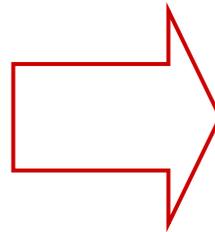


IP3D:

$$w_j = \sum_{trk \in jet} \ln \frac{P_b^{trk}(S_{d_0})}{P_u^{trk}(S_{d_0})}$$

SV1:

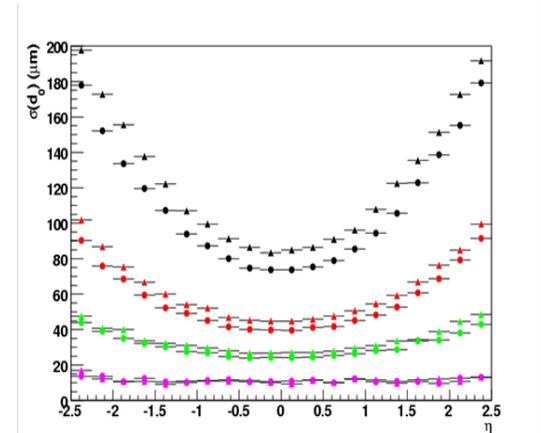
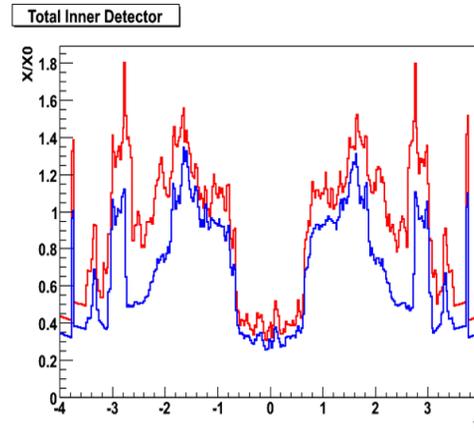
$$P_j = \prod_{i=1}^n \frac{f_j(x_i)}{\sum_{k=u,b} f_k(x_i)} ; \quad \mathcal{L} = \frac{P_b}{\sum_{j=u,b} P_j}$$



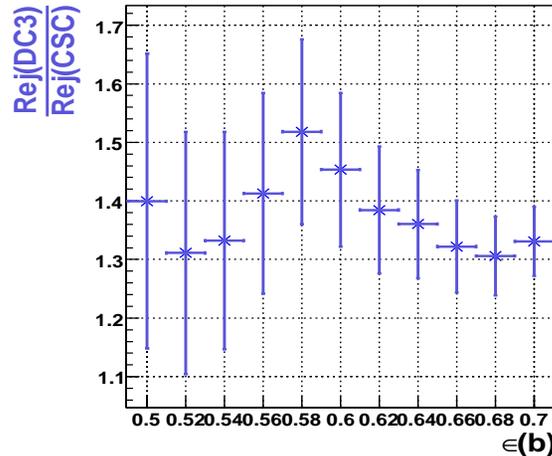
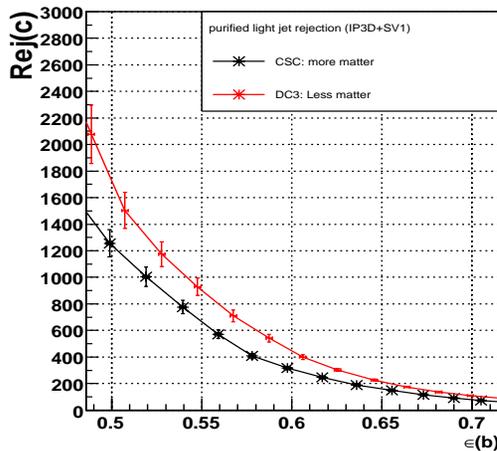
**Weight = IP3D + SV1**

## Etude de l'influence de la matière dans le détecteur:

Simulation avec plus de matière:  
 ⇒ Une pire résolution sur le paramètre d'impact.  
 ⇒ Une perte d'un facteur  $\sim 1.4$  en réjection.



purified light jet rejection (IP3D+SV1)



Efficacité :

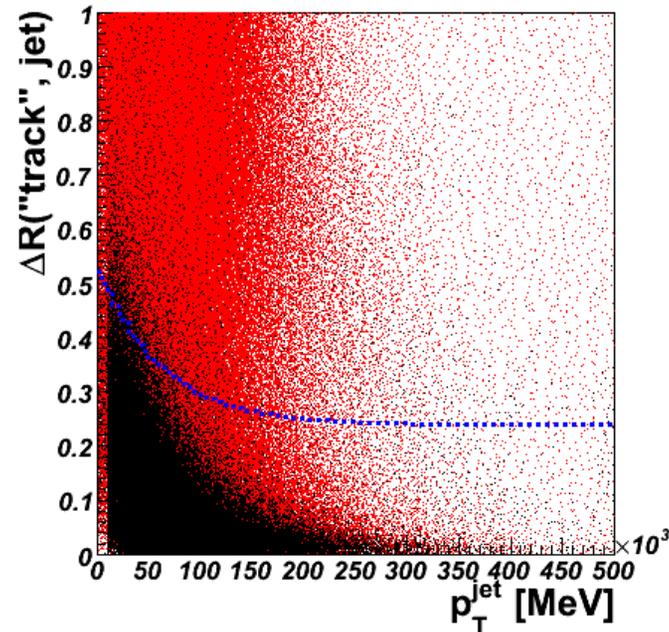
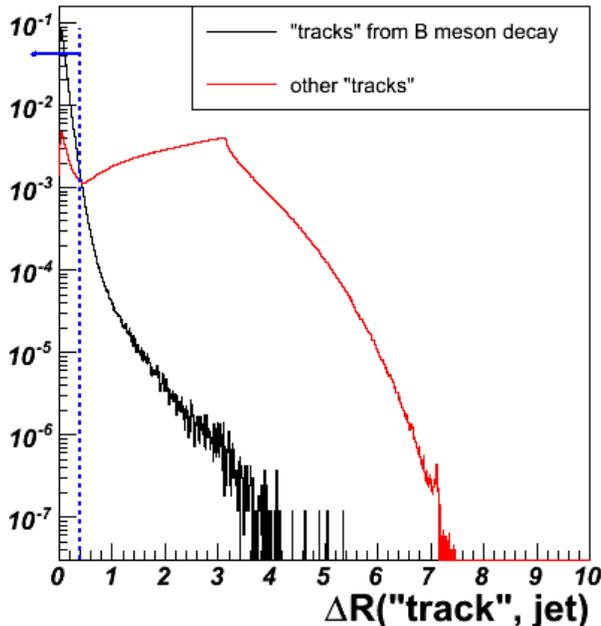
$$\epsilon_b = \frac{\# \text{ de jets b étiquetés}}{\# \text{ total de jets b}}$$

Réjection :

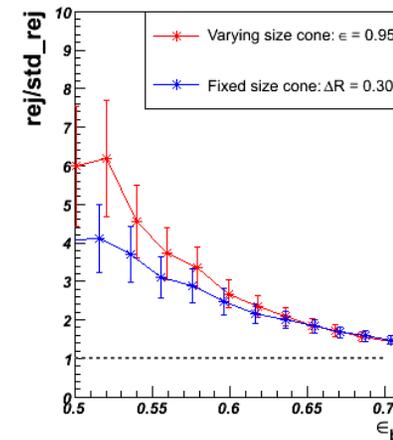
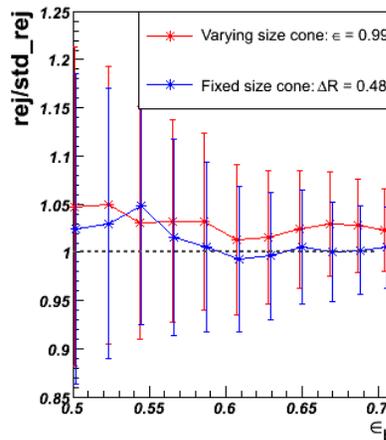
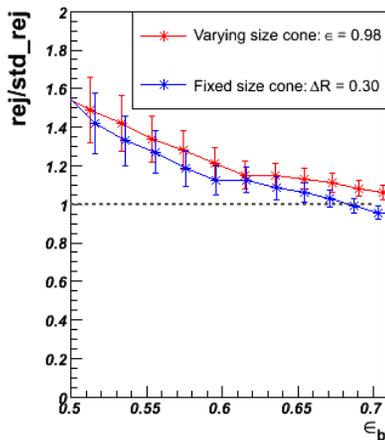
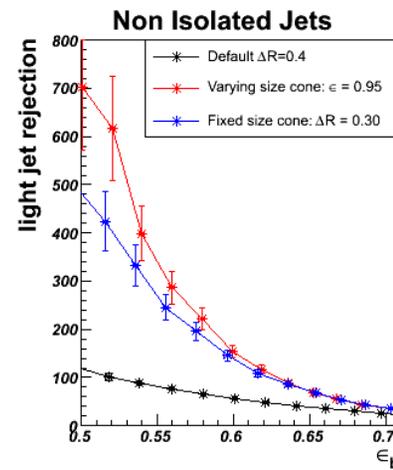
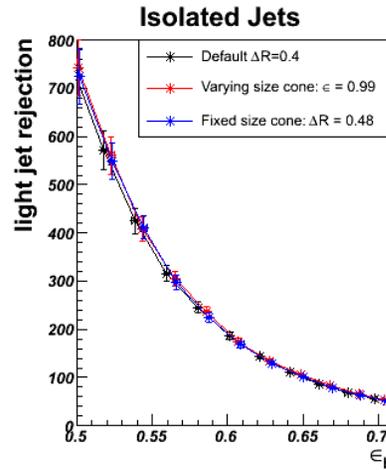
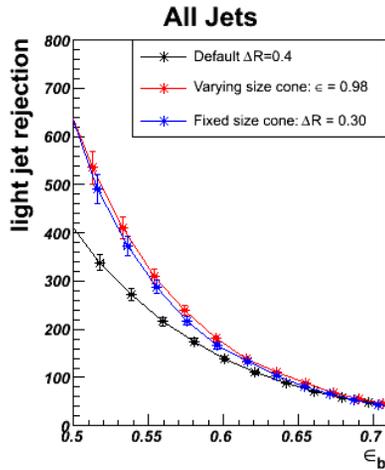
$$R_j = \frac{\# \text{ total de jets non b}}{\# \text{ de jets non b étiquetés}}$$

# Association traces-jets

- Les traces sont par défaut associées aux jets calorimétriques en faisant une coupure de  $\Delta R=0.4$ .
- Les traces de grand  $p_T$  sont plus collimées:  
 $\Rightarrow$  Associer les traces aux jets avec un cone variable.



# Association traces-jets



Isolated jets are not affected!

Degradation in performance occurs when selecting tracks that belong to other jets.

Optimal results depends on event topology!!

# Reconstruction: W leptonique

La composante longitudinale de l'impulsion du neutrino est calculée en imposant au W sa masse nominale:

$$m_W^2 = (E_l + E_\nu)^2 - (\vec{p}_l + \vec{p}_\nu)^2$$

Avec:

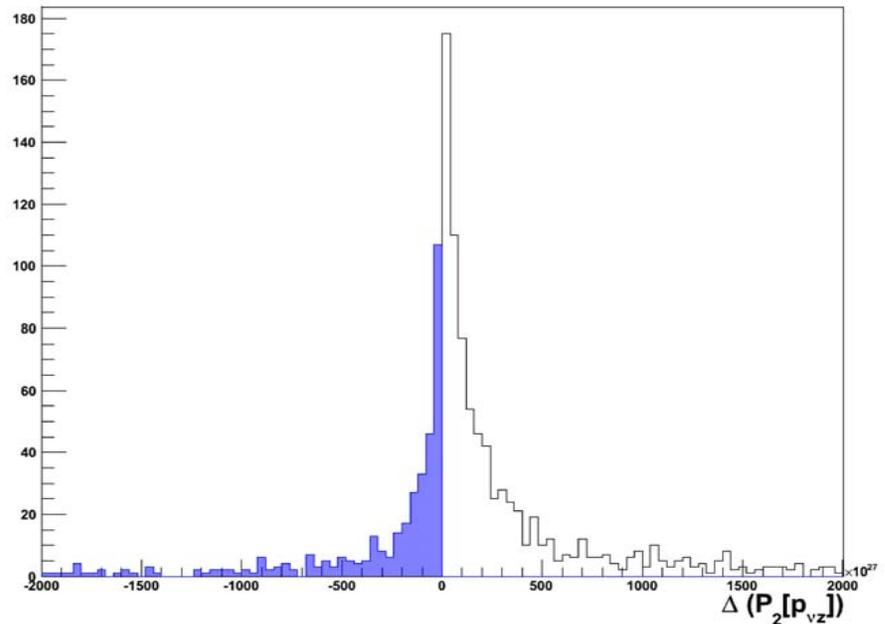
- $p_\nu^x = p_{miss}^x$
- $p_\nu^y = p_{miss}^y$
- $E_\nu = \sqrt{p_\nu^{x2} + p_\nu^{y2} + p_\nu^{z2}}$

⇒ Equation du second degré pour déterminer  $p_\nu^z$

~ 25% des cas:  $\Delta < 0$  !!

On néglige alors la partie imaginaire de la solution:

$$\Delta = 0$$

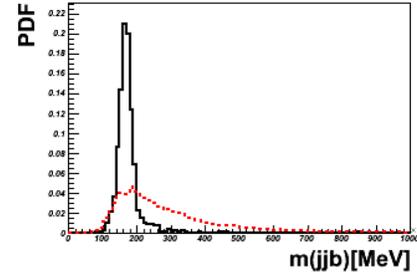
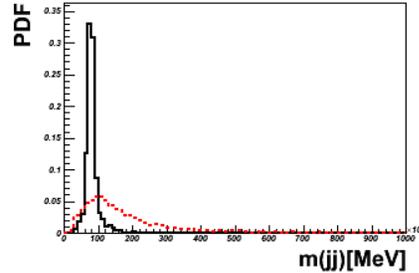


# Reconstruction: “Likelihood” combinatoire

Combinatorial PDFs

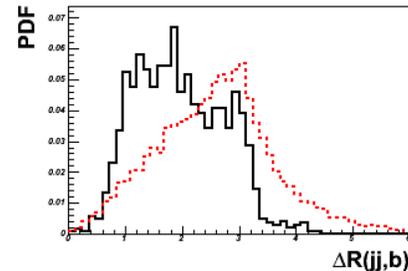
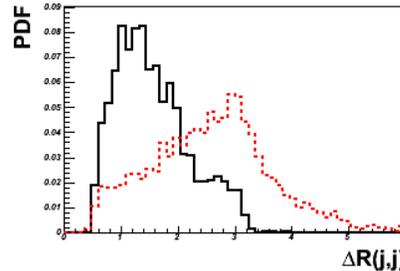
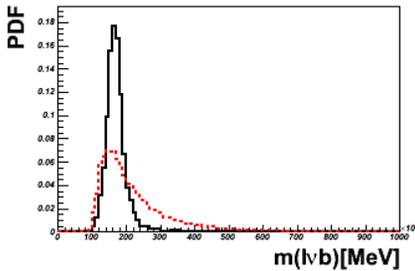
— Good Combinations

--- Bad Combinations



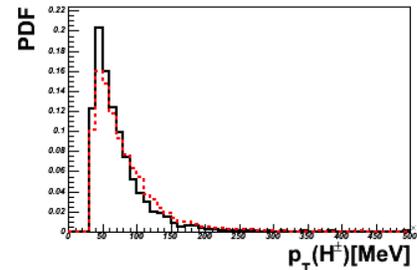
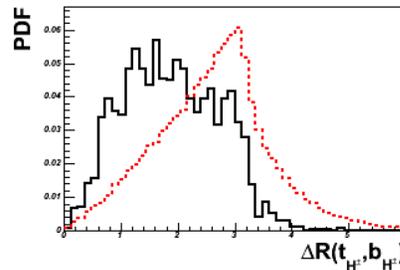
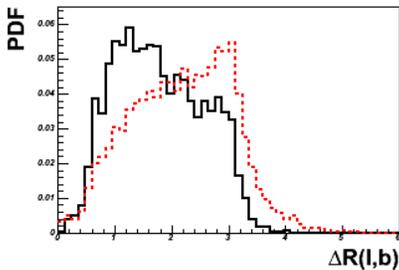
$m$  observables,  
 $n$  classes:

$$\mathcal{L}^j = \frac{\prod_{l=1}^m p_l^j(x_l)}{\sum_{k=1}^n \prod_{l=1}^m p_l^k(x_l)}$$

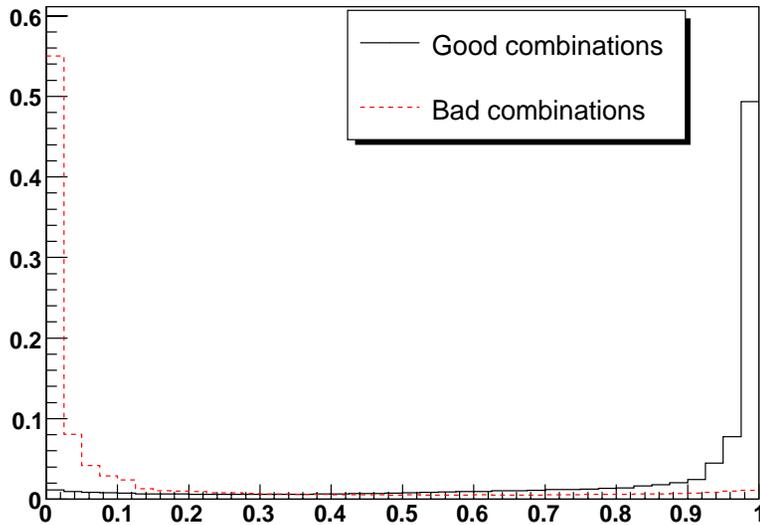


Avec:

$$p_i^j(x_i) = \frac{f_i^j(x_i)}{\sum_{k=1}^n f_i^k(x_i)}$$



# Reconstruction

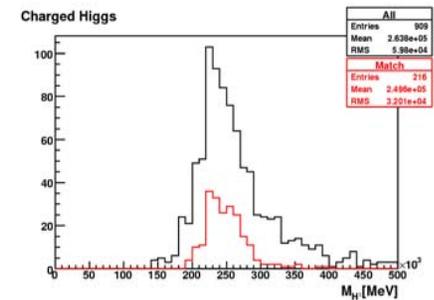
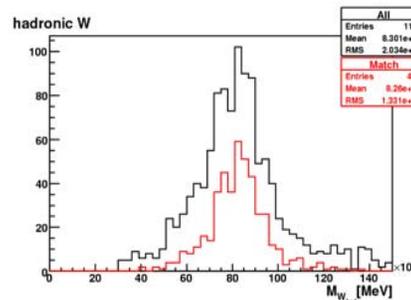
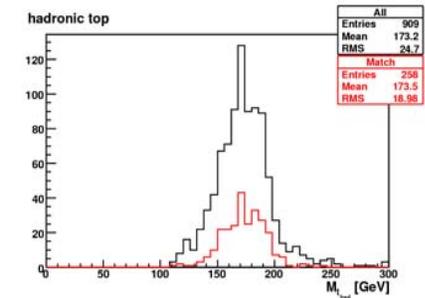
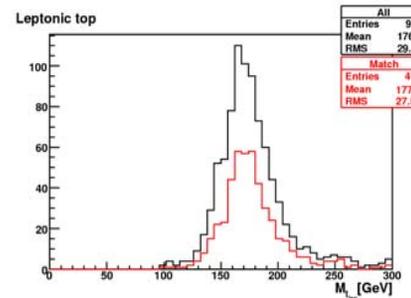


!!Grand bruit de fond combinatoire!!

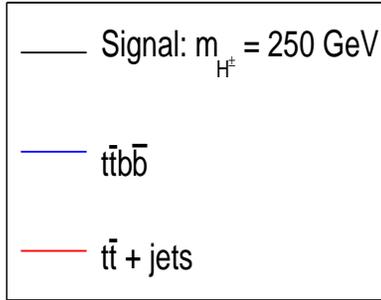
$$N_H = 2 \times N_\nu \times 4! \times \binom{m}{2} \approx 100 - 1000$$

Puretés de reconstruction:

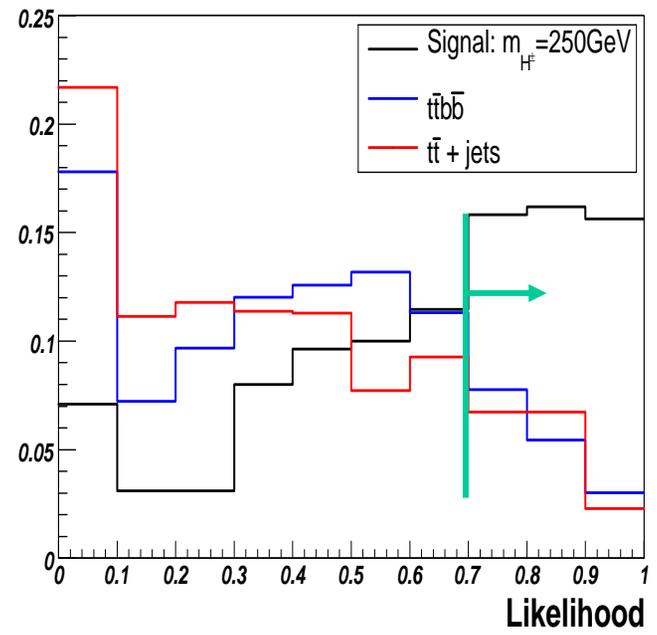
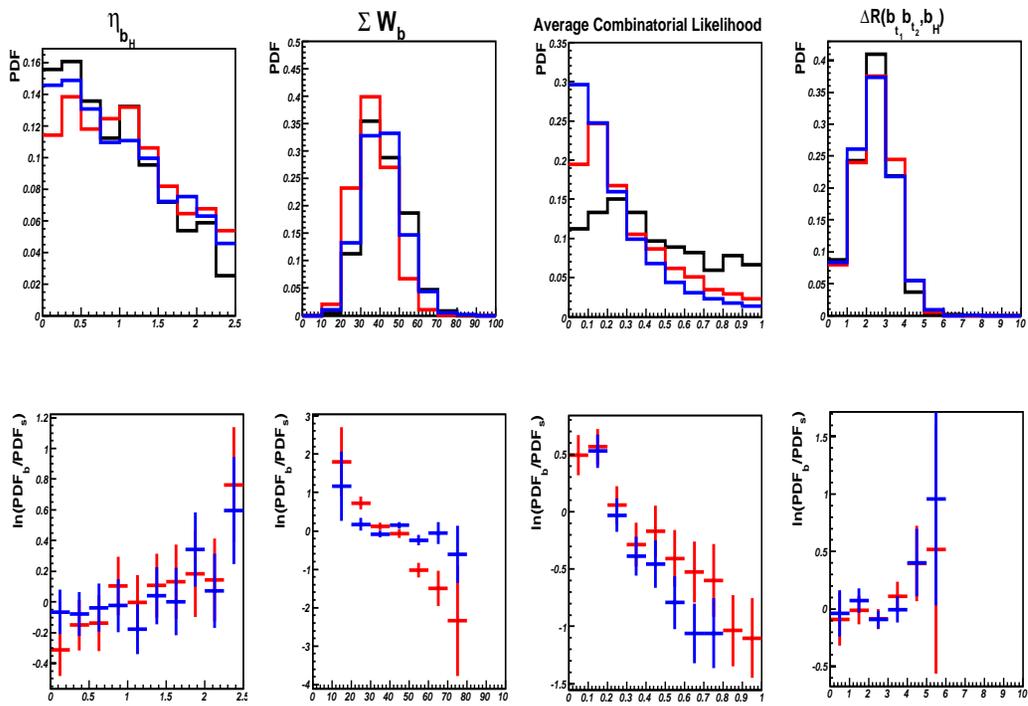
- W Hadronique : 38%
- top Leptonique : 52%
- top Hadronique : 28%
- Higgs Chargé : 24%



# Selection Likelihood



$$\mathcal{L} = \frac{\prod_{l=1}^m p_l^s(x_l)}{\prod_{l=1}^m p_l^s(x_l) + \sum_{b=1}^n \prod_{l=1}^m p_l^b(x_l)} \Rightarrow \mathcal{L} = \frac{1}{1 + \sum_{b=1}^n e^{\sum_{l=1}^m \ln\left(\frac{p_l^b(x_l)}{p_l^s(x_l)}\right)}}$$

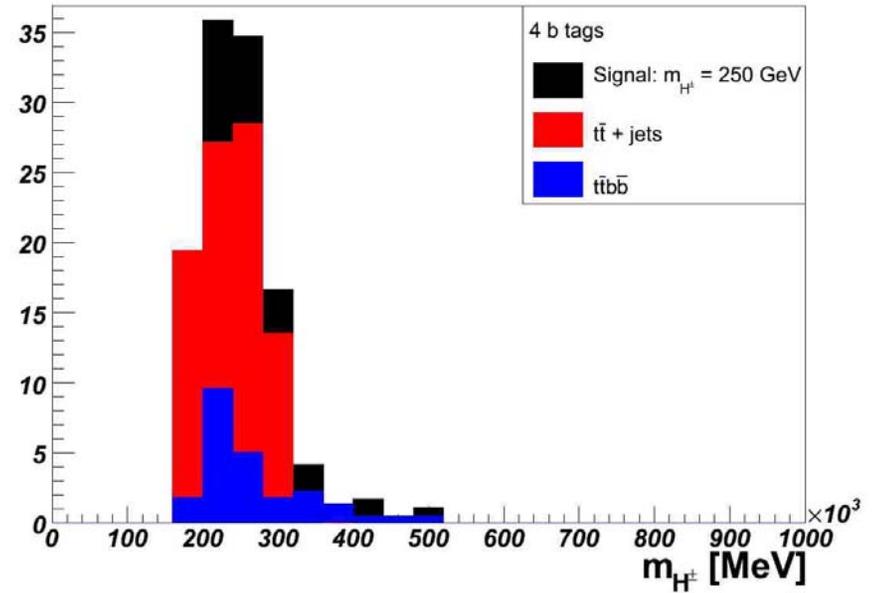
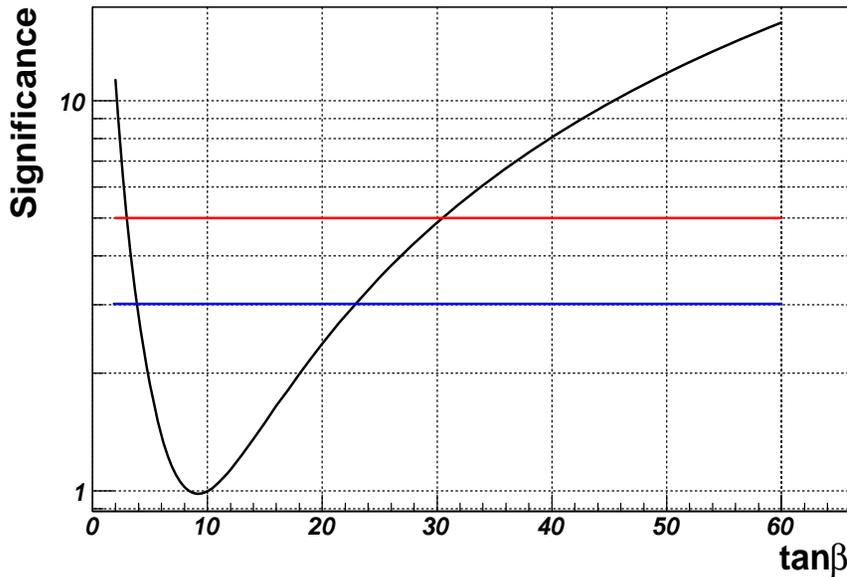


# Résultats

Bruits de fond réductibles et irréductibles:

$$gg / qq \rightarrow t\bar{t}b\bar{b} \quad (2.36 \text{ pb})$$

$$gg / qq \rightarrow t\bar{t} + \text{jets} \quad (833 \text{ pb})$$



$$S = \frac{N_{\text{Signal}}}{\sqrt{N_{\text{Bruit}}}}$$

Avec :  $N = \varepsilon \times \sigma \times \mathcal{L}$

$\varepsilon$  = Acceptance de l'analyse

$\sigma$  = section efficace  $\times$  rapports de branchement

$\mathcal{L}$  = luminosité intégrée sur 3 ans =  $30 \text{ fb}^{-1}$

# Conclusion

## Deux axes de travail:

- Recherche du boson de Higgs chargé:
  - ✓ Analyse bien avancée.
  - Plusieurs aspects en cours d'amélioration.
  - Etude des systématiques.
  - Extraction du signal.
- Etiquetage des jets b:
  - ✓ Indispensable pour la découverte du Higgs.
  - Comprendre les différents paramètres affectant les performances et essayer de les améliorer.
  - Mesure sur les données des différents ingrédients.