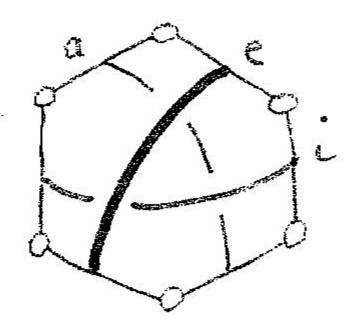
#### chromodynamique plastique

### 1 - présentation du matériel

voici un motif nœudien, appelé coin, formé de trois croisements, dessiné dans un poinçon hexagonal, et pour lequel nous avons étiqueté chaque brin d'une voyelle. chacun des brins est commun à deux croisements, chaque croisement l'est de deux brins.



lecture des dessus-dessous

à chaque croisement est associé un marquage symbolique, son *ornure*, correspondant à la lecture des dessus-dessous. comme il n'y a que deux sortes de croisements, il y a deux ornures w et w'. il n'y a pas, par contre, comme dans les méthodes mathématiques, de standard d'attribution car ce qui nous intéresse ici c'est seulement leur opposition; sans standard mais non sans cohérence une fois une première ornure attribuée.

avant de passer au protocole d'attribution des ornures, nous définissons la notion d'alternance nœudienne.

a) alternance — deux croisements consécutifs sont alternés lorsque le brin qui leur est commun passe tantôt dessus, tantôt dessous sans préjuger de l'ordre de lecture. deux tels croisements sont dits épingles alternées.



deux croisements consécutifs sont non alternés lorsque le brin qui leur est commun passe toujours dessus ou toujours dessous. deux tels croisements sont dits épingles non alternées.

on peut donc dire de façon équivalente : un coin est constitué de trois

- croisements consécutifs
- brins croisés deux à deux
- épingles formant un triangle souple.

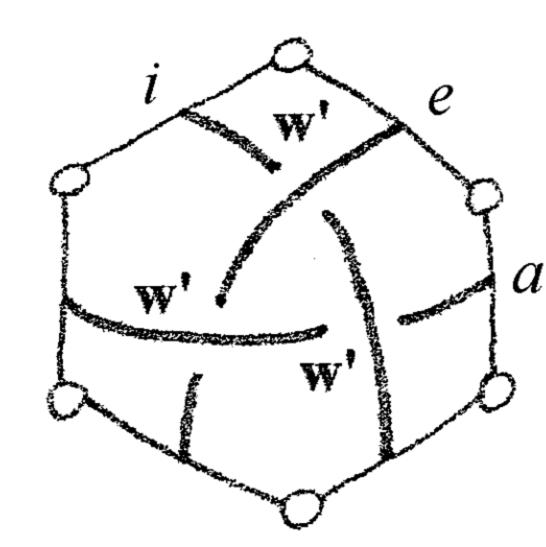
un coin est alterné si toutes ses épingles sont alternées, il est non alterné dans le cas contraire. dans notre dessin ci-dessus, le coin est non alterné, seule l'épingle i est alternée.

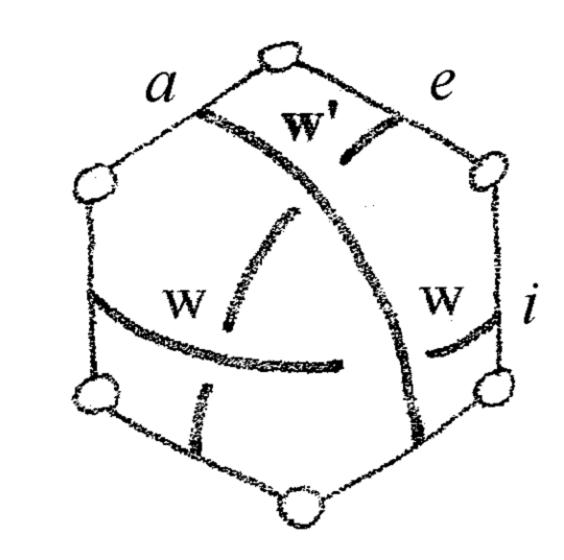
b) attribution des ornures – lorsque deux croisements consécutifs sont alternés, leurs ornures sont identiques, w et w, ou w' et w'.

lorsque deux croisements consécutifs sont non alternés, leurs ornures diffèrent, w et w' ou w' et w.

josef bayéma

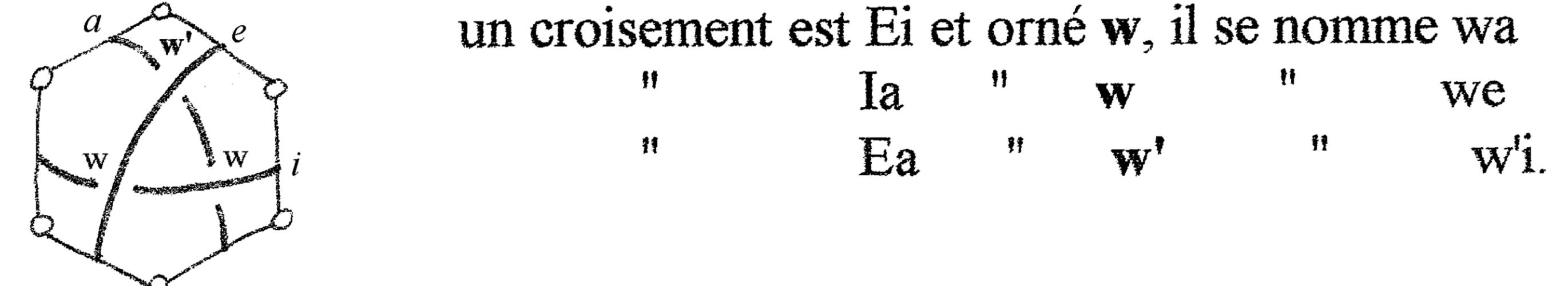
voici deux coins dotés d'ornures et de voyelles.





pour continuer, nous devons désigner les croisements. pour désigner un croisement, nous lui associons une syllabe constituée de son ornure et de la voyelle *qui n'y participe pas*. voyons cela de plus près : un croisement est formé de deux brins dont nous écrirons les voyelles correspondantes MAJUSCULE quand le brin passe DESSUS et minuscule quand le brin passe dessous.

exemple:

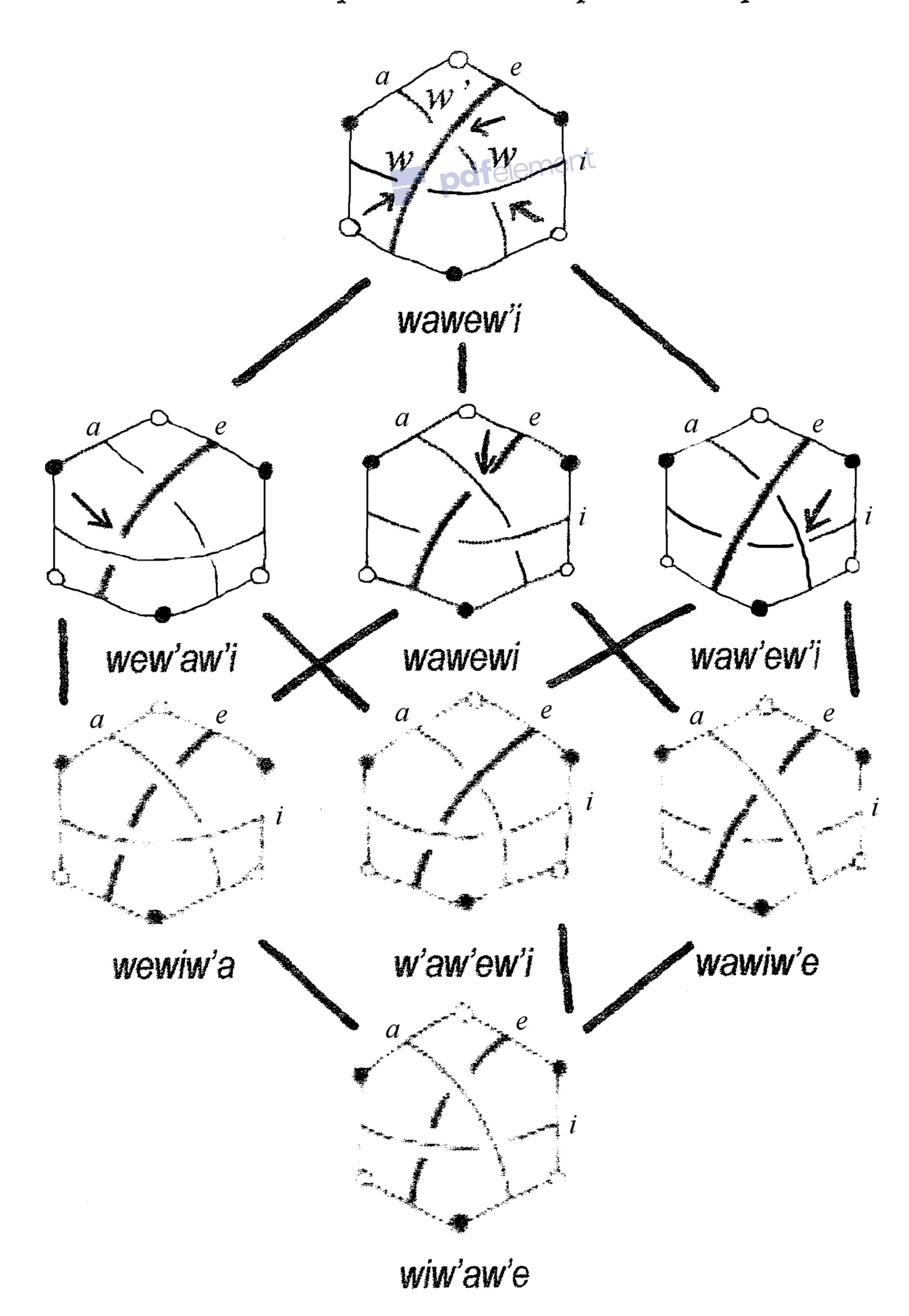


le coin peut ainsi se lire comme un mot de trois syllabes énoncées dans l'ordre alphabétique avec w avant w'. l'exemple ci-dessus se lit wawew'i.

deux opérateurs.

nous utilisons deux transformations du coin; l'inversion de dessus-dessous (idd) et le retournement, afin de produire tous les coins ornés possibles et les mots correspondants.

a) idd – à partir d'un coin orné nous en produisons sept autres par de successives idd.



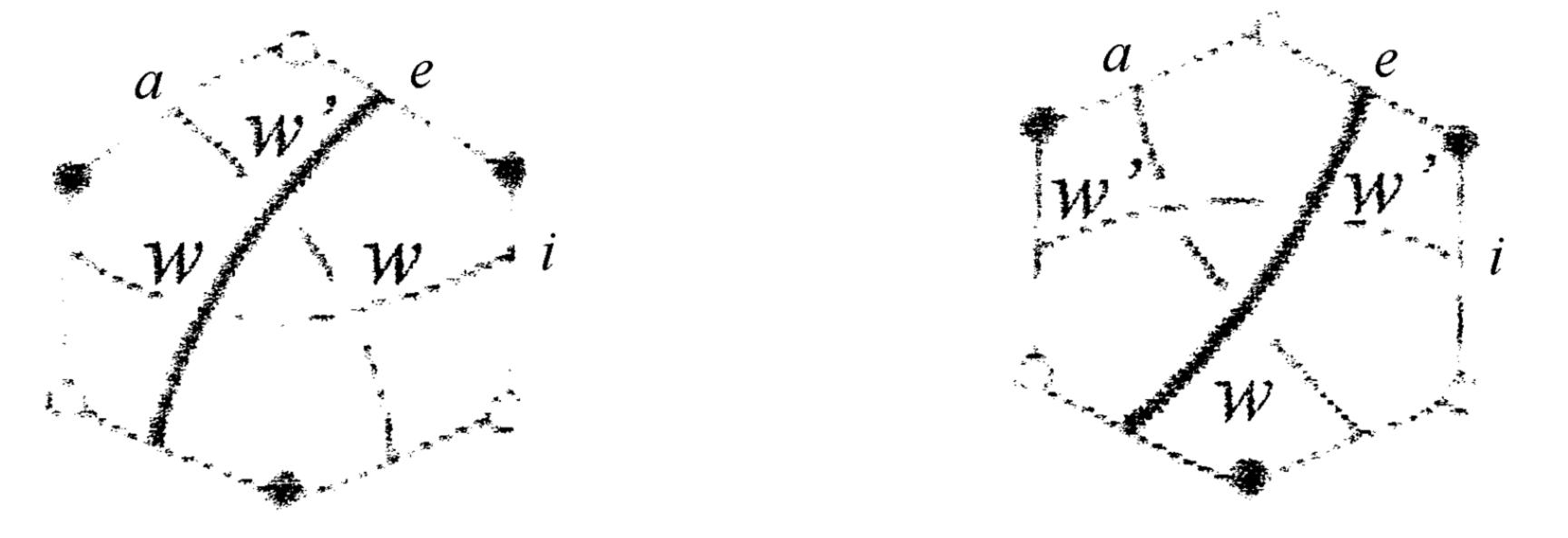
nous obtenons un ensemble de 8 coins : deux sont alternés, les deux coins ornés homogènes wawewi et w'aw'ew'i, les six autres sont non alternés.

b) retournement – cette métamorphose ne concerne que les coins non alternés, dits pour cela coins retournables. elle est involutive. dans un coin retournable il y a deux épingles non alternées, celle toute DESSUS et celle toute dessous.

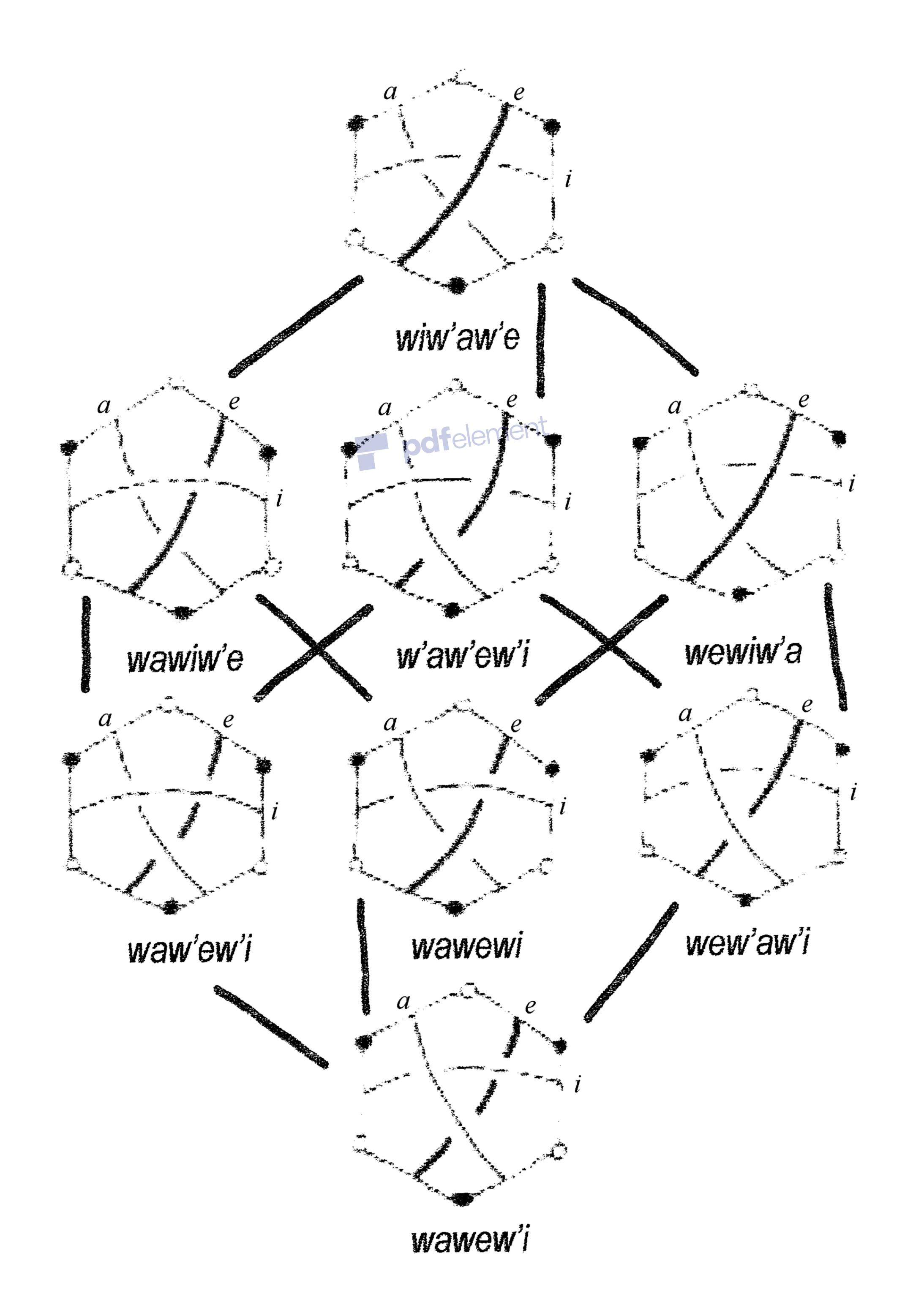
le retournement consiste à déplacer une épingle non alternée d'un état initial, , de l'autre côté du croisement qui lui fait face aboutissant ainsi à l'état final, dans ce cas, l'épingle non alternée prend le nom d'épingle retournante et le croisement opposé croisement retournable. le retournante de l'état initial pour en matérialiser deux autres dans l'état final, de l'autre côté du croisement retournable.

en voici la procédure dessinée; il y a indiscernabilité quant à l'épingle retournante qui effectue le retournement,

quelle qu'elle soit l'état final est identique:



à partir du retourné du coin orné initial de l'ensemble précédent, nous produisons, comme précédemment, par de successives idd sept autres coins ornés.



nous obtenons un ensemble semblable au précédent.

avec ces deux ensembles, il y a huit mots pour seize coins ornés, chaque mot correspondant à deux coins ornés *homonymes*. les coins se différencient par l'agencement de leurs brins vocalisés, par leurs ornures et la valeur (coloriage) des sommets des poinçons.

josef bayéma

## 2 – calcul plastique

# a) petite algèbre d'ornure.

sans hypothèse particulière, il est possible pour chaque coin orné de calculer la contribution respective des ornures prenons deux coins non alternés, retournés l'un de l'autre.



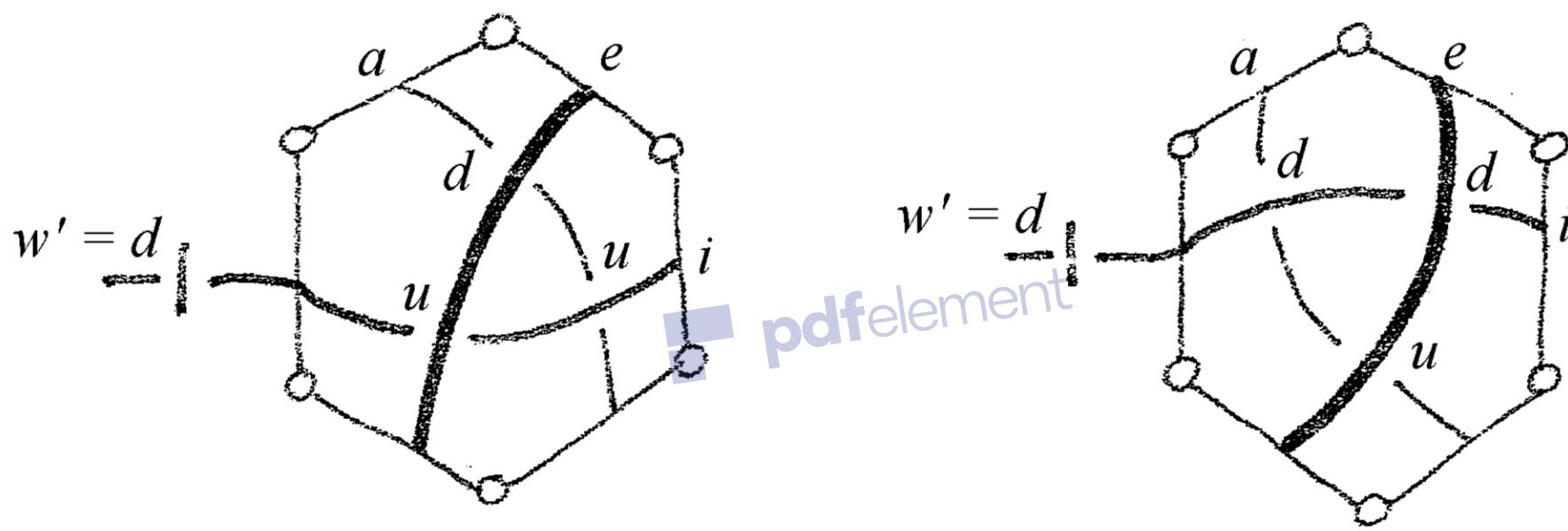
le coin (2w,w') permet d'écrire : 2w + w' = k. de même le coin (w, 2w') permet d'écrire w + 2w' = k'. la résolution de ce système donne :  $\mathbf{w} = (2k - k')/3$  et  $\mathbf{w'} = (2k' - k)/3$ .

en choisissant dans l'ensemble des valeurs (-1, 0, +1), on assigne arbitrairement les valeurs 1 à k et 0 à k', alors w = 2/3 et w' = -1/3.

### • saveurs

adoptons à ce stade le langage de la chromodynamique quantique en traduisant nos ornures en saveurs de quarks :  $\mathbf{w} = \mathbf{u}$  et  $\mathbf{w}' = \mathbf{d}$ , ce qui revient à identifier les croisements nœudiens aux quarks et les coins à des particules.

revoyons le retournement du coin. à chaque retourné nous ajoutons un croisement référent à l'extérieur du poinçon.



le coin www' = uud se métamorphose en le coin ww'w' = udd et réciproquement. ils sont l'un à l'autre comme le proton uud au neutron udd.

le retournement nœudien du coin correspond donc à la transformation chromodynamique involutive du nucléon, de proton en neutron et réciproquement. les contributions relatives de nos ornures, à savoir w = 2/3 et w' = -1/3 respectent les contributions équivalentes des saveurs u et d de la CDQ.

lère série de valeurs des coins : la charge en quarks Q

listons tous les coins et leurs valeurs associées en ayant traduit w par u et w' par d. nous établissons une première série de valeurs en exhibant la liste des mots :

wawewi = 
$$2/3+2/3+2/3 = 2$$
  
wawew'i = wawiw'e = wewiw'a =  $2/3+2/3 - 1/3 = 1$   
waw'ew'i = wew'aw'i = wiw'aw'e =  $2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$   
w'aw'ew'i =  $-1/3 - 1/3 - 1/3 = -1$ 

# b) 2ème série de valeurs des coins : la composante $I_z$ de l'isospin I

lorsque nous inversons un dessus-dessous, l'ornure du croisement passe soit de w à w' et sa valeur de 2/3 à -1/3, donc varie de -1 valeur soustraite et donc négative du pion  $\pi^+$ , soit de w' à w et sa valeur de -1/3 à 2/3 donc varie de +1 valeur soustraite et donc positive du pion  $\pi^-$ .

en considérant que la valeur du point double, c'est-à-dire du croisement sans dessus-dessous est 0 et que l'effort de décollage, ou action élémentaire, est identique dans un sens et dans

$$+1/2$$
 $-1/2$ 
 $-1/2$ 
 $+1/2$ 

un croisement w vaut +1/2 par rapport au point double et w' vaut -1/2.

appliquons ces valeurs aux mots de notre liste précédente :

wawewi = 
$$1/2+1/2+1/2 = 3/2$$
  
wawew'i = wawiw'e = wewiw'a =  $1/2+1/2-1/2 = 1/2$   
waw'ew'i = wew'aw'i = wiw'aw'e =  $1/2-1/2-1/2 = -1/2$   
w'aw'ew'i =  $-1/2-1/2-1/2 = -3/2$ 

identification de quelques particules :

la formule  $Q = I_z + 1/2$  nous permet d'identifier les mots de nos deux séries de valeurs, terme à terme, à des particules connues. par exemple, les mots en gras dans les deux listes donnent :

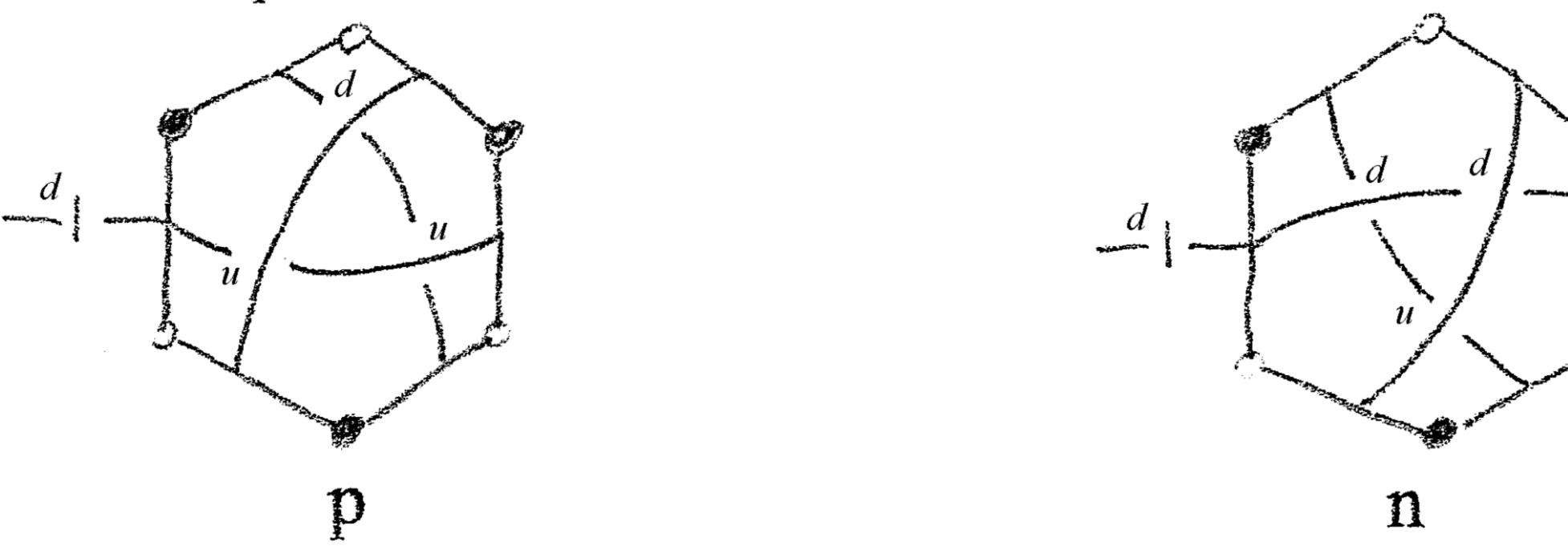
- --Q(wawew'i) = 1 et
- $I_z$ (wawew'i) = 1/2 identifient wawew'i au proton, et son retourné wiw'aw'e
- --Q(wiw'aw'e) = 0 et
- $-I_z(wiw'aw'e) = -1/2$  au neutron.
- --Q(wawewi) = 2 et
- $I_z$ (wawewi) = 3/2 identifient la particule  $\Delta^{++}$ .
- --Q(w'aw'ew'i) = -1 et
- $I_z(w'aw'ew'i) = -3/2$  identifient la particule  $\Delta^-$ . renseignements pris dans l'ouvrage de charles ruhla, 1982, d'ah! que la physique..."

nous pouvons aussi considérer les valeurs des épingles alternées ww = 2/3 + 2/3 = 4/3, w'w' = -2/3, de l'épingle retournante ww' = 2/3 - 1/3 = 1/3, etc.

## couleurs

une particule composée de trois quarks est dite blanche si elle possède les trois couleurs fondamentales bleu, jaune et rouge.

revoyons les deux coins représentant les deux états du nucléon.

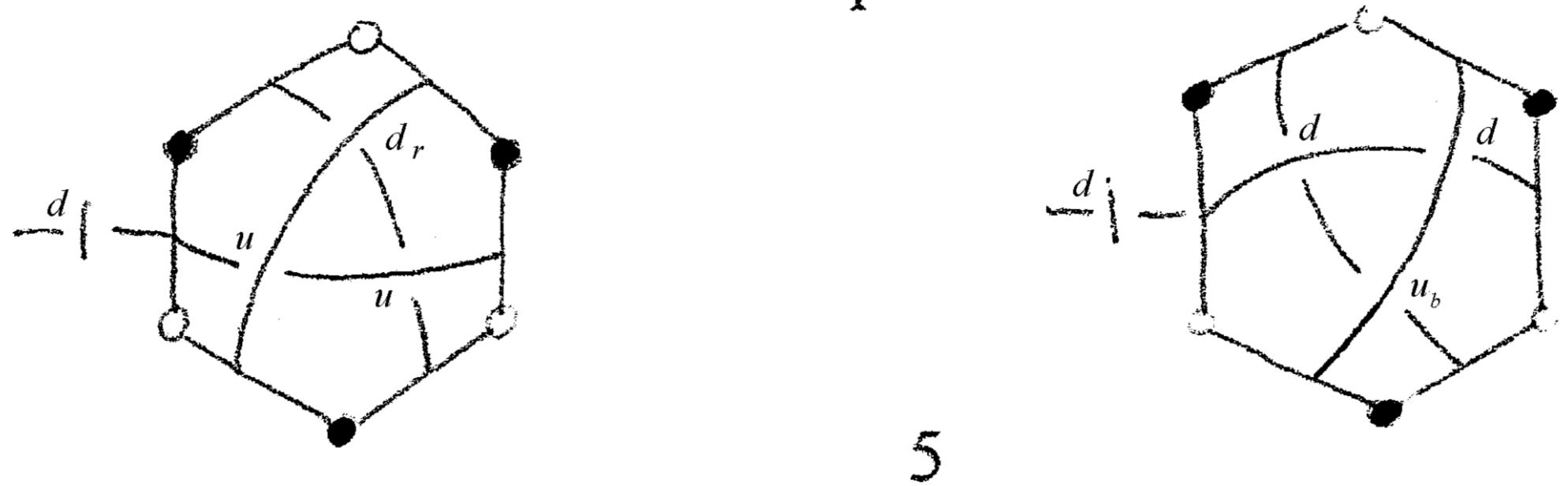


le nucléon étant une particule blanche, ses deux états, proton et neutron, doivent être blancs. les formules saveurs+couleurs sont, en notant b pour bleu, j pour jaune et r pour rouge :

- pour le proton  $p = u_b u_i d_r$ ,
- pour le neutron  $n = u_b d_i d_r$ .

josef bayéma

nous pouvons immédiatement attribuer dans le schéma du proton la couleur rouge au quark d et sur le schéma du neutron la couleur bleue au quark u.



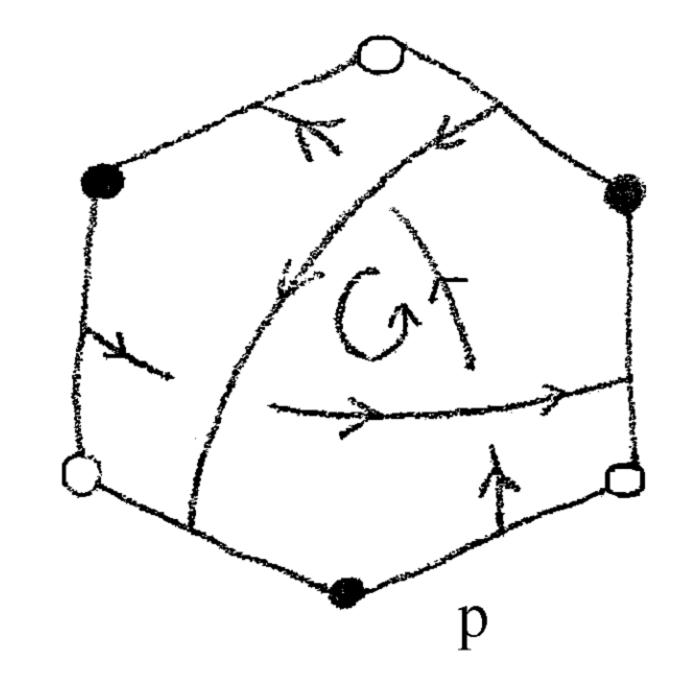
pour attribuer toutes les couleurs, il faut répondre à deux questions :

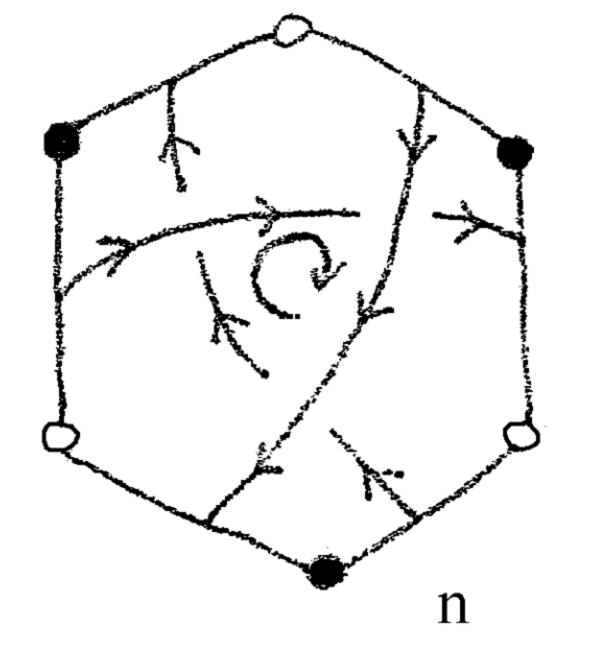
- 1° quelle couleur attribuer à chacun des deux u du proton et à chacun des deux d du neutron?
- 2° comment s'y prendre afin que le retournement du nucléon respecte l'échange des couleurs de telle sorte que ses deux états restent blancs?

voici une manière de faire.

### a - orientation

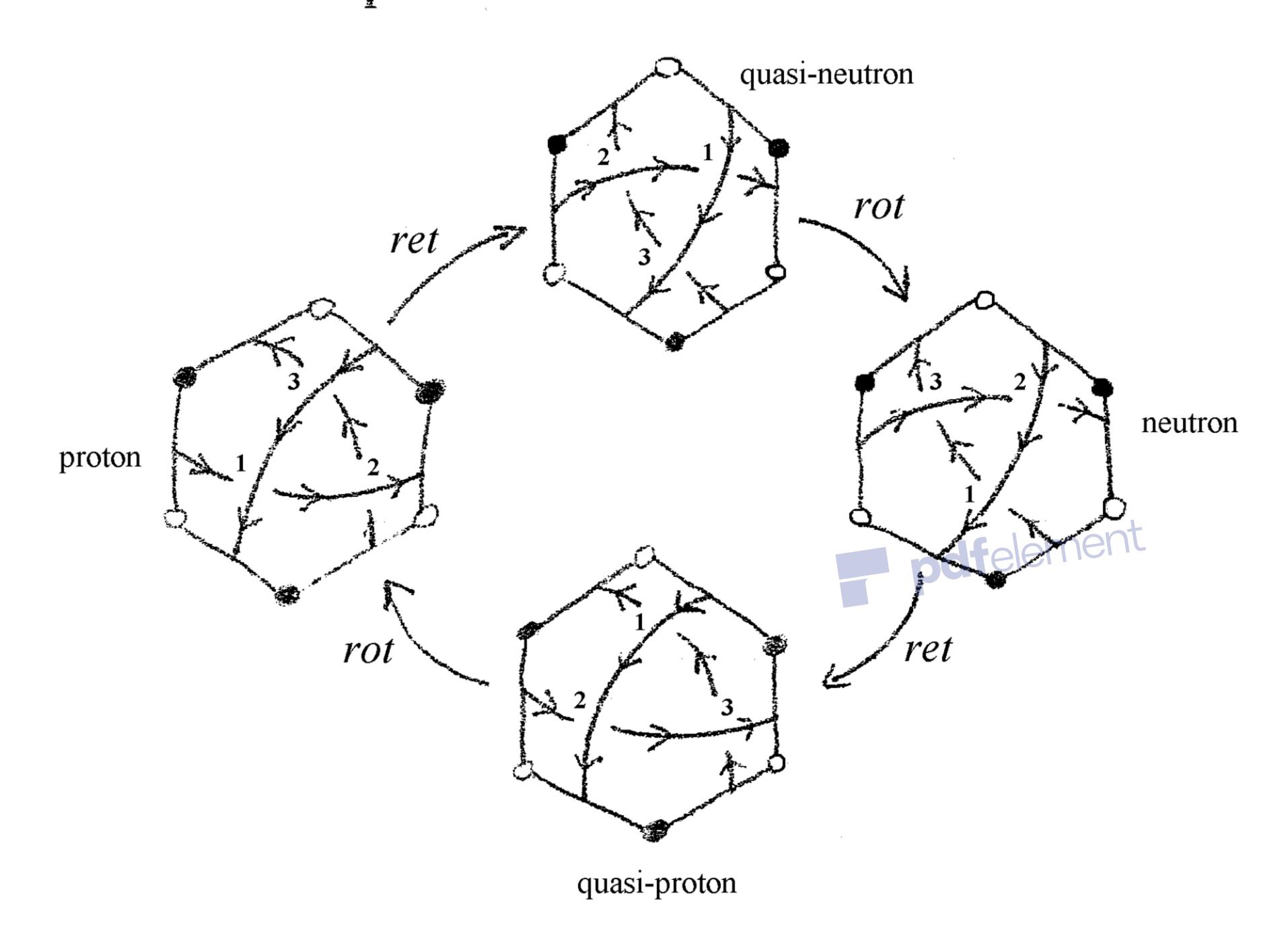
nous orientons chaque brin du nucléon de telle sorte que les 3 orientations obtenues forment une circulation. il n'y a que deux possibilités équivalentes dont nous ne choisissons qu'une.



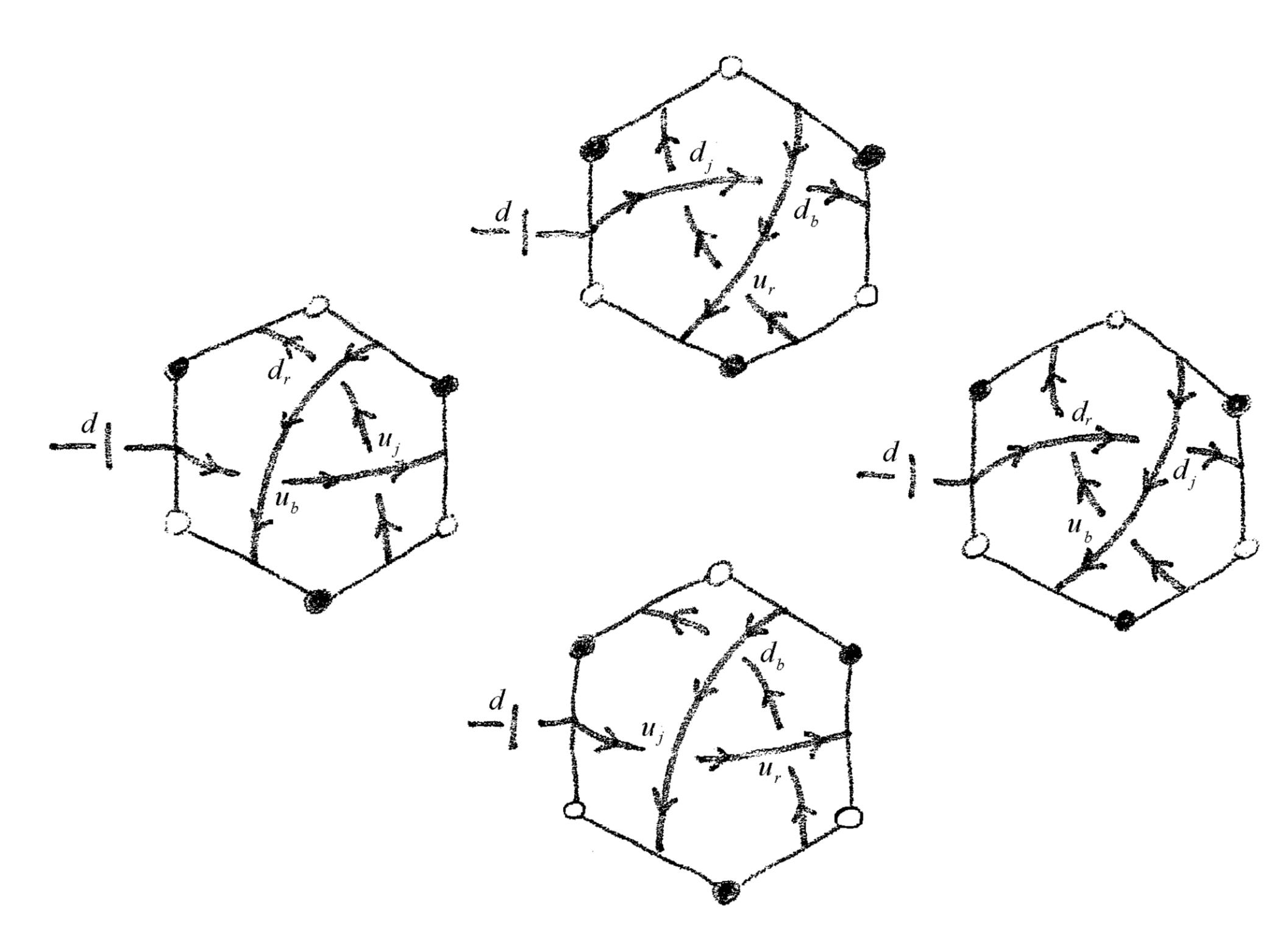


## b - circulation

sans nous préoccuper des saveurs, notons 1, 2 et 3 les trois couleurs sur le coin proton et retournonsle. nous obtenons un quasi-neutron comme si les couleurs étaient retournées comme les saveurs. le neutron coloré vrai s'obtient en faisant glisser dans le sens de la circulation chaque couleur du croisement qui l'a reçue au croisement qui la retient comme après une rotation d'un tiers de tour dans l'espace à 3 dimensions. voici le tableau complet du processus.

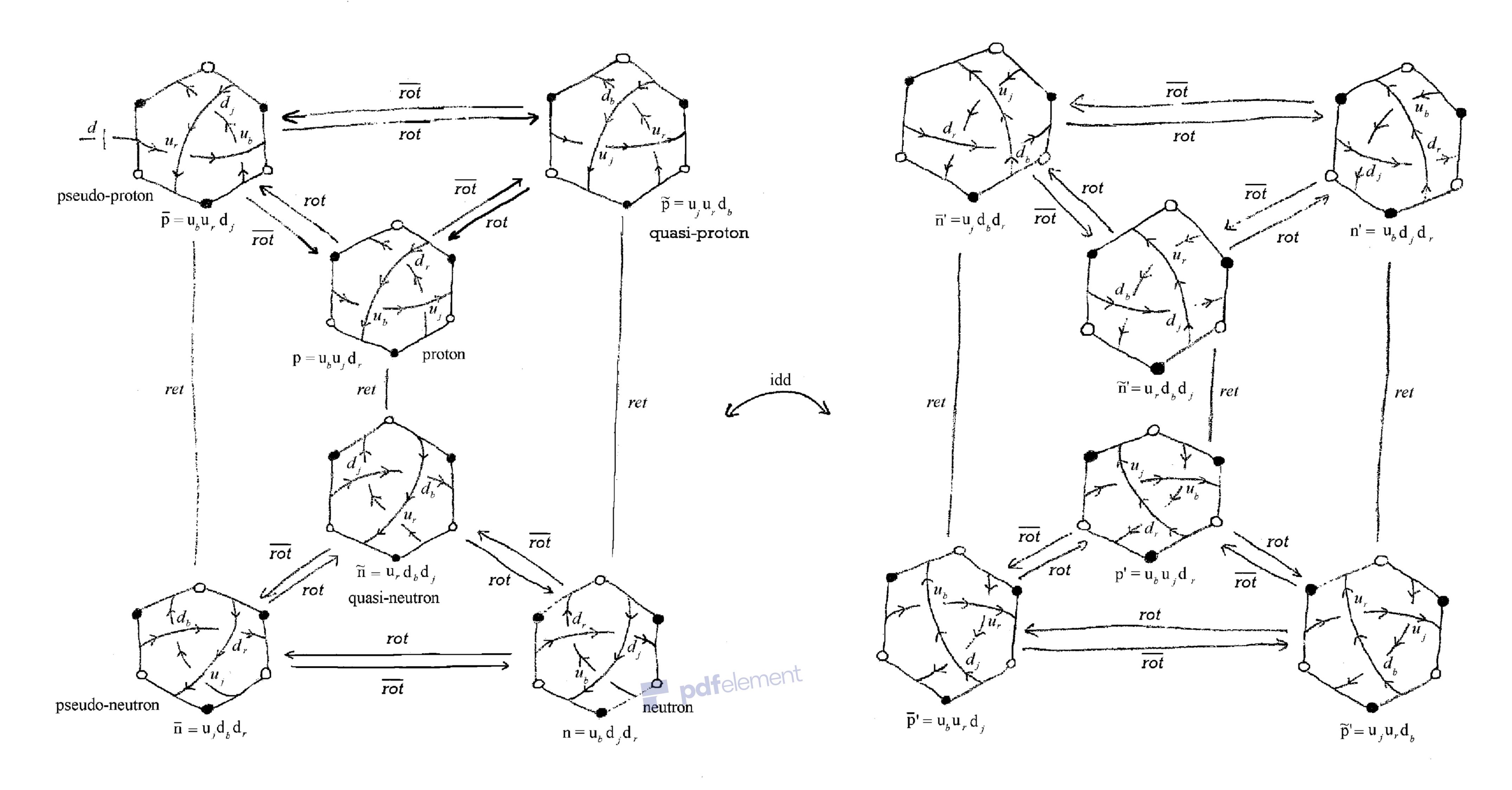


la superposition du retournement des saveurs et de la rotation des couleurs donne l'état complet de chaque état du nucléon.

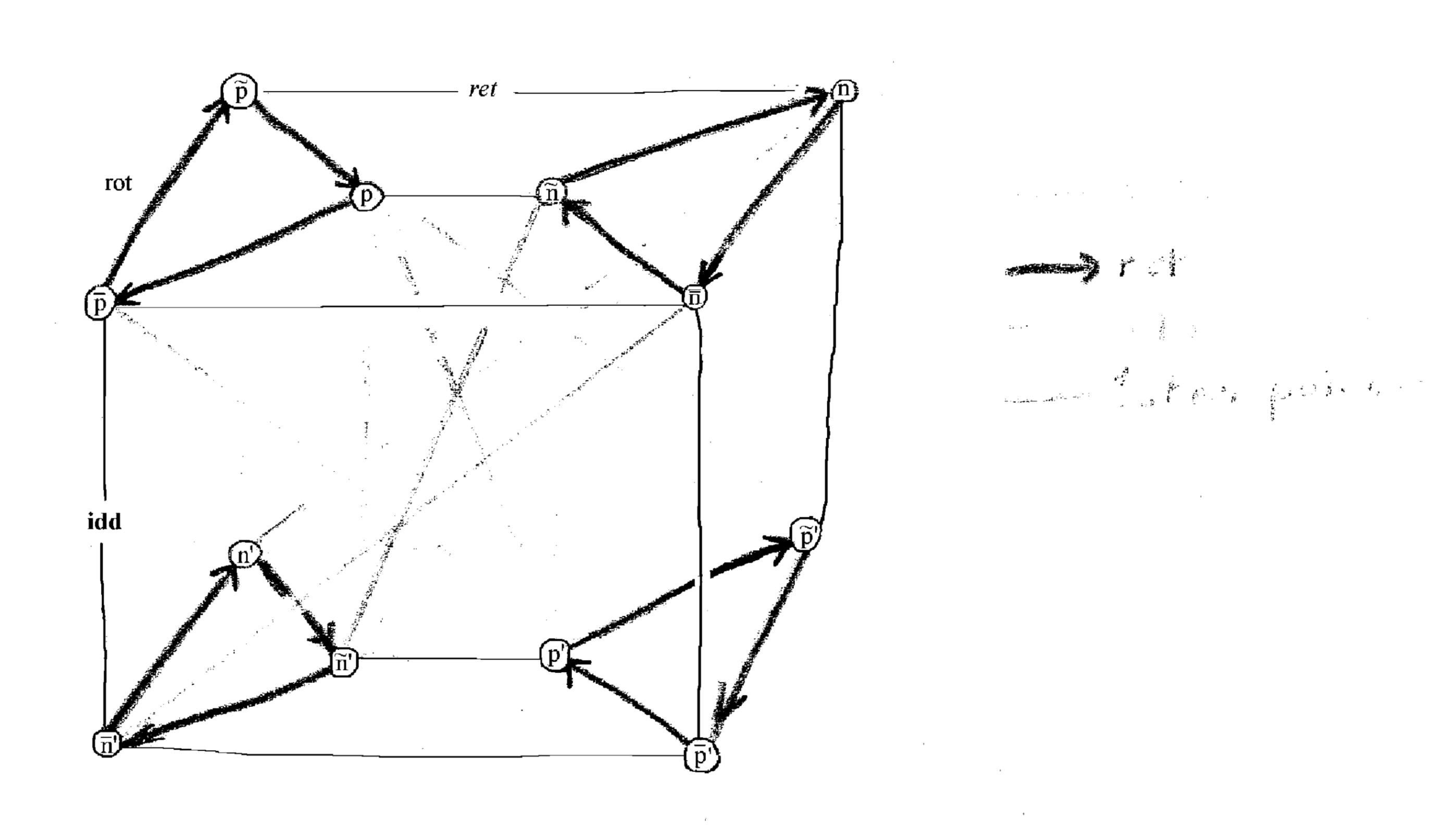


la rotation que nous avons effectuée dans le sens de la circulation est dite rotation directe et nous la notons rot. mais nous pouvons aussi envisager une rotation indirecte allant dans le sens contraire à la circulation; nous appelons cette rotation anti-rotation et nous la notons rot. le graphe des quatre particules devient alors un graphe à six particules.

ce schéma est encore incomplet. en effet, chacune des particules et quasi particules peut en fournir une par idd et les particules ainsi obtenues sont elles-mêmes contenues dans un schéma des relations rot, anti rot, et ret.



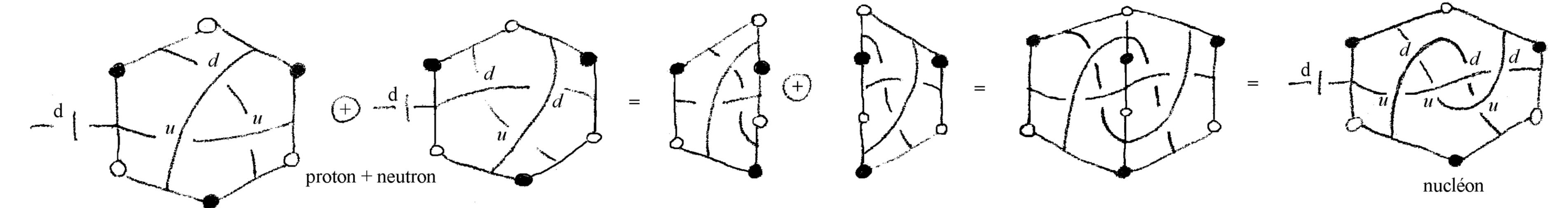
au final, le schéma complet comprend seulement 12 particules telles que chacune d'entre elles génère les onze autres.



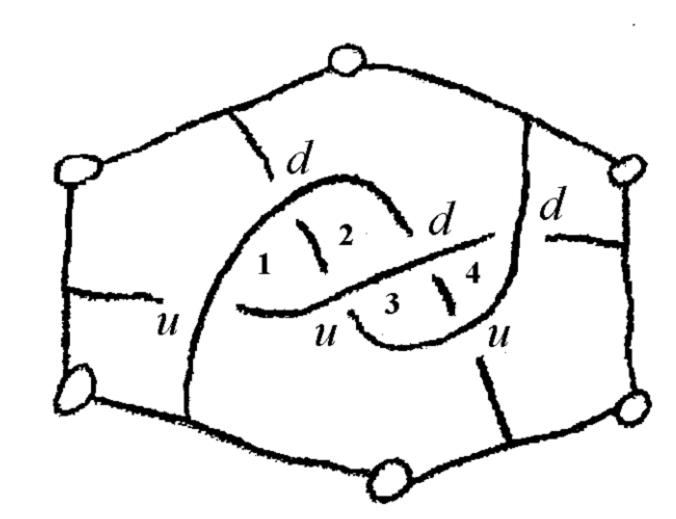
## • le nucléon

nous avons vu les métamorphoses de chacun des états du nucléon. il reste à vérifier que les résultats de la chromodynamique plastique concernant le montage d'un proton avec un neutron sont conformes à ceux de la CDQ.

effectuons plastiquement ce montage.



à partir de ce montage, plusieurs possibilités sont offertes. en effet, alors que chacun des motifs, proton et neutron, n'offre qu'une seule métamorphose régulière, leur montage offre quatre motifs de métamorphoses, 4 coins retournables, numérotés sur le dessin de 1 à 4.



les coins  $k_1 = \text{uud}$ ,  $k_2 = \text{udd}$ ,  $k_3 = \text{uud}$  et  $k_4 = \text{udd}$ . écrivons leurs formules particulaires à partir du tableau de leurs croisements communs.



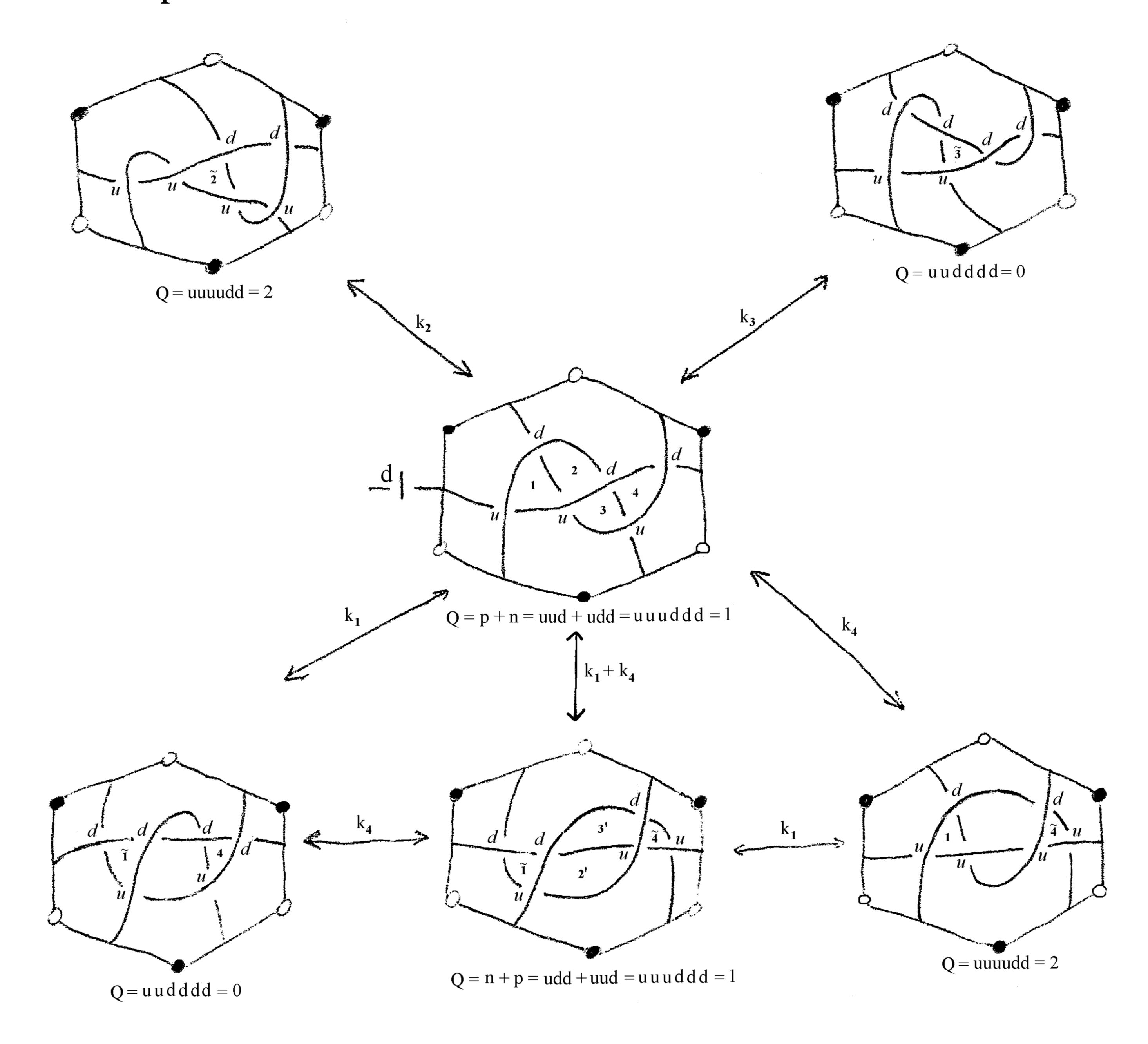
- $k_1$  et  $k_4$  n'ayant aucun croisement commun, peuvent s'effectuer simultanément. tout autre cas est inhibant, c'est-à-dire qu'on ne peut pas effectuer simultanément  $k_1$  et  $k_3$  ou  $k_2$  et  $k_3$ , etc. donc, à partir de ce montage nous disposons de deux directions possibles de métamorphoses :
- a) celles qui s'effectuent ou en ont la possibilité simultanément, ici  $k_1$  et  $k_4$ ; nous les disons simplement additives.
- b) celles qui s'inhibent mutuellement, OU l'une OU l'autre mais pas les deux ensemble, nous les disons exclusives; OU  $k_1$  seul OU  $k_3$  seul, etc.

nous présentons ces possibilités sous forme d'un tableau des inhibitions.

l'unique case blanche indique l'additivité, les croix l'inhibition.

	$\mathbf{k}_{2}$	$\mathbf{k}_3$	k <sub>4</sub>
$\mathbf{k}_{1}$			
$\mathbf{k_2}$			
$\mathbf{k}_3$			

dessinons toutes les possibilités.



la métamorphose p + n \leftarrow n + p reste stable du point de vue de la charge en quarks, mais nous observons 4 états pour lesquels cette charge varie. de plus, l'état final du nucléon est luimême susceptible de se métamorphoser selon les mêmes voies que l'état initial pour aboutir soit à l'état initial devenu final et ainsi de suite ad infinitum, soit à l'un des états de charge 0 et 2. l'ensemble de tous les états ainsi obtenus forme l'univers des métamorphoses du nucléon ; certains états sont deux à deux vus à l'envers, un peu comme si le nucléon était un protoplasme qui roulerait sur lui-même pour nous offrir non seulement ses changements d'états mais aussi ses changements de présentations : effectuer k<sub>2'</sub> dans n + p c'est obtenir k<sub>3</sub> de p + n mais vu à l'ènvers, etc.

en voici le schéma:

