

# La découverte du Pentaquark

$q^+$

Aspects expérimentaux

# Quelques rappels

- QCD = théorie de l'interaction forte
  - Calculable à “haute” énergie, i.e. quand interaction est “*faible*” (calcul perturbatif)
- Physique hadronique : étude QCD-fort (non-perturbatif)
  - degrés de liberté ? :
    - quarks et gluons de QCD
    - effectifs : quarks constituants, soliton
  - confinement ? : couleur “cachée” à l'intérieur des hadrons
    - ➡ seules particules sans couleur (singlet de couleur) *observables*:

**qqq (baryons)    qq̄ (mésons)**

Pourquoi pas :

**qqqqq̄, q̄qq̄q̄**, glueballs, ... ➡ 30 ans de recherche...

Gignoux, Silvestre-Brac, Richard, PLB (1987): **Q̄qqqq**, Q=c ou b

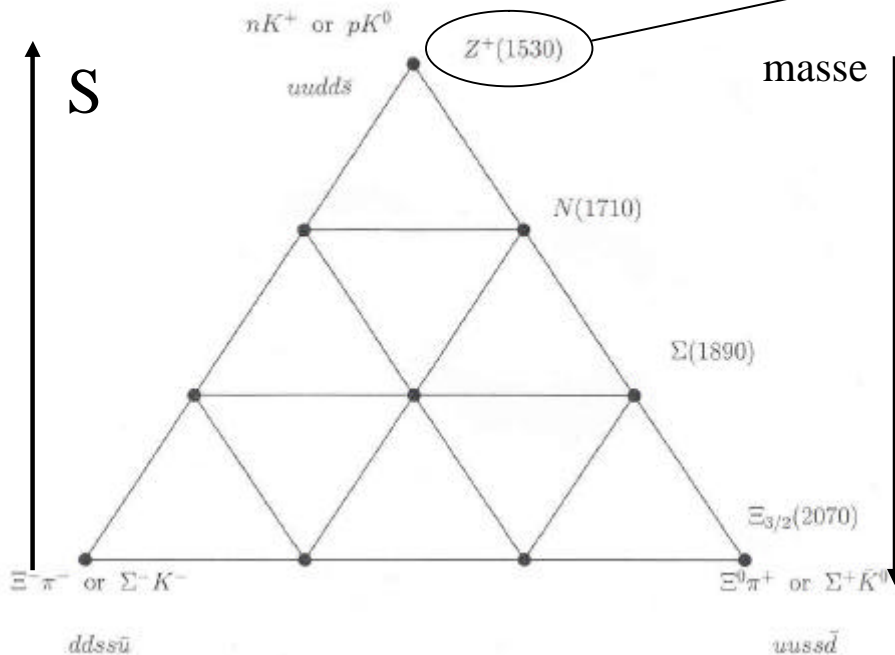
WA89 : pas de signal

# La *prédiction* du modèle “soliton chiral”

Diakanov, Petrov, Polyakov (Zeit. Physik A, 1997)

Anti-décuplet

$\Theta^+$  ( $Z^+$ )



- $S = +1$   $\rightarrow$   $uudd\bar{s}$  !!!
- Masse = 1530 MeV !!!
- Largeur = 15 MeV !!!
- $J^P = 1/2^+, I = 0$

Suggestions :  $\gamma p \rightarrow \bar{K}^0 \Theta^+ \rightarrow \bar{K}^0 K^+ n$  ou  $\bar{K}^0 K^0 p$

$\gamma n \rightarrow K^- \Theta^+ \rightarrow K^- K^+ n$  ou  $K^- K^0 p$

Candidats existants

# LEPS/SPRING8

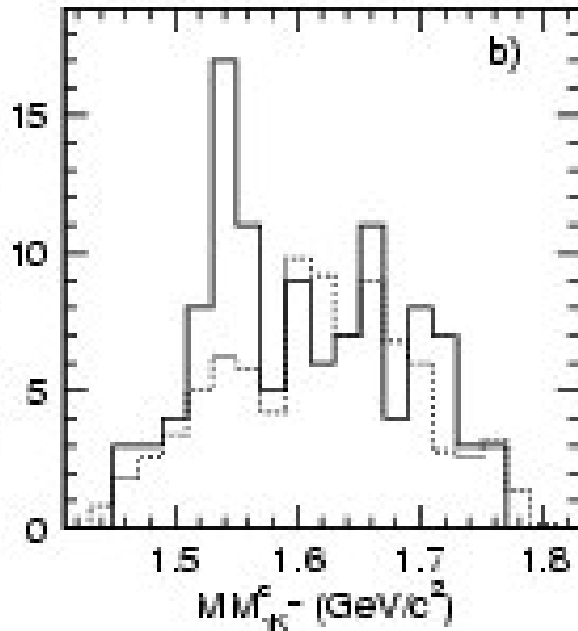
Nakano et al., PRL, 4 juillet 03

- Faisceau  $\gamma$  1500-2500 MeV (diffusion Compton)
- Spectromètre magnétique (dipole) optimisé pour  $\gamma p \rightarrow \Phi p \rightarrow K^+ K^- p$
- Cible:  $^{12}\text{C}$  (scintillateur plastique)

$$\gamma n \longrightarrow \Theta^+ K^- \longrightarrow K^+ n K^-$$

$$\gamma^{12}\text{C} \longrightarrow K^+ K^- (X)$$

**Masse manquante  $K^-$**

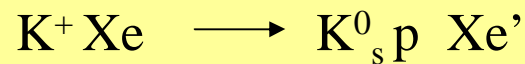


- $19.0 \pm 2.8$  coups ( $4.6 \sigma$ )
- $M = 1.54 \pm 0.01 \text{ GeV}/c^2$
- $\Gamma < 25 \text{ MeV}/c^2$

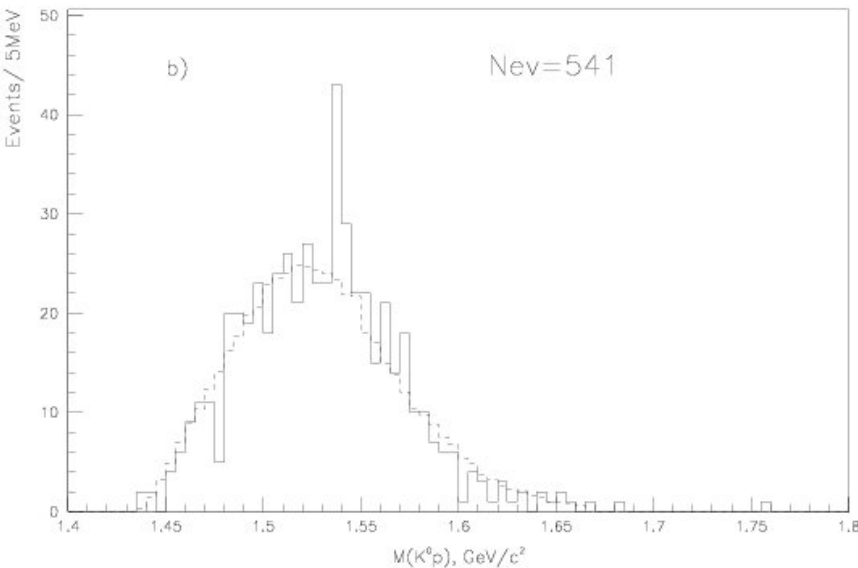
# DIANA/ITEP

Barmin et al., hep-ex/0304040

- Faisceau  $K^+$  de 850 MeV/c (de 750 à 0 suivant coordonnée z dans détecteur)
- Chambre à bulle Xe (cible)



**Masse invariante  $K^0 p$**



- $S/B = 29/73$  coups ( $4.4 \sigma$ )
- $M = 1539 \pm 2 \text{ MeV}/c^2$
- $\Gamma < 9 \text{ MeV}/c^2$

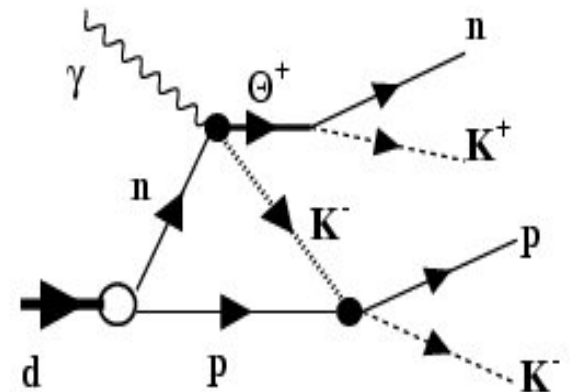
# CLAS/JLAB

Stepanyan et al., hep-ex/0307018

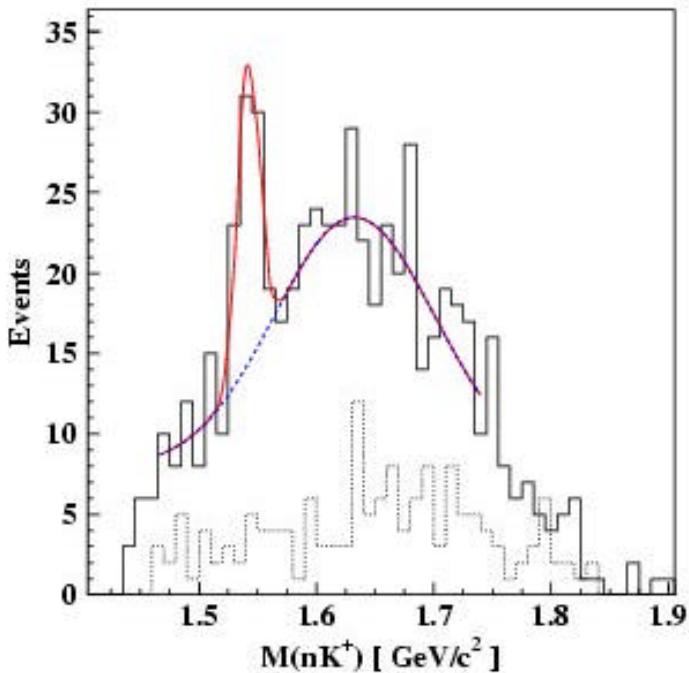
- Faisceau  $\gamma$  Bremsstrahlung:  $1.5 < E_\gamma < 3$  GeV
- Spectromètre magnétique  $4\pi$  (uniquement chargés)
- Cible LD2

$$\gamma n \longrightarrow \Theta^+ K^- \longrightarrow K^+ n K^-$$

$$\gamma d \longrightarrow K^+ K^- p (n)$$



Masse invariante  $K^+ n$

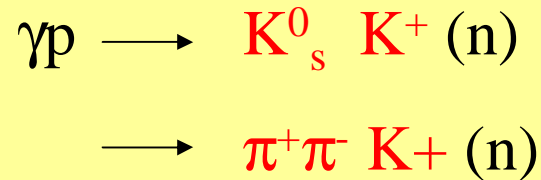


- 43 coups ( $5.3 \pm 0.5 \sigma$ )
- $M = 1542 \pm 5 \text{ MeV}/c^2$
- $\Gamma < 21 \text{ MeV}/c^2$
- pas de signal dans  $M(pK^+)$ : I=0 ?

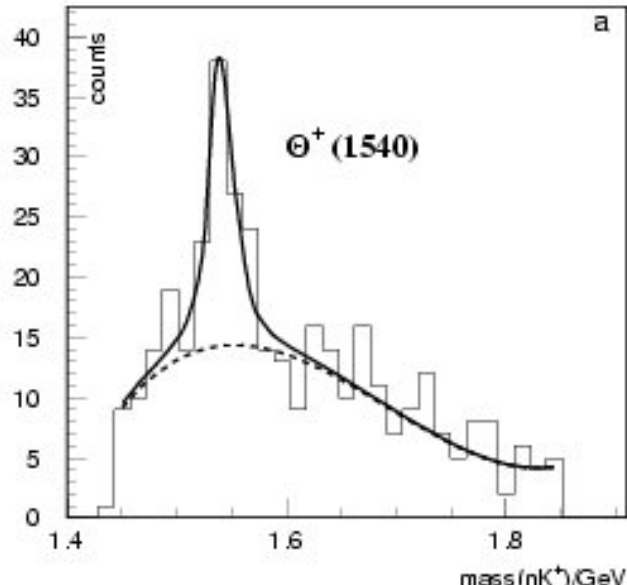
# SAPHIR/ELSA

Barth et al., hep-ex/0307083

- Faisceau  $\gamma$  Bremsstrahlung:  $.9 < E_\gamma < 2.6$  GeV
- Spectromètre magnétique dipole (uniquement chargés)
- Cible LH2



## Masse invariante $K^+ n$



- $63 \pm 13$  coups ( $4.8 \sigma$ )
- $M = 1540 \pm 4 \pm 2$  MeV/c<sup>2</sup>
- $\Gamma < 25$  MeV/c<sup>2</sup>
- $M(pK^+)$ : 75 obs./5000 attendus  
→ I=0
- $\langle \sigma \rangle (1.74-2.6) = 300$  nb

# Propriétés du $q^+$

## Expériences

- $M = 1540 \pm 5 \text{ MeV}$
- $\Gamma \leq 10 \text{ MeV}/c^2$
- $I = 0$
- $J ?$
- $P ?$

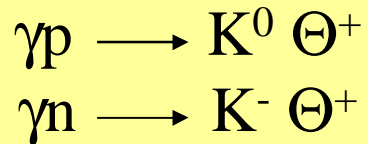
## Soliton model

1530 MeV  
15 MeV/c<sup>2</sup>  
I=0



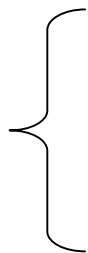
# GRAAL

- Production directe:



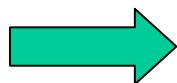
$$E_\gamma^{\text{seuil}} = 1740 \text{ MeV}$$

laser Ar



l (nm)	$E_g$ (MeV)
514	1100
351	1483
300	1660
250	1900

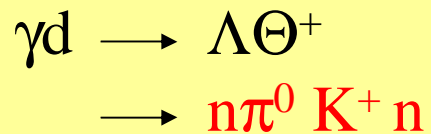
doubleur fréquence



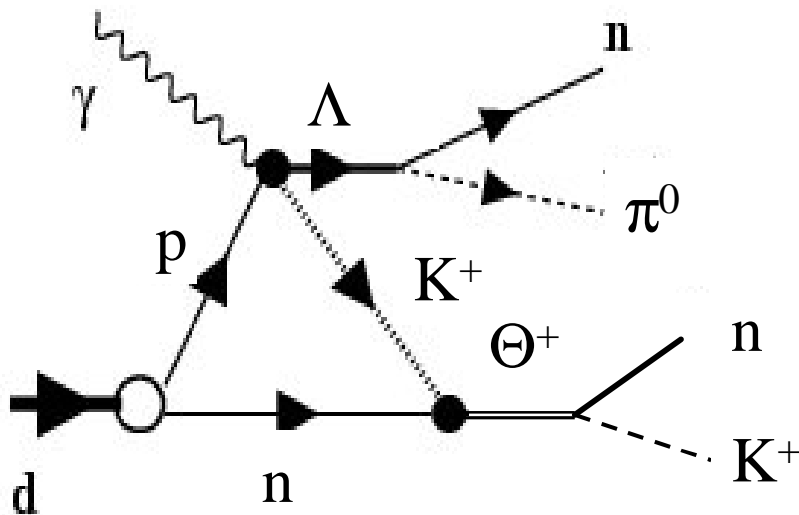
Achat nouveau laser !

# GRAAL

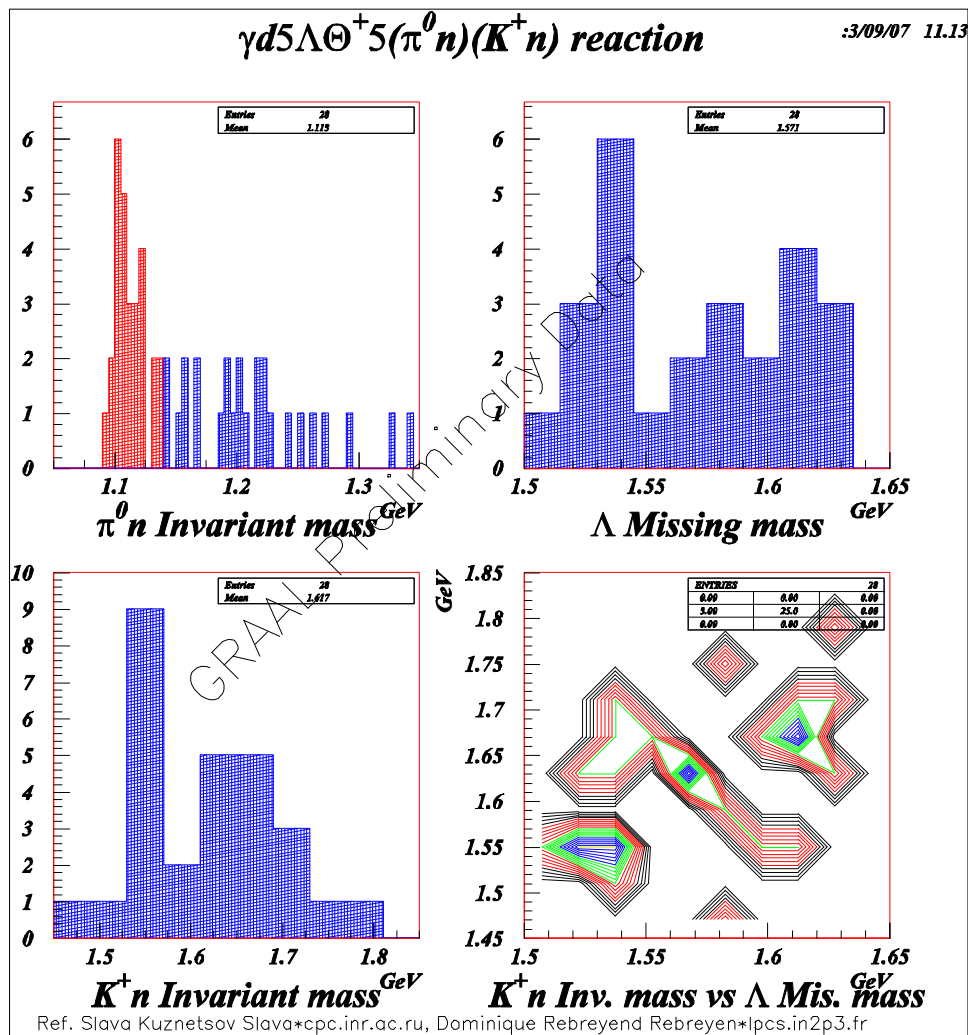
- Production indirecte:



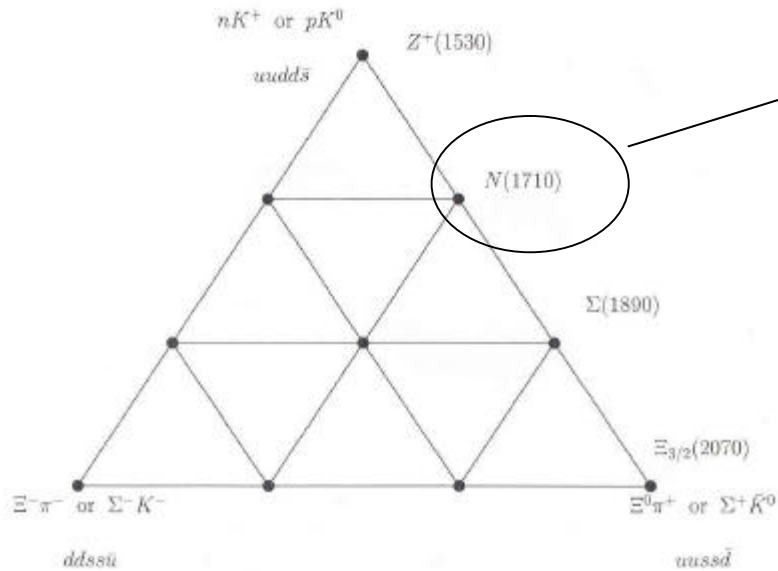
$$E_\gamma^{\text{seuil}} = 1000 \text{ MeV}$$



# Résultat très préliminaire !!



# Où sont les autres pentaquarks?



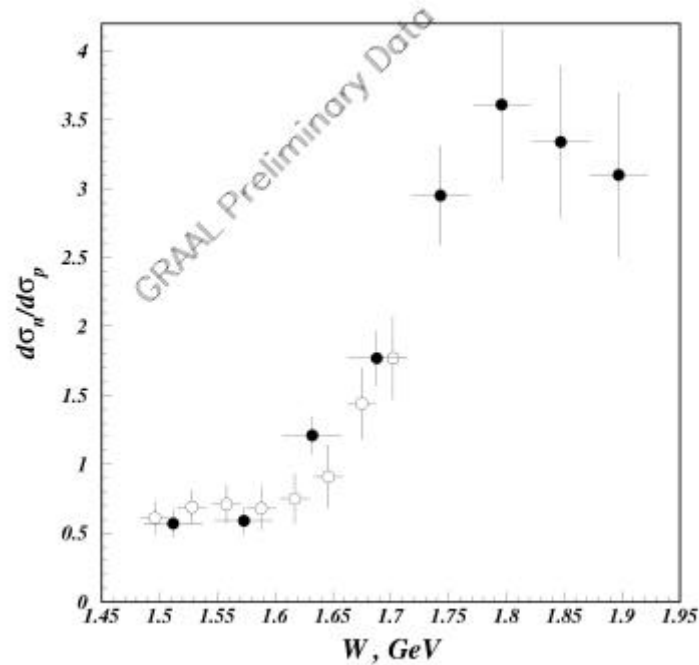
Résonance baryonique

$P_{11}(1710)$

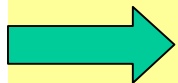
Prédiction Diakanov et al. :

$$\frac{\gamma_n \rightarrow \eta n}{\gamma_p \rightarrow \eta p} \gg 1$$

# Résultat très préliminaire !!



Nécessité de revoir toute la spectroscopie baryonique  
à la lumière de cette découverte :



Workshop NSTAR2004, LPSC (03/04)