

Combinaison de Canaux de Désintégration du Boson de Higgs

Nicolas Berger (LAPP Annecy)

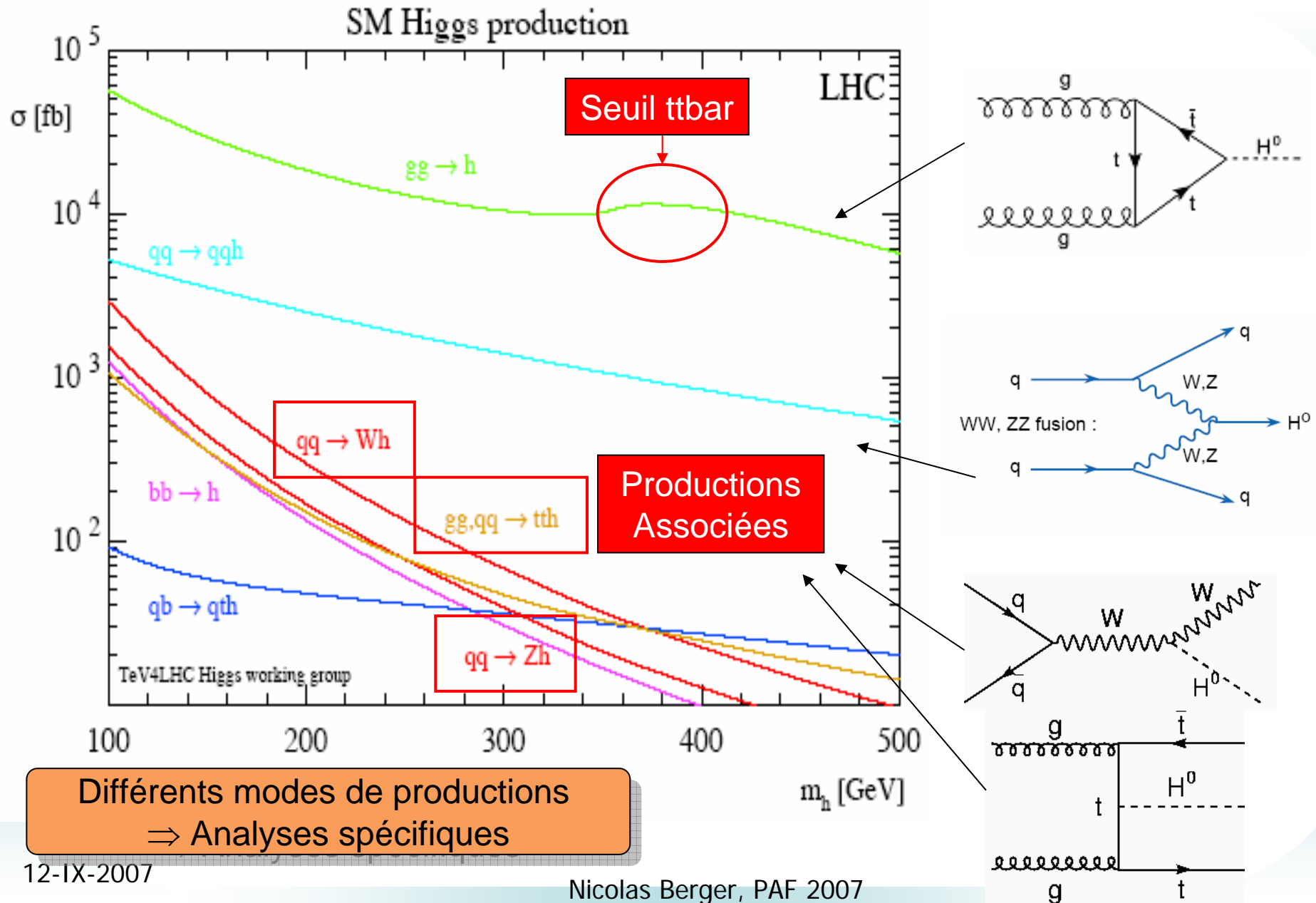
pour

Andreas Höcker (CERN), Sandrine Laplace, Jean-François
Marchand (LAPP)

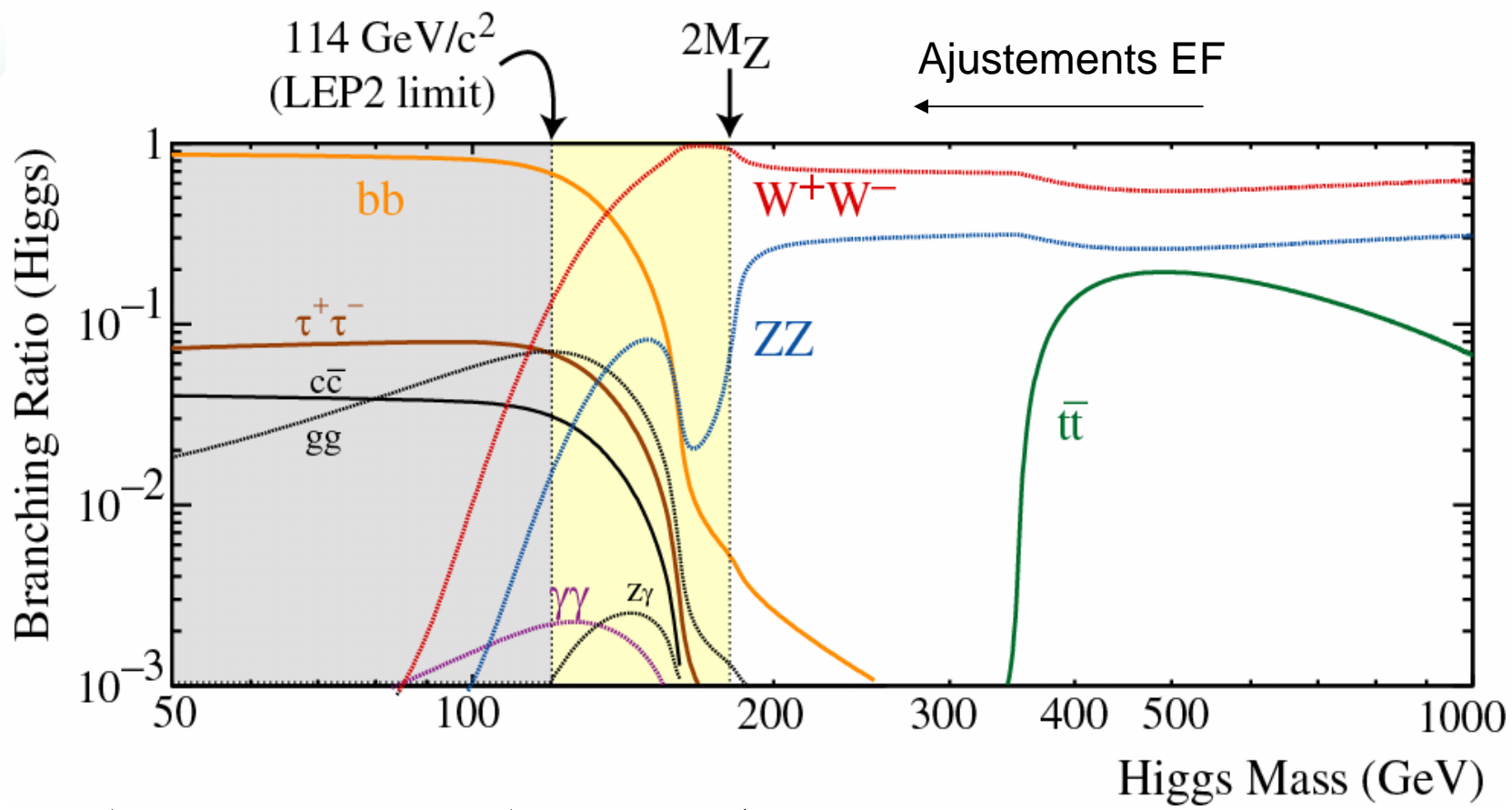
Remerciements:

Bertrand Brelier, Eilam Gross, Bill Quayle

Production du Higgs



Rapports de Branchement



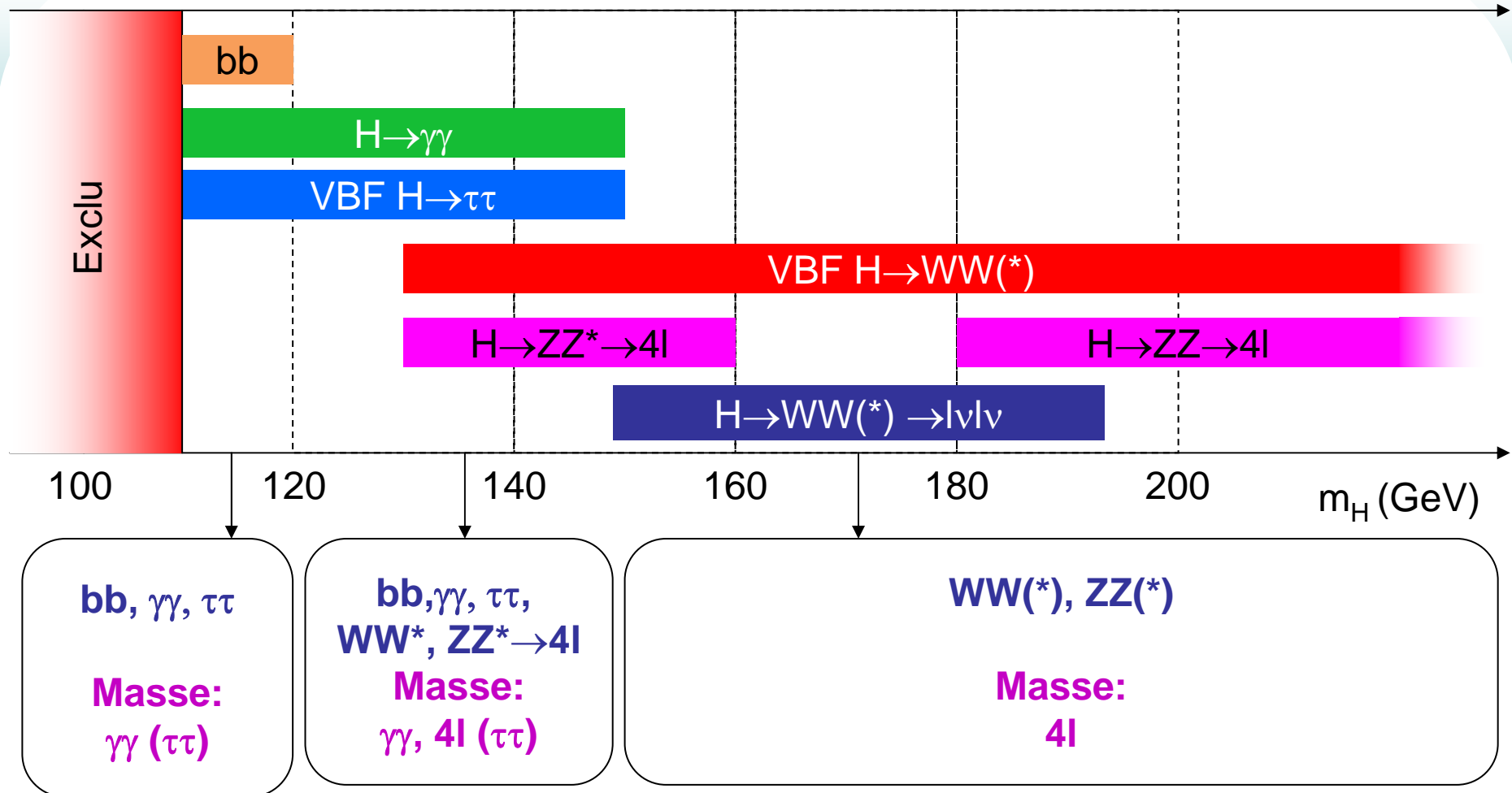
Exclu par le LEP

Basse Masse:
 $bb\bar{b}$, $\tau\tau$, $\gamma\gamma$,
 WW^* , ZZ^*

Haute Masse:
 WW , ZZ , tt

Nombreuses possibilités dans la zone "intéressante"

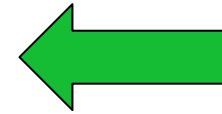
Combinaisons Possibles



Sujets

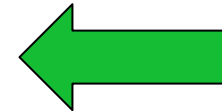
■ Objectifs:

- Avant le démarrage
 - Sensibilité combinée pour $10-30 \text{ fb}^{-1}$
 - Quelle luminosité pour une découverte ?
- "Premières" données:
 - Limites sups. combinées
 - Exclusion du MS ?
- Découverte ?
 - Signification combinée du signal
 - Mesure combinée de la masse
 - Mesure des couplages



■ Méthodes:

- Méthode du TDR
- Méthodes "Fréquentistes"
 - FFT
 - Profile Likelihood
 - Fit combiné
- Méthodes Bayésiennes



Dans cette présentation

Méthode 1 : TDR

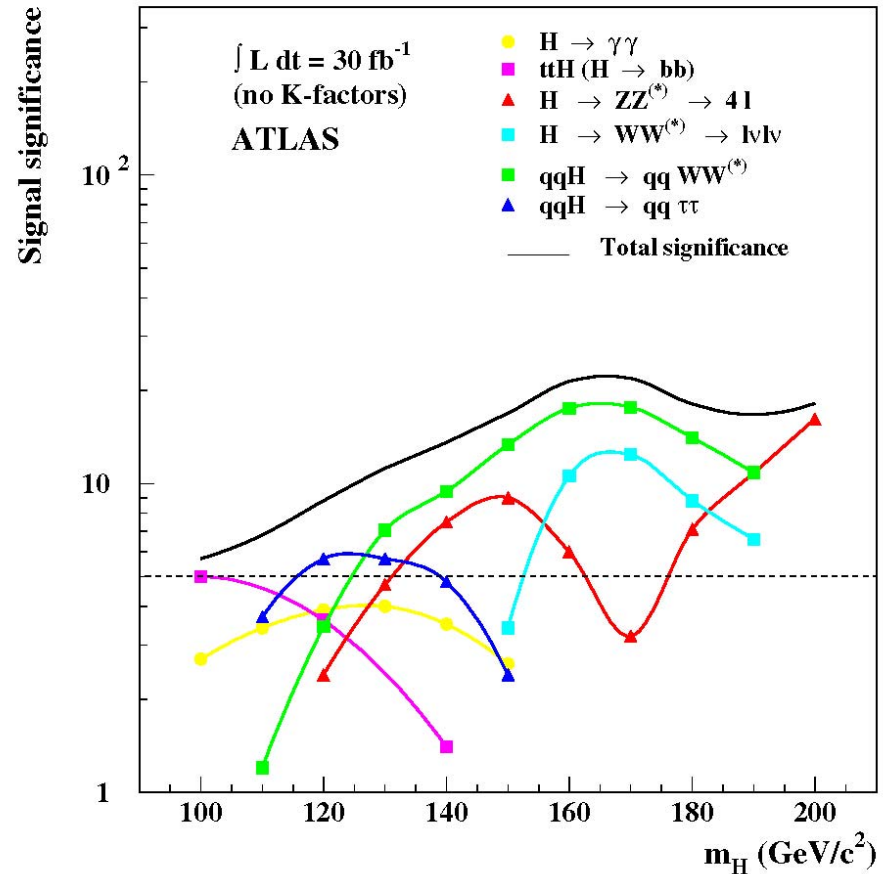
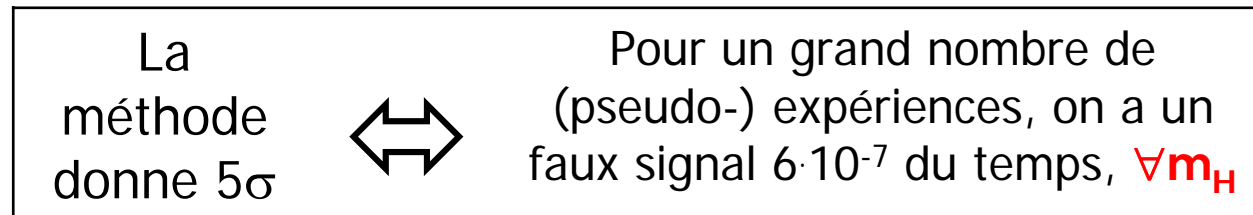
- N canaux, significations stat. $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \dots = S_i / \sqrt{B_i}$:

$$\sigma_{Comb} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots}$$

- Problèmes:

- Comment inclure les systématiques ?
- Valable uniquement en régime Gaussien
 - **Couverture non garantie** pour N_{Signal} petit

Bonne Couverture:



Cut & Count ou Likelihood ?

■ Mesure du signal:

- Comptage: N_{Signal} (e.g. $H \rightarrow 4l$, $H \rightarrow bb$?)
- Ajustement de Max. de Vraisemblance: L^{max} .
 - En fait plutôt

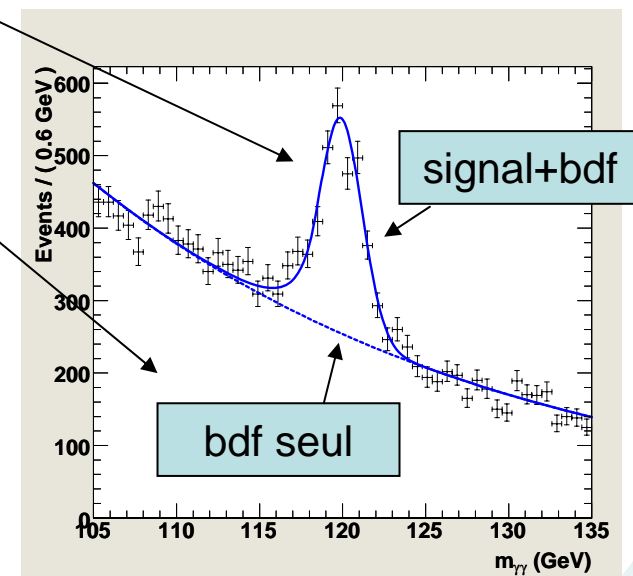
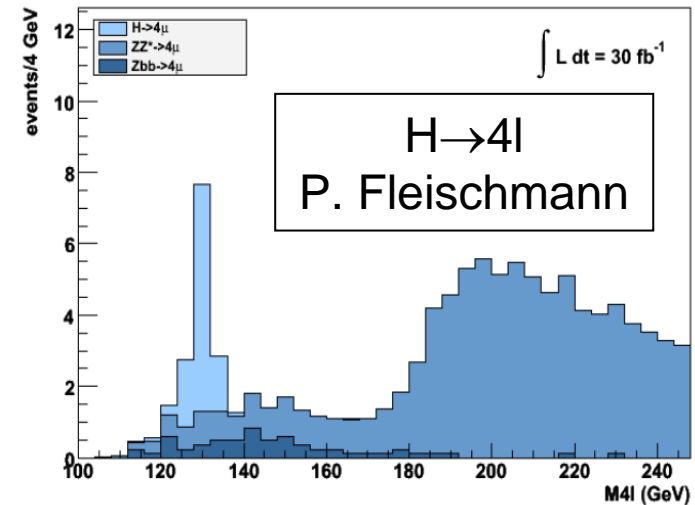
$$\Delta LL = \log \frac{L^{\text{max}}_{\text{signal+bdf}}}{L^{\text{max}}_{\text{bdf seul}}}$$

- pour $H \rightarrow \gamma\gamma$, $H \rightarrow WW$

■ Comptage en régime Poissonien:

$$L(N) = e^{-N_0} \frac{N_0^N}{N!} \Rightarrow \Delta LL \sim N_{\text{Signal}}$$

Donc le formalisme ΔLL est "complet".



Distributions du Likelihood

■ Cas 1: Forme analytique connue:

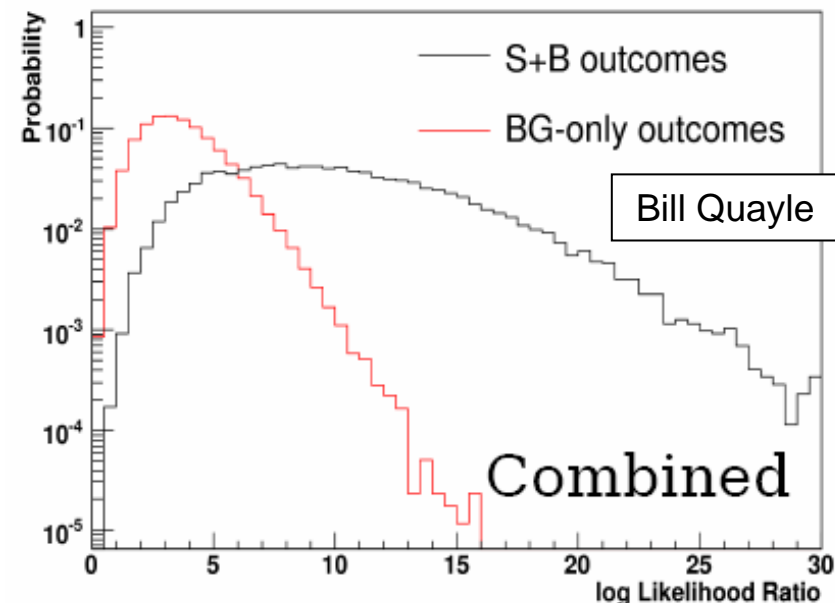
$$\rho(N) = e^{-N_0} \frac{N_0^N}{N!}$$

■ Cas 2: Méthodes MC (Pseudo-expériences):

- on génère N échantillons dans les proportions attendues
- Histogramme des valeurs de $\Delta LL \Rightarrow \rho(\Delta LL)$
- En général "Toys" à partir de fits des distributions du MC
 - Difficile de décrire les ailes (peu de stats)
 - Possible d'utiliser un modèle (c.f. Bill Quayle)

■ Cas 3: Formes "Crédibles" (Gaussiennes....):

- Pour les systématiques



Méthode 2 : FFT + CLs

- Vraisemblance combinée (mesures indépendantes)

$$L = \prod_i L_i \Rightarrow \Delta LL = \sum_i \Delta LL_i$$

- Distribution: $\rho(\Delta LL) = \rho_1(\Delta LL_1) \otimes \rho_2(\Delta LL_2) \otimes \dots$

- Solution numérique: Fast Convolution (FFT):

$$\rho(\Delta LL) = FFT^{-1}[FFT(\rho_1) \cdot FFT(\rho_2) \cdot \dots]$$

- Avantage: valable $\forall \rho_i$.

- Problèmes:

- Lent

- Problèmes numériques dans la FFT ($8\sigma \Leftrightarrow p \sim 10^{-15}$)

- Implémentation: MadTools/StatTools (W. Quayle, K. Cranmer et al.)

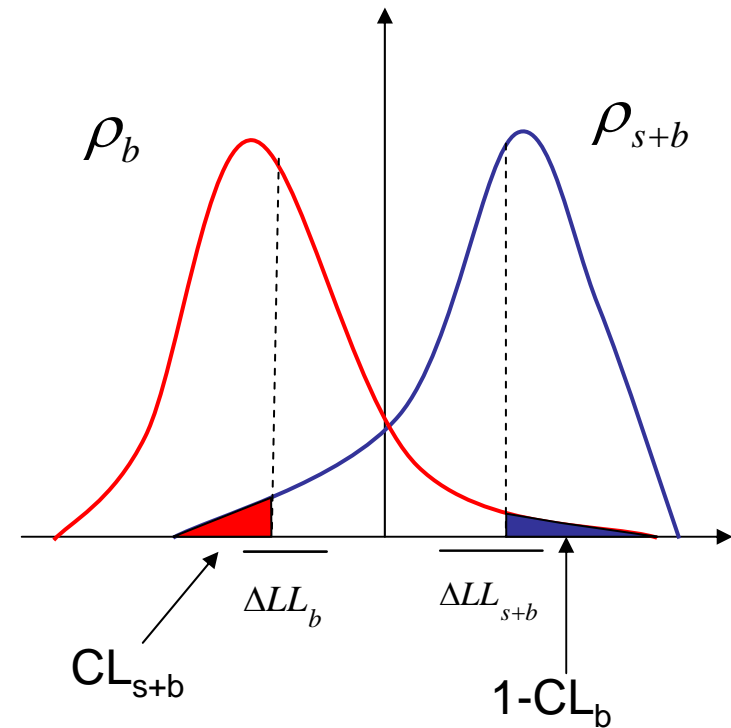
Méthode CL_x

■ Sensibilité pour une découverte:

- =prob pour le bdf de fluctuer jusqu'au niveau du signal attendu
- Dépend de ρ_b et de la valeur médiane de ΔLL_{s+b} .

$$1 - CL_b = \int_{\frac{\Delta LL_{s+b}}{\text{Valeur médiane de S+B}}}^{\infty} \rho_b$$

$$\Rightarrow N_{sigmas} = \sqrt{2} \cdot \text{erf}^{-1}(2(1 - CL_b) + 1)$$



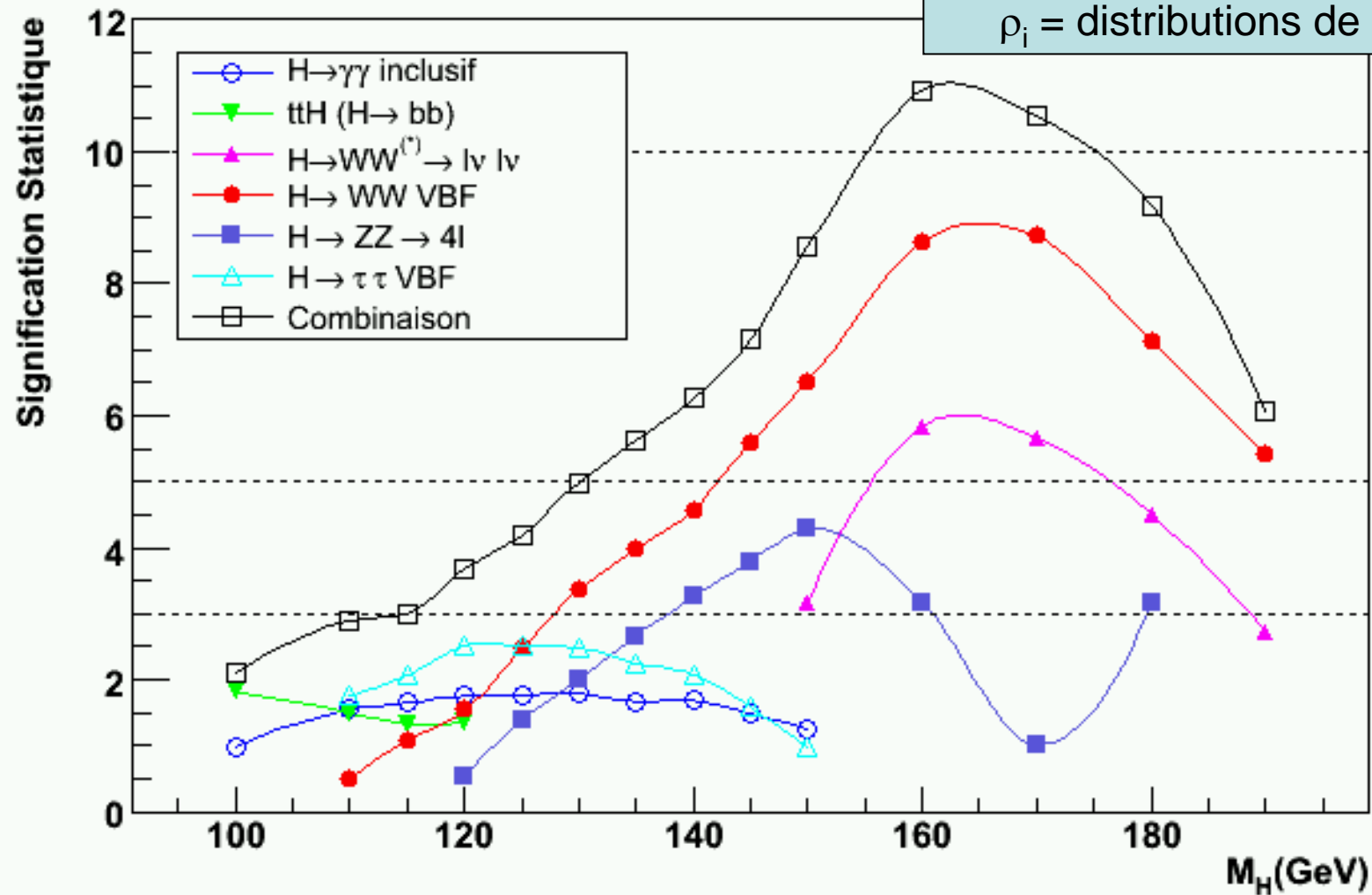
■ Pour une exclusion

- =prob du S+bdf de fluctuer jusqu'a $S=0$ (bdf seul).

$$CL_{s+b} = \int_{-\infty}^{\Delta LL_b} \rho_{s+b} \Rightarrow N_{sigmas}$$

FFT pour 5 fb^{-1}

MadTools/StatTools
Données: ATL-PHYS-2004-034
 $\rho_i = \text{distributions de Poisson}$



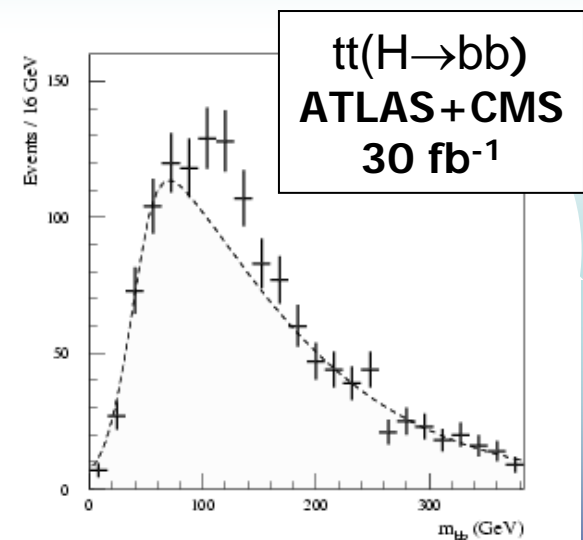
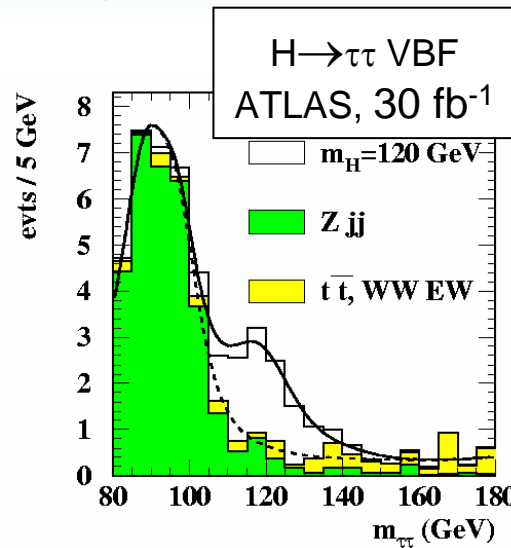
Erreurs systématiques

■ Importantes au LHC:

- Efficacités
- Bruits de Fond
- Incertitudes Théoriques

■ Correlées ou non:

- possible de séparer en 100% ou 0% de corrélation
- e.g. normalisation de bdf communs, b-tagging...



■ Méthode de Cousins-Highland:

- "Smearing" Gaussien de la distribution:

$$\tilde{\rho} = \int \rho(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots) D(\varepsilon_1) D(\varepsilon_2) \dots d\varepsilon_1 d\varepsilon_2 \dots$$

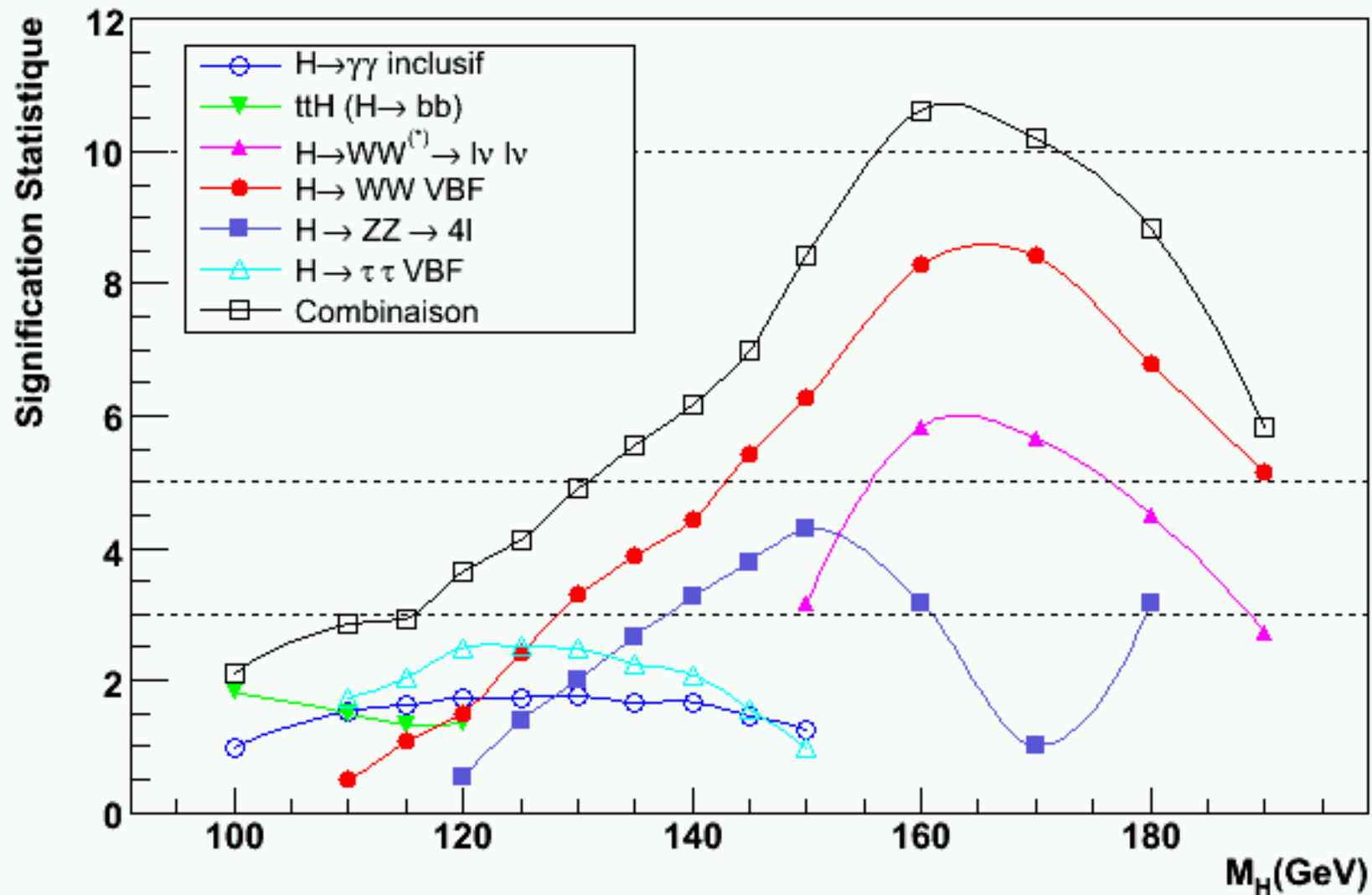
- Peut aussi traiter les corrélations:

$$D(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots) = e^{-\frac{1}{2}(\vec{\varepsilon} - \vec{\varepsilon}_0)^T C_\varepsilon (\vec{\varepsilon} - \vec{\varepsilon}_0)}$$

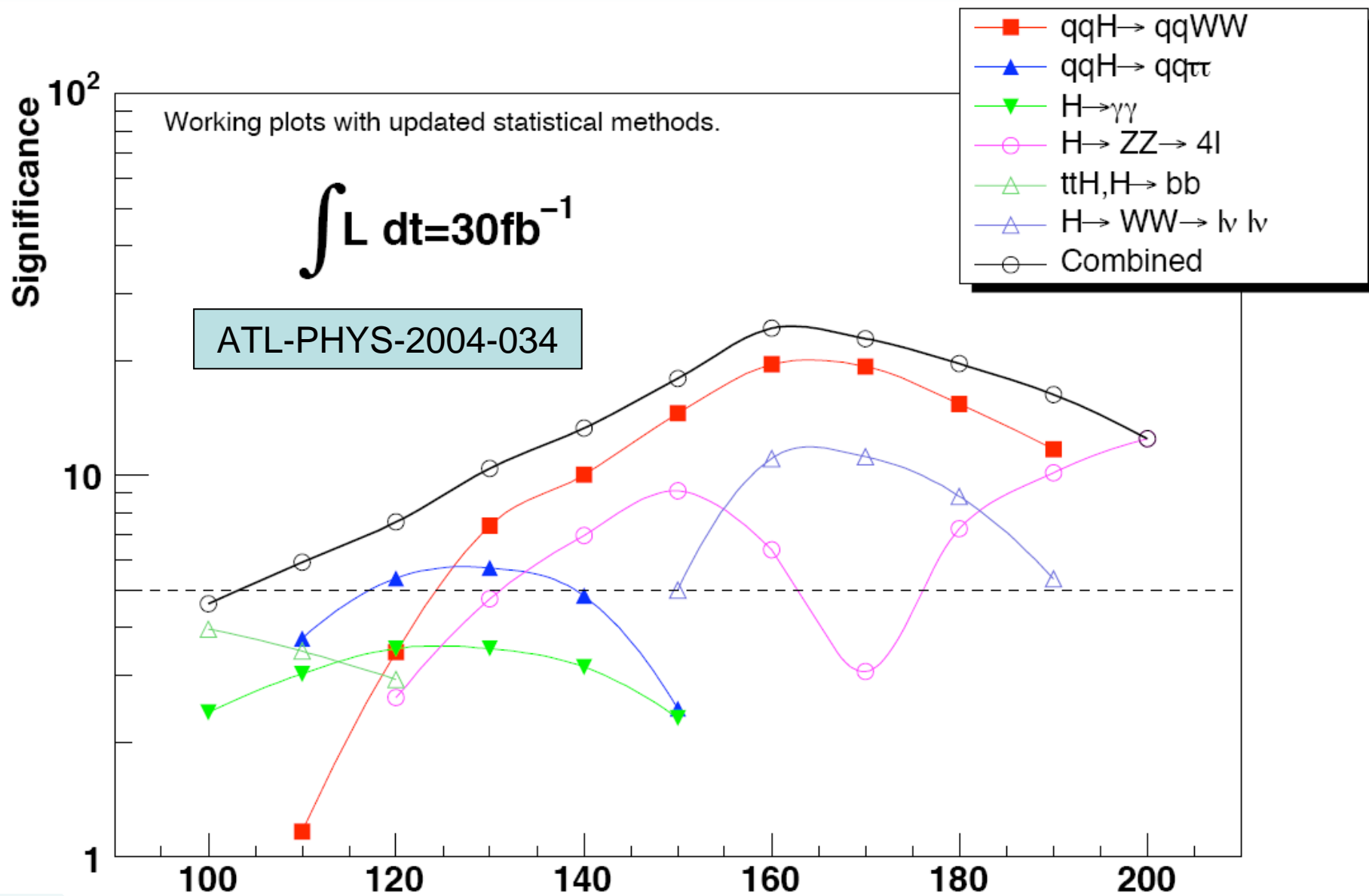
e.g. $e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_1^0}{\sigma_{\varepsilon_1}} \right)^2}$

Facile a implémenter, mais
Couverture approximative

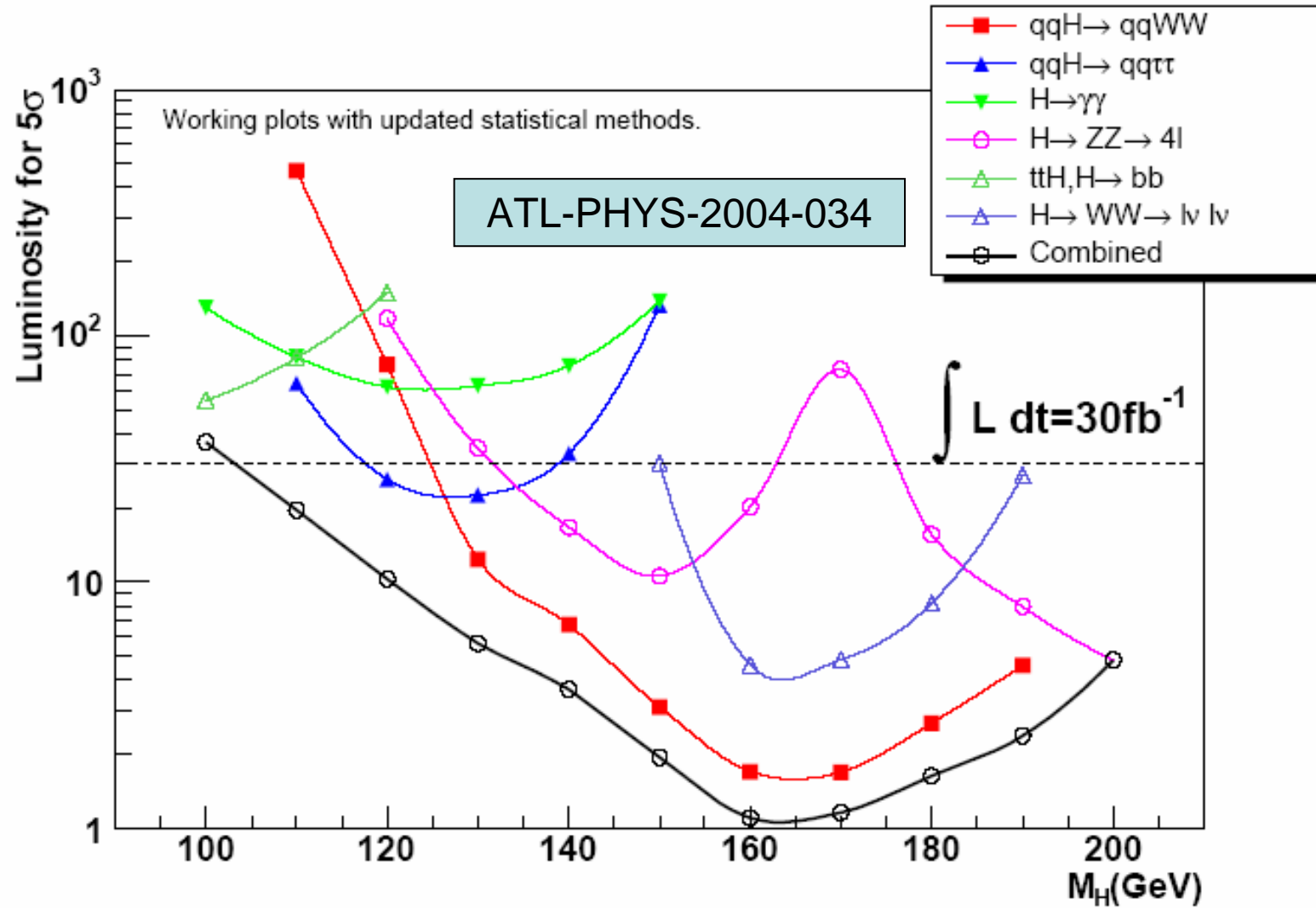
FFT + Cousins-Highland (5 fb^{-1})



FFT + Cousins-Highland (30 fb⁻¹)



Luminosité pour 5σ



Méthode 3 : Profile Likelihood

■ Limite asymptotique: $-2\Delta LL \sim \chi^2$

■ Donc distribution connue, sensibilité:

$$N = \sqrt{\text{erf}(\chi^{2^{-1}}(\Delta LL, 1))\sqrt{2}}$$

■ En principe pas exact à faible stat.

■ Rapide \Rightarrow Utile pour SUSY.

■ "Profilage" des paramètres de nuisance:

- Ajouter un terme à L pour le paramètre (expérience annexe, hypothèse...)

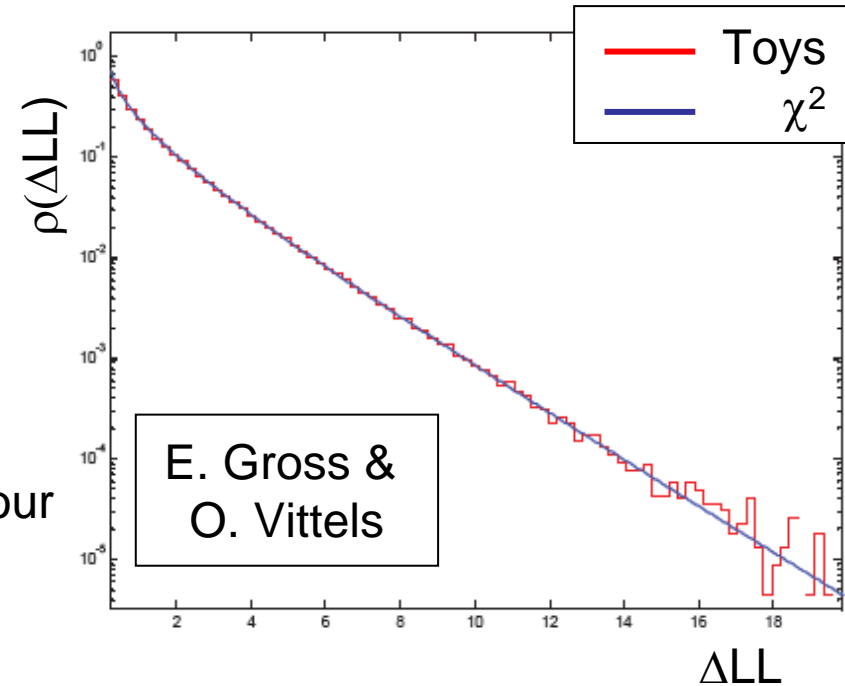
$$L'(x, \varepsilon) = L(x, \varepsilon) \cdot D(\varepsilon)$$

- Utiliser la valeur au maximum de vraisemblance:

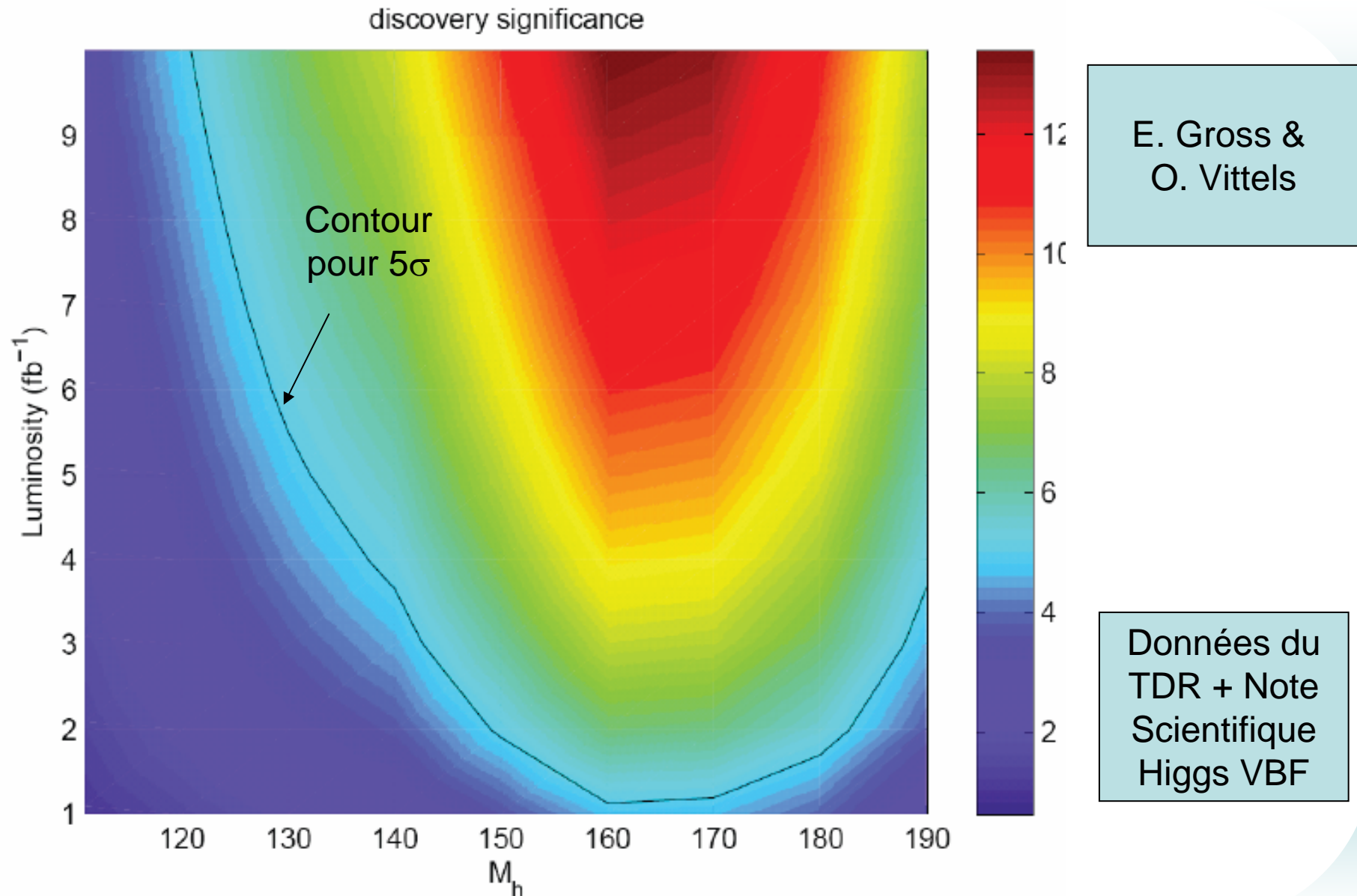
$$\Delta LL = \log \frac{L'_{\text{signal+pdf}}^{\text{max}}(\hat{\varepsilon}_{s+b})}{L'_{\text{pdf}}^{\text{max}}(\hat{\varepsilon}_b)}$$

Min. pour s+b
 Min. pour b

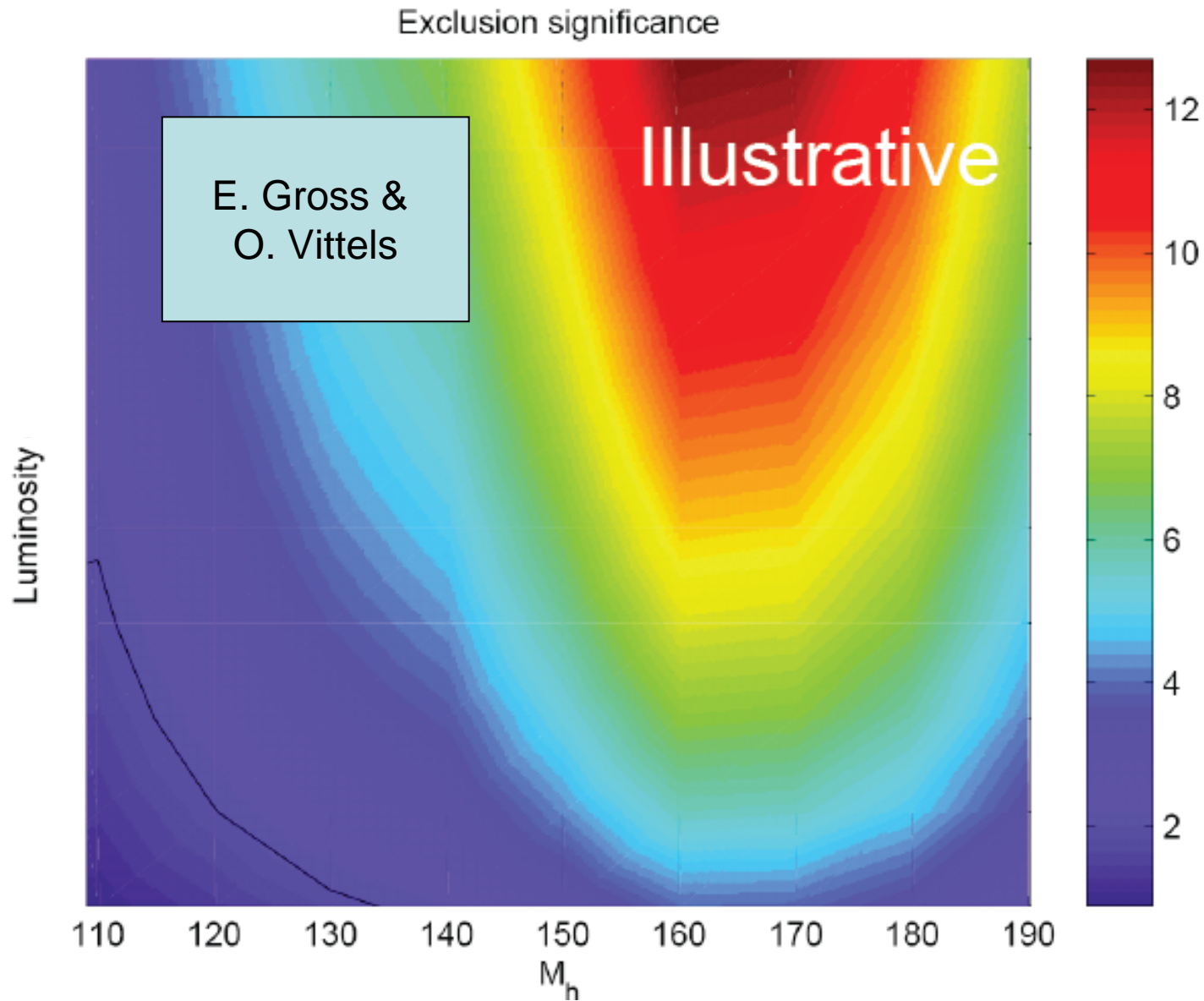
- Ne dépend plus du paramètre, distribue comme un $\chi^2(n-1)$
- Bonne ouverture en principe...



Sensibilité - Profile Likelihood



Exclusion - Profile Likelihood



Méthode 4 : Facteur de Bayes

■ Théorème de Bayes:

■ Nécessite de fournir π .

- A priori arbitraire
- Methodes "objectives": minimiser l'information fournie par π .

■ En général plus simple que Freq.

■ Souvent, bonnes propriétés fréquentistes.

■ Utilisé a CDF

■ Ex: Facteur de Bayes (G. Cowan):

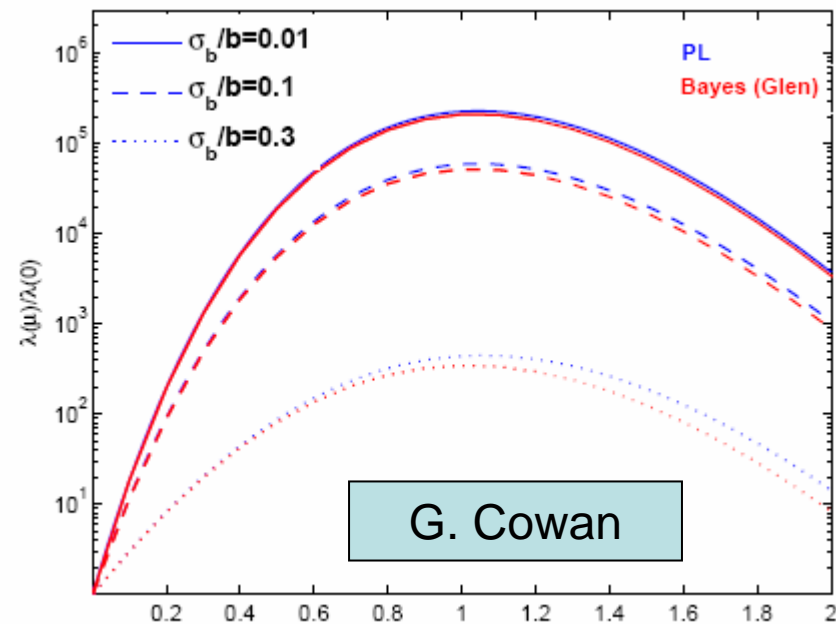
- = intégrale du L avec π sur les paramètres de nuisance
- Résultats proche du Profile L.

distribution
postérieure

likelihood

distribution
antérieure

$$p(\theta|x) = \frac{L(x|\theta)\pi(\theta)}{P(x)} = \frac{L(x|\theta)\pi(\theta)}{\int L(x|\theta')\pi(\theta') d\theta'}$$



$$B_{10} = \frac{\int \int \int L(\mathbf{n}, \mathbf{m}|\mu, \mathbf{b}, \varphi) \pi_\mu(\mu) \pi_\varphi(\varphi) \pi_b(\mathbf{b}) d\mu d\varphi d\mathbf{b}}{\int \int L(\mathbf{n}, \mathbf{m}|\mu = 0, \mathbf{b}, \varphi) \pi_\varphi(\varphi) \pi_b(\mathbf{b}) d\varphi d\mathbf{b}}$$

Méthode 5 : Fit Combiné

- Idée: faire un fit simultané de plusieurs canaux
 - On ajuste directement N_S^{Total}
 - Certains paramètres en commun:
 - $m_H!$
 - Résolutions, bruits de fond...
- Avantages
 - Combinaison automatique de
 - La signification
 - la masse...
 - m_H peut être laissée libre (Look-Elsewhere effect)
 - Traitement des systématiques communes (apparaissent une seule fois)
 - Un seul fit à valider...
- Limitations
 - Chaque événement doit être affecté à une seul canal
 - Problème général lié à la combinaison (idem à CDF)
 - Complexité du fit
- Implémentation: possible dans Hfitter/RooFit
- c.f. aussi Bill Quayle

Hfitter

- Hfitter (/groups/catsusy/Higgs/Hfitter) est un outil de fit de Max. de vraisemblance
- Basé sur RooFit:
 - Modèles de fit définis de manière modulaire
 - Permet de définir des "catégories" d'événements
 - Chaque catégorie peut avoir son modèle
 - Possible de réutiliser PDFs ou variables dans différents modèles
- Déjà utilisé pour $H \rightarrow \gamma\gamma$
 - Catégories pour
 - les productions H+0-jets/1-jet/2-jets/VBF
 - les η des photons
 - A venir : pour les conversions

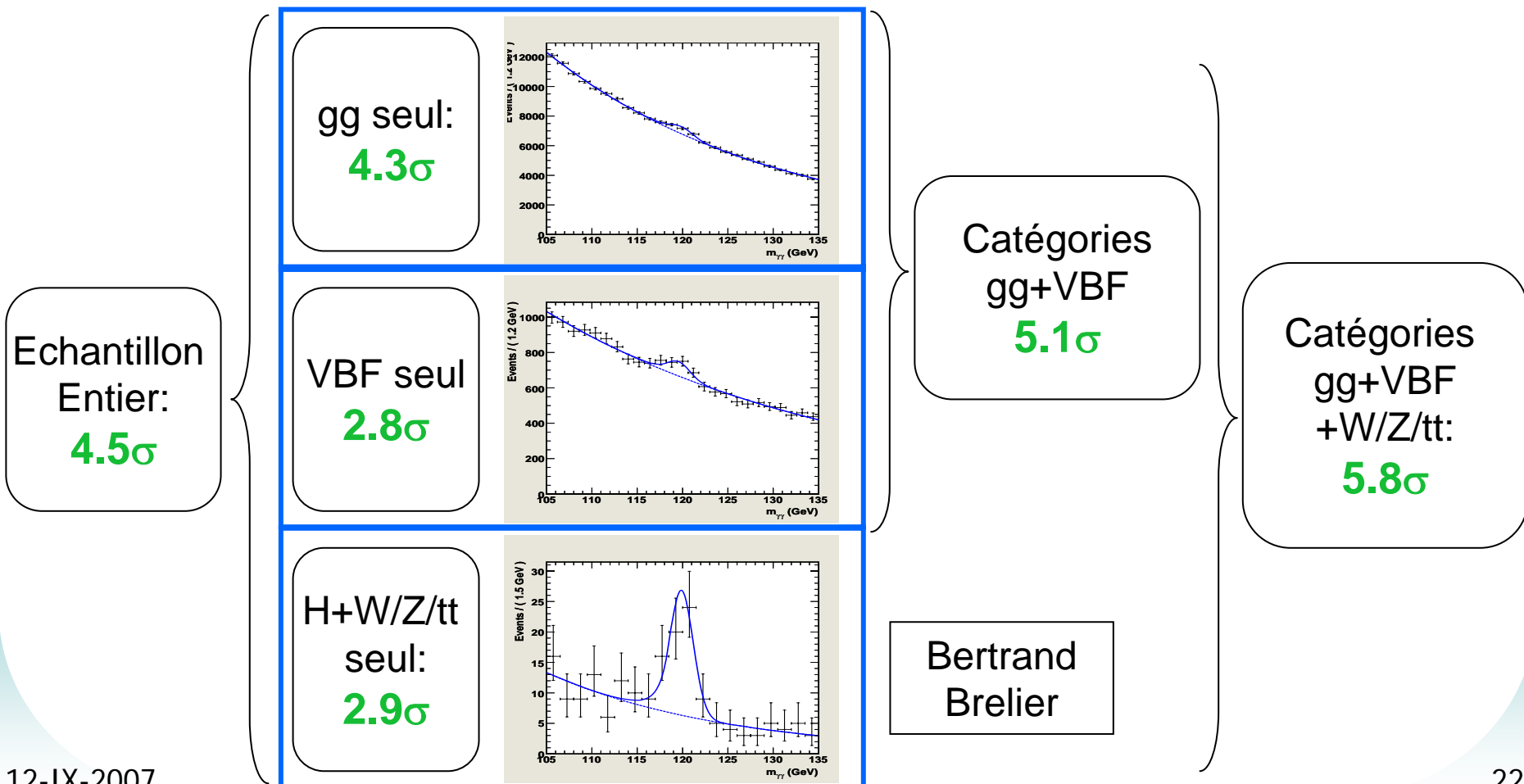
Un Exemple concret : $H \rightarrow \gamma\gamma$

- On définit des catégories pour H
 - 2 jets, cinématique VBF
 - présence de W, Z, ttbar
 - Le reste (gg)

■ $L = 30 \text{ fb}^{-1}$

■ ~ en accord avec

$$\sigma_{Comb} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2}$$



Organisation dans ATLAS

- Forum Statistique ATLAS
 - Lancé en début d'année
 - Définition de standards & recommandations sur les méthodes.
- Forum ATLAS/CMS
 - Rôle:
 - Développer des outils statistiques communs
 - Harmoniser les pratiques
 - Lancé le 29 juin
 - c.f. meeting du 4/9/2007
- Exercice de combinaison ATLAS/CMS:
 - Groupe Higgs = Cobaye; canaux:
 - $H \rightarrow WW$ VBF
 - $H \rightarrow \gamma\gamma$
 - $H \rightarrow \tau\tau$ VBF
 - $H \rightarrow 4l$
 - Objectif:
 - comparer les méthodes
 - définir une interface entre analyses et méthodes stats.

0th order proposals from ATLAS

	Method	Provided input
VBF $H \rightarrow WW$ (B. Quayle)	A float Higgs mass fit based on LR BG systematics absorbed in the fitter	Histograms of discriminating variable Signal+2 control regions (bg+b-tag), LH functions,
$H \rightarrow \gamma\gamma$ (B. Mellado)	Toy, Gaussian signal on top of exponential BG	NLO cross section normalized histograms for qq,gg $\rightarrow\gamma\gamma$ Propose to use DC1 data
$H \rightarrow \tau\tau$ (K. Cranmer)	Collinear approximation $\tau\tau$ mass as a discriminating variable	Parametric shape for signal and Zjj BG, histograms for other BGs (tt, WWjj) Control samples based likelihoods for background uncertainties, For dominant Zjj BG shape uncertainties included, for other BGs only normalization
$H \rightarrow 4l$ (S. Paganis)	Discriminating variable M_{ZZ} Toy, Gaussian signal	S&B normalization. Gaussian signal shape, M_{ZZ} background shapes (from control samples)

Homework assignment: find the common factor

18

Eilam Gross, Analysis Strategies, 6 Sep 07

minus 1th order proposals from CMS

A declaration of intent ~ A. Nikitenko / Y. Sirois

CMS
Channels relevant for
 $M_H = 130$ GeV

Incl. $H \rightarrow \gamma\gamma$
Incl. $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$
VBF $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow l+jet$

PTDR VBF $H \rightarrow WW \rightarrow 2l$:
 $S=3$ for 30 fb^{-1}
Expect to bring $H \rightarrow WW \rightarrow ll$
in game at 130 GeV with
MVA methods by the
end of this year

19

Eilam Gross, Analysis Strategies, 6 Sep 07

Conclusions

- Efforts pour mettre en place des méthodes statistiques efficaces et "correctes"
 - Utilisation optimale de l'information des données
 - Contrôle de la "validité statistique" des résultats
 - Adaptées aux analyses
- Plusieurs méthodes "sur le marché"
 - Comparaisons pour le Higgs.
 - Pas forcément une seule "meilleure solution" pour tous.
 - Accord avec CMS souhaitable:
 - Pour éviter les contradictions
 - Combiner les résultats.
- Prêt pour 2008 ?

Références

- Note scientifique VBF: Eur. Phys. J. C **32**, s2.19-s2.54 (2004)
- Dührssen et al hep-ph/0407190
- W. Quayle, Phystat 2007 Workshop, 27 Jun 2007
- K. Cranmer et al., ATL-PHYS-2004-034
- Eilam Gross, Analysis Strategies, 6 Sep 07
- Glen Cowan, ATLAS-CMS Statistics Meeting, 4 Sep 2007
- Tom Junk, ATLAS-CMS Statistics Meeting, 4 Sep 2007
- Wouter Verkerke, Analysis Strategies 6 Sep 2007

Backups

Limites superieures, Intervalles

■ Necessite des donnees! – Depend du niveau de signal observe.

■ Methodes:

- Feldman-Cousins
- CL_s (LEP)
- Methodes Bayesiennes (TeVatron)

■ Pas encore d'actualite ?

The CL_s Method for Upper Limits

➤ The CL_s method

$$CL_s = \frac{CL_{s+b}}{CL_b} = \frac{P_{s+b}}{1-p_b}$$

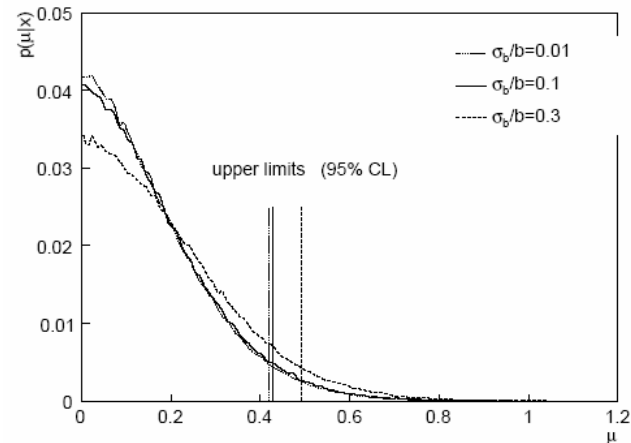
$$CL_s = \frac{CL_{s+b}}{CL_b} \xrightarrow{m_H \downarrow} CL_{s+b}$$

➤ The motivation: not to quote a limit for low cross section processes where the experiment has no sensitivity

➤ The problem: under coverage
for low σ signals the true false exclusion rate is below 5% (when quoting according to this recipe a 95% CL exclusion)

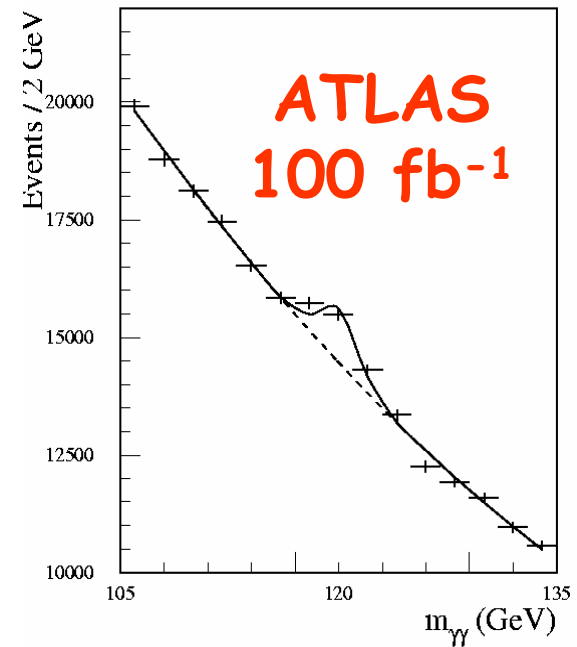
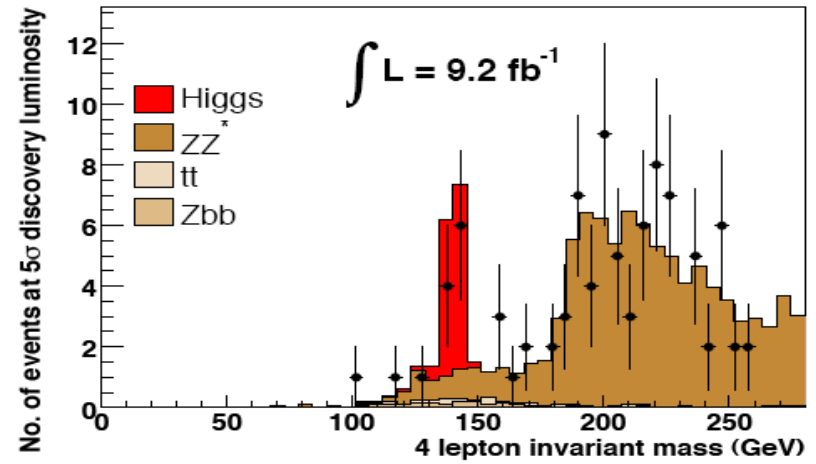
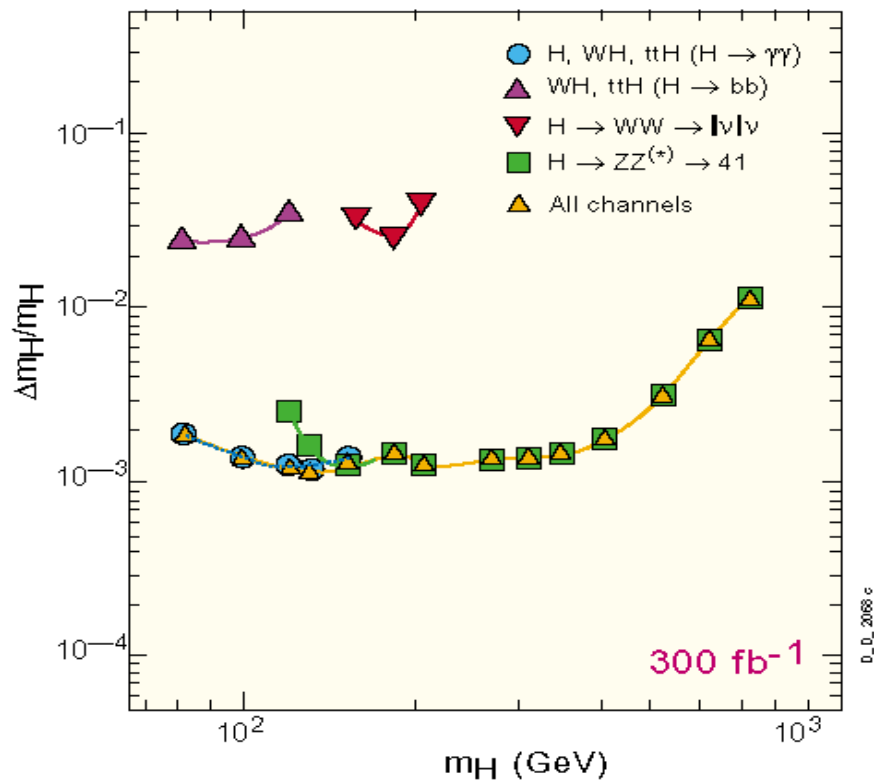
Eilam Gross, Analysis Strategies, 6 Sep 2015 m_H 115 GeV

Eilam Gross



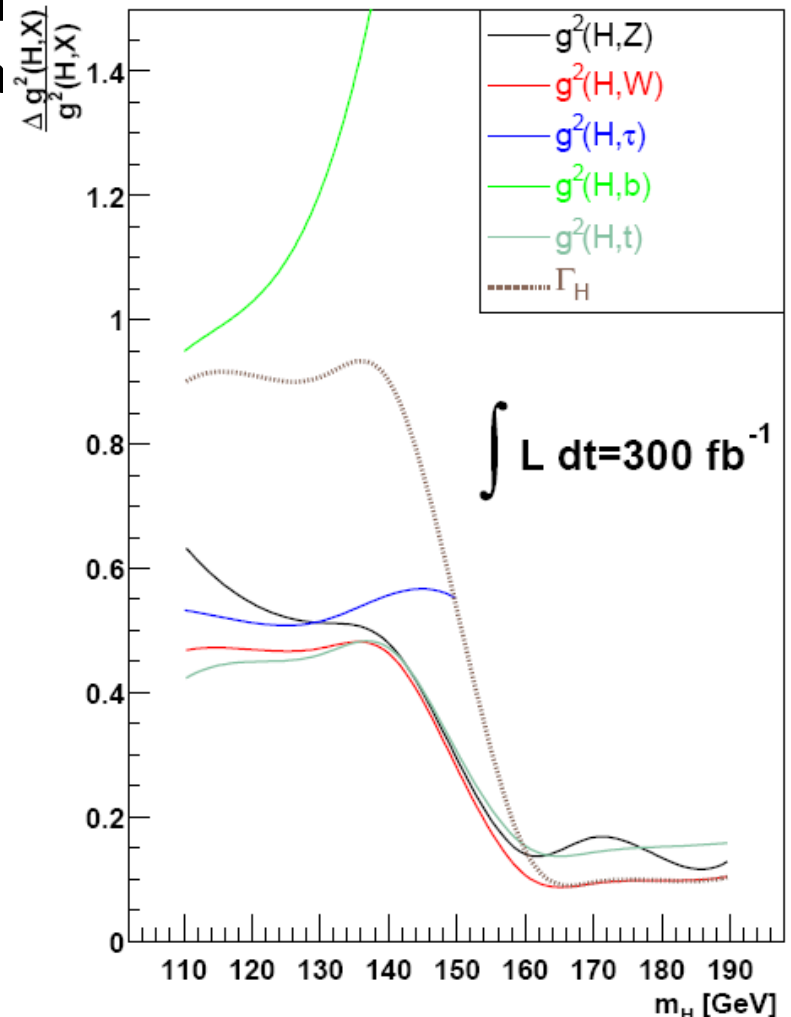
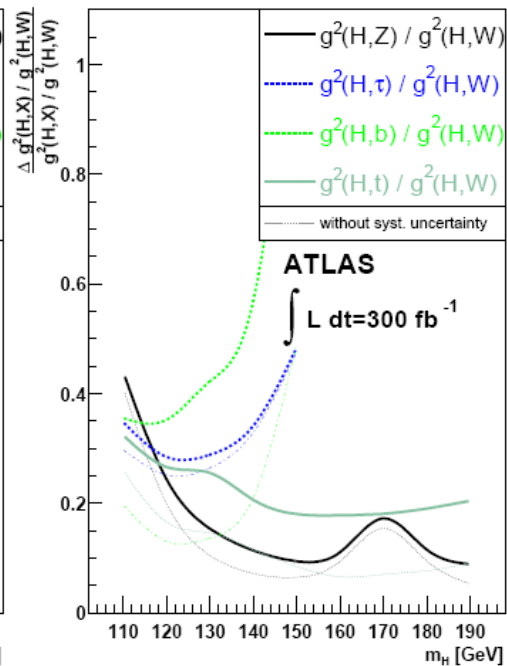
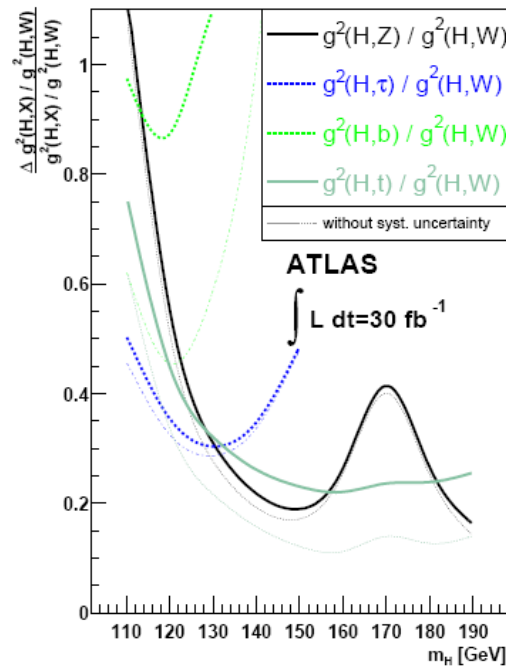
Mesure de la masse

Precision on SM Higgs mass



Mesure des couplages (M. Duehrssen)

- Nécessite des hypothèses supplémentaires
 - peu restrictives pour rapports de couplage
- pour $L > \sim 100 \text{ fb}^{-1}$...



- Aussi: largeur, spin, CP...