UNIVERSITE DE LA MEDITERRANEE
RAPPORT DU STAGE JANUS

Cédric LEFEUVRE

ANALYSE DES DIFFUSIONS INELASTIQUES A COURANT NEUTRE CONTENANT DEUX CLUSTERS ELECTROMAGNETIQUES SIMULEES PAR MONTE-CARLO DANS LE DETECTEUR H1

Organisme d'accueil: équipe H1, Centre de Physique des Particules de Marseille
163, avenue de Luminy, Case 907 - 13288 MARSEILLE CEDEX 9

Directeur de stage: Mme. Marie-Claude Cousinou

Stage effectué du 30 Juin 1997 au 31 Juillet 1997.

Introduction

Dans leur voyage au coeur de la matière, les physiciens ont toujours eu à confronter leur modèle avec les expériences. Au début du siècle, Rutherford mis en évidence l'existence du noyau atomique et donc la structure de l'atome en diffusant des particules α sur des atomes d'or (particules composées). Suivant le même schéma, la diffusion de leptons sur des particules composées a été dès lors la principale méthode pour sonder leurs structures internes.

Aujourd'hui le collisionneur électron-proton HERA permet de sonder le contenu en quark et en gluons du proton à partir d'une réaction à très Haute Energie dans le centre de masse. On peut ainsi atteindre une résolution allant jusqu'à $10^{-18}m$ surclassant les expériences sur cible fixe.

Dans le cadre de mon stage, j'ai découvert la physique des particules qui repose sur un Modèle Standard théorique. Des simulations numériques des processus de ce modèle sont faites dans le but de pouvoir le tester avec la réalité : collision positron-proton reperées dans le détecteur à particules H1 , installé sur HERA. J'ai travaillé sur la compréhension de la génération d'un canal spécifique : les diffusions inélastiques à courant neutre donnant dans le détecteur deux amas électromagnétiques.

Table des matières

Chapitre 1

Modèle Standard et Simulation

1.1 MODELE STANDARD

1.1.1 Le Modèle Standard

Les interactions fondamentales

Le Modèle Standard décrit trois des quatre interactions fondamentales :

- Interaction électromagnétique qui s'exerce sur toutes les particules chargées : e, μ, τ, quarks et leur antiparticule. Le quantum du champ électromagnétique est le photon γ de masse nulle.
- Interaction forte qui agit sur les quarks et les antiquarks. Elle a pour quanta les gluons(huit différents) de masse nulle qui interagissent entre eux.
- Interaction faible qui a pour quanta les $W^+, W^- et Z^0$ très lourds. Le Modèle standard a unifié cette interaction et l'interaction électromagnétique en une interaction électrofaible.

Les particules élémentaires

Il y a 24 particules élémentaires.

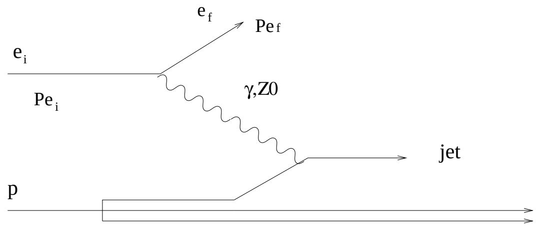
- 12 bosons qui sont les vecteurs des différentes interactions présentées ci-dessus :

  8 gluons ,W^+, W^-, Z^0 et γ.
- 12 fermions qui sont les particules de matière. Ils ont chacun une antiparticule. Il y a deux catégories : 6 leptons et 6 quarks. Ces derniers à cause de l'interaction forte n'existent qu'à l'état lié. Lors de leur production, ils donnent naissance à un ensemble de particules composites : les hadrons (e.g. le proton).

1.1.2 Cas particulier des interactions inélastiques à courant neutre

Les interactions inélastiques sont caractérisées par un grand transfert d'impulsion : Q^2=-$(\tilde{P}e_i - \tilde{P}e_f)^2$. Lors de cette réaction est échangé un boson. S'il est neutre (photon ou boson Z^0) alors c'est une interaction à courant neutre. Du fait de la masse nulle du photon, les interactions avec échange de ce boson sont majoritaires et ainsi donc les courants neutres par rapport aux chargés.

Voici le diagramme d'une interaction inélastique à courant neutre



1.1.3 H1 et le Modèle Standard

L'un des objectifs de l'expérience H1 est de tester la validité du Modèle Standard et de voir s'il y a de la physique nouvelle au delà de ce Modèle . Ceci n'est pas chose simple. La théorie du modèle standard est utilisée dans la simulation de processus qui va être comparée aux données réelles.

1.2 MONTE-CARLO : simulation , reconstruction

1.2.1 Présentation du dispositif d'analyse

Dans H1 , en plus des données réelles, on dispose de données générées conformément à la théorie grâce à la méthode dite de Monte-Carlo : A partir d'une interaction initiale donnée on simule les particules produites. De plus on dispose du logiciel H1SIM qui permet de simuler les interactions des particules générées avec la matière du détecteur. H1REC utilise les données produites par H1SIM pour transformer ces interactions en traces et énergie.

1.2.2 Reconnaissance des particules électromagnétiques

Lors de la collision il y a production entre autre de particules électromagnétiques (e et γ) et de hadrons qui déposent leur énergie dans les calorimètres formant ainsi des amas (cluster en anglais). Dans la mesure où d'une part électron et photon interagissent par intéraction électromagnétiques et d'autre part les hadrons par intéraction forte, ces amas ont des formes differentes.

- Electron et photon vont former un cluster compact. Pour les différencier il faut regarder les traces. S'il y a au moins une trace le cluster est détecté comme électron.
- Les jets hadroniques forment un cluster moins dense, plus étalé. Une partie peut se convertir en particules électromagnétiques détectée en moyenne plus loin dans le calorimètre électromagnétique.

Sur la figure 1.1 nous pouvons voir les deux types de clusters.

Sur la vue radiale on distingue nettement le cluster compact avec traces et le jet hadronique.

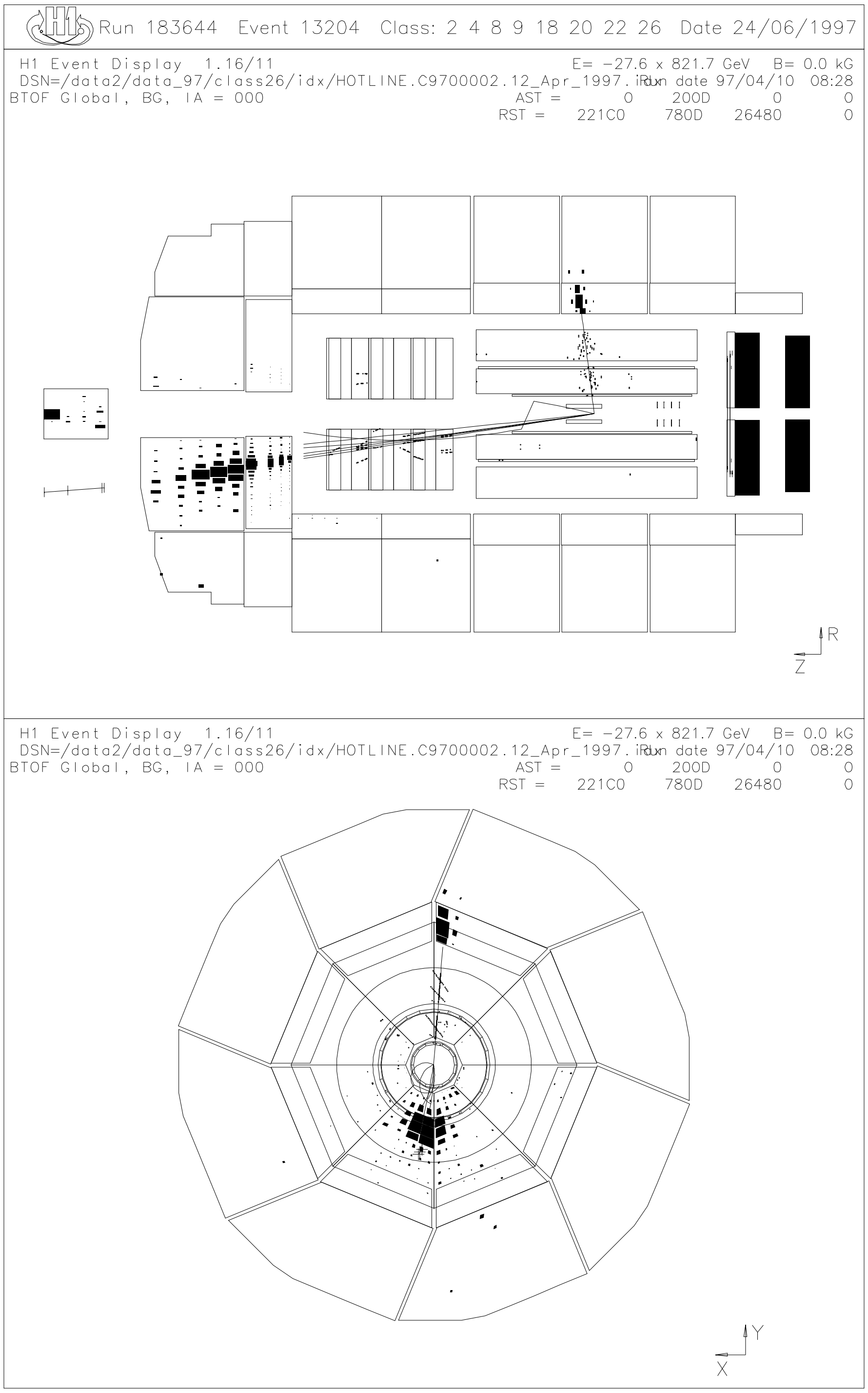


Figure 1.1: un événement à courant neutre(vues transversales et radiales), e-p $\rightarrow$ e-jet

1.2.3 Banque GTR

Tout les événements simulés par Monte-Carlo sont ordonnés dans différents tableaux. Pour mon analyse j'ai utilisé le tableau GTR (General TRacks) qui contient tous les paramètres caractérisant les particules générées: nature , parent , stabilité et variables cinématiques etc ... Pour mon analyse j' ai étudié un lot de 386 événements d' interactions inélastiques à courant neutre et contenant à l'état final deux clusters électromagnétiques.

Chapitre 2

HERA et le détecteur H1

2.1 L'accélérateur HERA

L'accélérateur HERA (figure 2.1) est un collisionneur proton-électron (ou positron, les deux expériences sont possibles) construit à Hambourg sur le site de DESY (Deutsches Elektronen SYnchrotron) produisant un faisceau d'électrons a une énergie de 27.5GeV et un faisceau de protons a une énergie de 820GeV. La réaction dans le centre de masse est de 314 GeV. Pour avoir la même énergie dans les expérience sur cible fixe , il faut accelerer des électrons jusqu'à 50 TeV sur une cible d'hydrogène.

Pour une étude analytique des réactions, on a fixé un repère x,y,z cartésien dans le référentiel du laboratoire tel que

- L'origine du repère soit prise au vertex de l'interaction positron-proton.
- L'axe des z soit confondu avec la direction du faisceau de protons.
- L'axe des y soit la verticale ascendante.
- L'axe des x soit défini de sorte que le trièdre x,y,z soit direct.
- θ soit l'angle polaire entre l'axe des z et la direction d'une particule produite par la réaction.
- ϕ soit l'angle azimuthal mesuré à partir de l'axe des x.

Sur la figure 2.2 on peut voir l' accélérateur HERA et les différents pré-accélérateurs et permettant la production de faisceau avec de telles énergies.

2.2 Le détecteur H1

Vue d'ensemble

Pour pouvoir observer la réaction, le collisionneur HERA dispose de plusieurs détecteurs dont H1 (figure 2.2) qui permet de mesurer les différents paramètres des particules produites. Il doit pouvoir observer tous les événements. Il est formé de couches cylindriques d'appareillage enroulés autour du tube à vide : le détecteur de traces, les calorimètres, la bobine supraconductrice et le détecteur de muons.

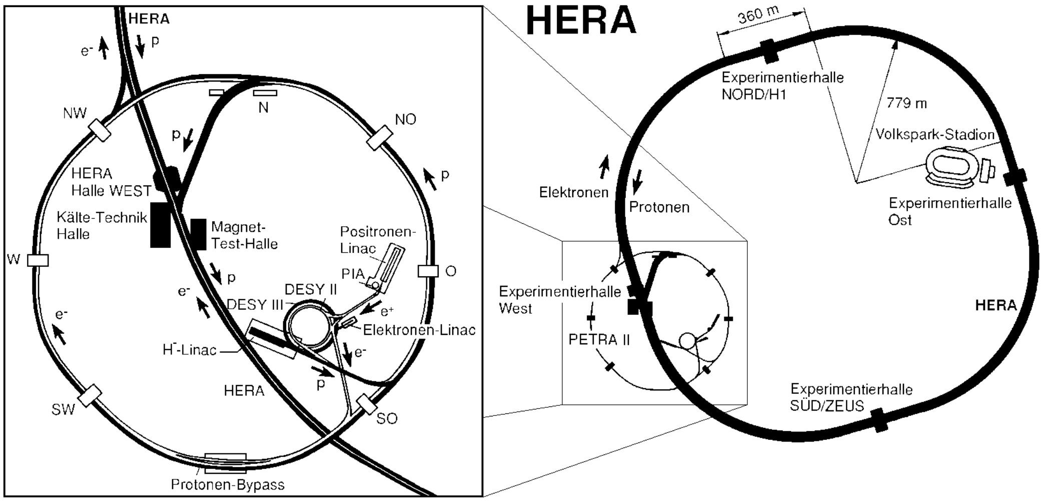


Figure 2.1: le collisionneur HERA.

Les détecteurs de traces

Les détecteurs de traces ($\boxed{2}$ et $\boxed{3}$ sur la figure 2.2) permettent de reconstruire la trajectoire de chaque particule produite et d'en déduire la position précise du point d'interaction (le vertex). La bobine supraconductrice permet de mesurer l'impulsion des particules ainsi que leur charge.

Les calorimètres

Les calorimètres permettent de mesurer l'énergie des particules en absorbant celles-ci totalement.

- Le calorimètre à argon liquide ($\boxed{4}$ et $\boxed{5}$ sur la figure 2.2) est composé d'une partie électromagnétique (partie intérieure) et d'une partie hadronique (partie extérieure). Les électrons et les photons sont rapidement absorbés et détectés dans la partie électromagnétique.
- Le calorimètre SPACAL, situé à l'arrière du détecteur ($\boxed{12}$ sur la figure 2.2), permet de détecter les électrons faiblement déviés et les hadrons produits à l'arrière.

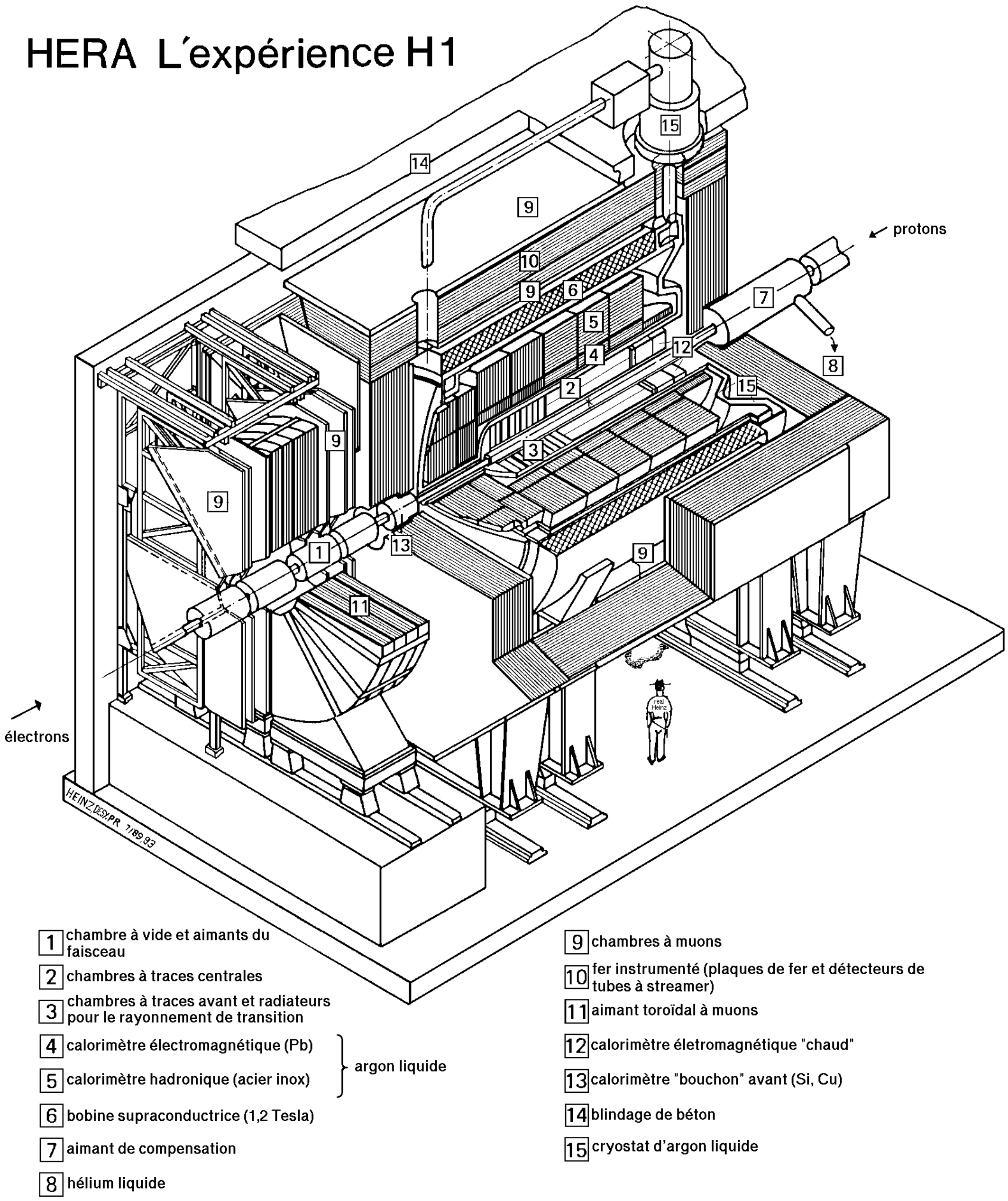


Figure 2.2: vue d'ensemble du détecteur H1.

Chapitre 3

Analyse de la reconstruction des événements Monte-Carlo

3.1 BUT DE L' ANALYSE

Lors de la comparaison des événements générés dans le Monte-Carlo et des données, on s'est aperçu qu' aparaissait une incohérence pour les diffusions inélastiques à courant neutre avec deux clusters électromagnétiques (avec $Et1 > 10GeV$ et $Et2 > 20GeV$,où Et est l'énergie transverse d'un cluster). Si la proportion des clusters électron-photon était bien rendue, il n'en est pas de même des électron-électron qui sont en excés dans le Monte-Carlo. Il m'a donc fallu à partir d'événements Monte-Carlo chercher la cause de cet excès.

3.2 FONCTIONNEMENT DE L' ANALYSE

Pour chaque événement, if faut trouver parmi toutes les particules électromagnétiques générées celles qui ont formé les deux clusters électromagnétiques que la reconstruction dans le détecteur H1 nous décrit par leur énergie et leurs angles θ_0 et ϕ_0. D'après des analyses précédente ,l'angle ϕ est celui qui est le mieux mesuré donc on fait sa recherche prioritairement et ensuite , dans un intervalle de 0.15 rd sur ϕ , on fait un tri suivant la valeur moyenne de l'erreur sur les angles $\sqrt{\Delta\phi^2 + \Delta\theta^2}$ ($\Delta\phi = \phi - \phi_0$ et $\Delta\theta = \theta - \theta_0$).

3.3 RESULTATS DE L' ANALYSE ET INTERPRETATION

3.3.1 résultats

Après tri des 386 événements, on a les résultats dans le tableau suivant.

386	événements
165	analysés comme électron-photon mais produits comme
	56 électron diffusé-jet(π^0)
	97 électron diffusé-photon radié
	8 électron diffusé - jet(6η 1 η'(958) 1 ω(782))
	4 photon radié-jet(π^0)
221	analysés comme électron électron mais produits comme
	184 électron diffusé-jet(π^0)
	11 électron diffusé-photon radié
	18 électron diffusé-jet(17η 1η'(958))
	2 photon radié-jet(π^0)
	3 electron diffusé- électron venant d'un π^0
	1 electron diffusé- électron venant d'un η
	2 cas problematiques *

Dans les résultats précedents , tous les jets hadroniques donnent des clusters reconstruit comme photons .

Grâce à une étude faite, j'ai pu remarquer qu' un quart des clusters reconstruit comme photons était des photons radiés secondaires. Les autres proviennent de désintégrations posterieures. *Les deux derniers cas sont des événements où très peu de particules électromagnétiques ont été produites et ne formant pas les clusters détectés.

Pour notre lot d'événements, on s'aperçoit que la majeure partie des excès électron-électron provient de clusters engendrés par un vrai électron et un π^0 (90.5%). Il faut donc s'attacher à savoir comment ces clusters ont pu être ainsi détectés.

3.3.2 Interprétation

Pour cela il faut connaître les modes de désintégrations des π^0. Or $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ est le mode principal. Lors de son hadronisation un quark peut céder une partie très importante de son énergie à une seule particule qui peut être un π^0. Comme on l'a vu dans ce cas là le jet est essentiellement composé de deux photons énergétique et de quelques hadrons de plus faible énergie. Dans le calorimètre il y a donc un cluster assez compact et aussi des traces du jet hadronique. Le cluster est donc détecté comme un électron. De la même manière d'autres hadrons peuvent former un cluster électromagnétique.

$\eta \rightarrow \gamma\gamma$ réaction principale

η'(958) $\rightarrow \rho^0\gamma$ seconde réaction principale

Conclusion

Dans le domaine de la physique des particules on s'efforce de connaître toujours plus de la sructure de la matière et des lois la régissant. Le détecteur H1 est une des voies les plus prometteuses. Néanmoins on doit toujours modéliser la théorie afin de pouvoir analyser les résultats acquis en confrontant les résultats théoriques et expérimentaux.J'ai donc à partir d'une remarque sur des résultats, trouvé que l'excès d' événements détectés comme électron-électron était en fait des électron-jet hadronique avec une énergie électromagnétique importante dans le jet.

ANNEXE

Bien qu'inutile pour la compréhension de mon analyse, je me suis permis de mettre ici une copie du programme qui a été l'essentiel de mon travail.N'étant qu'un débutant en fortran77 je laisse à chacun la possibilité de le valider.

```
      subroutine anagennc


+seq,bcs.
+seq,bosmdl.
+seq,flprnt.
+seq,2em.

c declarations de variables

      integer ind,ndata,npart,iii,indic,ifl,igm
      integer istat,ityp,imoth,inmoth,code
      character typ(111)*8,fla(3)*9
      character mesge*40,parnt*20,vr*9
      real phi,teta,phi1,phi2,the1,the2
      real dphi1,dphi2,dthe1,dthe2
      logical nko1,nko2,nko3,nko4,nko5,nko6

c   donnees de la reconstruction

      write(6,*)' clusters EM ',iflgg,ptrem1,ptrem2

      ind = iw(namind('GTR '))

      if (ind .gt. 0 ) then
      ndata = iw(ind+1)
      npart = iw(ind+2)

c initialisation

      mesge=' '
      parnt=' '
      typ(11)='electro-'
      typ(22)='photo-'
```

```
      typ(111)='par.pi0 '
      typ(99)='par.exo '
      fla(1)= 'elec.ele '
      fla(2)='elec.pho '
      fla(3)='phot.pho '

      nko2=.false.
      nko3=.false.
      nko4=.false.
      nko5=.false.
      nko6=.false.
      pi=3.1415
      phi1=phiem1+2*pi
      phi2=phiem2+2*pi
      the1=0
      the2=0
      dphi1=3
      dphi2=3
      dthe1=3
      dthe2=3
      ifl=0
      emax1=0
      emax2=0
      ip1=0
      ip2=0
      igm=0
      ity1=0
      ity2=0
      imot1=0
      imot2=0
      ig1=0
      ig2=0
      ist1=0
      ist2=0
c
c  debut de la boucle sur les particules
c
      do iii=1,npart

c prise des donnees dans la bank gtr

      ip = ind + 2 +(iii-1)*ndata
      ityp=iw(ip+7)
      px=rw(ip+1)
      py=rw(ip+2)
      pz=rw(ip+3)
      pto=sqrt(etr**2+pz**2)
      etr=sqrt(px**2+py**2)
      teta=(acos(pz/pto))
      phe=atan(py/px)
```

```
      phi=(phe-pi*((px.lt.0)-2*((px.lt.0).and.(phe.lt.0))))
      imoth = iw(ip+9)
      if(imoth.gt.0.and.imoth.lt.npart) then
      inmoth = iw(ind+2+(imoth-1)*ndata +7)
      instat = iw(ind+2+(imoth-1)*ndata +8)
      else
      inmoth = -1
      endif
      igm = iabs(inmoth)
c      if (((igm.ne.11).and.(igm.ne.22)).and.(igm.ne.111)) then
c      igm=99
c      endif
      istat=iw(ip+8)


c     recherche des 2  particules   qui ont forme les 2  clusters em

      dphi1=abs(phi-phiem1)
      dphi2=abs(phi-phiem2)
      dthe1=abs(teta-theem1)
      dthe2=abs(teta-theem2)
      nko2=(dphi1.le.(abs(phi1-phiem1)+.05))
      nko3=(dphi2.le.(abs(phi2-phiem2)+.05))
      nko4= (dthe1.le.(abs(the1-theem1)))
      nko5=(dthe2.le.(abs(the2-theem2)))
      nko6=(sqrt(dphi1**2+dthe1**2).le.sqrt(dphi2**2+dthe2**2))
      k=(ityp.eq.11).or.(ityp.eq.-11)
      j=k.or.(ityp.eq.22)
      if ((j.eq.1).and.(iii.gt.2)) then
c      write(*,*)'ityp,imoth,igm,the,phi',iii,ityop,imoth,igm,teta,phi
      if (nko2.and.nko4.and.nko6) then
      emax1=etr
      ii1=iii
      the1=teta
      phi1=phi
      ity1=ityp
      imot1=imoth
      ig1=igm
      ist1=istat
      else
      if   (nko3.and.nko5) then
      emax2=etr
      ii2=iii
      the2=teta
      phi2=phi
      ity2=ityp
      imot2=imoth
      ig2=igm
      ist2=istat
      endif
```

```
      endif
      endif

c fin  recherche
c
      enddo
      ig3=ig1
      ig4=ig2
      if (((ig1.ne.11).and.(ig1.ne.22)).and.(ig1.ne.111)) then
      ig1=99
      endif
      if (((ig2.ne.11).and.(ig2.ne.22)).and.(ig2.ne.111)) then
      ig2=99
      endif


c fin de la boucle sur les particules

c analyse de l evt

      ifl=(iabs(ity1)+iabs(ity2)-11)/11

      write(*,*)'ity1,imot1,the1,phi1',ity1,ig1,the1,phi1,emax1
      write(*,*)'ity2,imot2,the2,phi2',ity2,ig2,the2,phi2,emax2

      parnt=typ(ig1)//typ(ig2)
      mesge=((fla(iflgg)//fla(ifl))//parnt)
      code=20000*iflgg+1000*ifl+ig1+ig2

      call tcmsto(code,mesge)

      else
      call tcmsto(1009,' pas de bank gtr ')
      go to 99
      endif

  99  continue
*
      end
```

Remerciements

Je remercie Elie ASLANIDES pour m'avoir accueilli dans son laboratoire et Claude VALLEE au sein de l' équipe H1.

Je tiens à remercier tout particulierement Marie Claude COUSINOU pour m'avoir proposé ce stage et encadré.

Je remercie spécialement Smaïn KERMICHE dans son rôle de second tuteur qui m'a donné toutes les bases essentielles à ce stage.

Je tiens aussi à remercier Fabien MOTSCH, Isabelle NEGRI et Hubert HANSEN pour leurs renseignements utiles.