

Différenciation des répertoires de lymphocytes B et T

Adrien Six
Université Pierre et Marie Curie

IF2007 IF-Ilc&Ild
1^{er} mars 2007

1

Différenciation des répertoires de lymphocytes B et T

1. Introduction
2. Moyens d'étude des populations lymphocytaires
3. Développement lymphocytaire B et T
4. Conclusion

3

Émergence de l'Immunologie

- À la fin du 19^{ème} siècle, de la microbiologie
- Développement de la vaccination par Louis Pasteur (1822–1895) (choléra, anthrax, rage)
- Immunité naturelle → théorie cellulaire
Phagocytose des microorganismes par les macrophages (Metchnikoff)
- Immunité acquise → théorie humorale
Découverte des anticorps ou immunoglobulines (von Behring et Kitasato) → spécificité et mémoire de la réponse anticorps

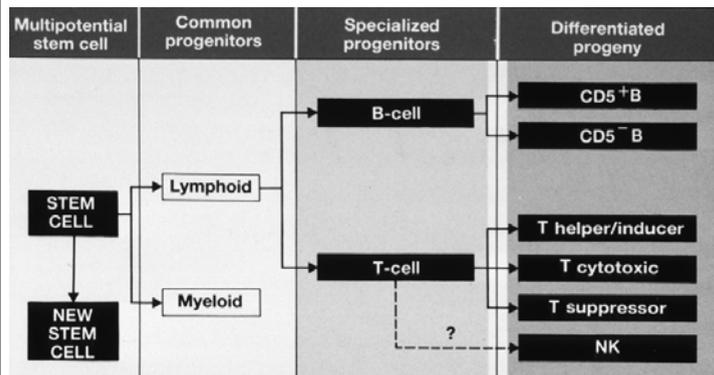
4

Composants cellulaires du système immunitaire

- Immunité naturelle et Immunité acquise dépendent de l'activité des leucocytes (globules blancs)
- L'immunité naturelle est essentiellement due à l'activité des cellules myéloïdes
- L'immunité acquise est principalement due à l'activité des lymphocytes B et T
- Ces cellules font partie du système hématopoïétique et ont une origine commune, la moelle osseuse

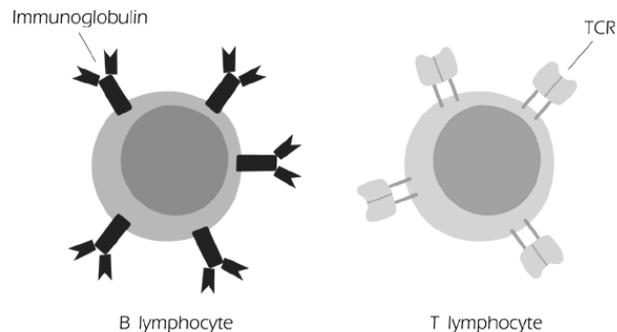
5

La lignée lymphocytaire



6

Les lymphocytes B et T



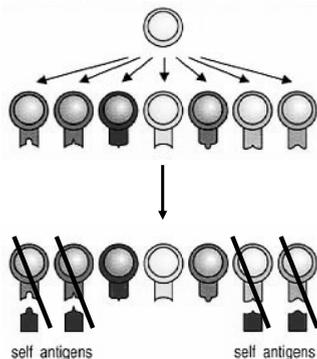
→ caractérisés par leur récepteur spécifique d'antigène

7

Théorie de la sélection clonale (1)

Burnet (1899–1985)

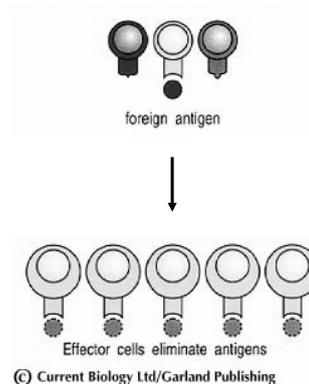
- Chaque lymphocyte exprime un type unique de récepteur spécifique d'antigène
- Les lymphocytes exprimant un récepteur dirigé contre un antigène du soi sont éliminés lors de la différenciation



8

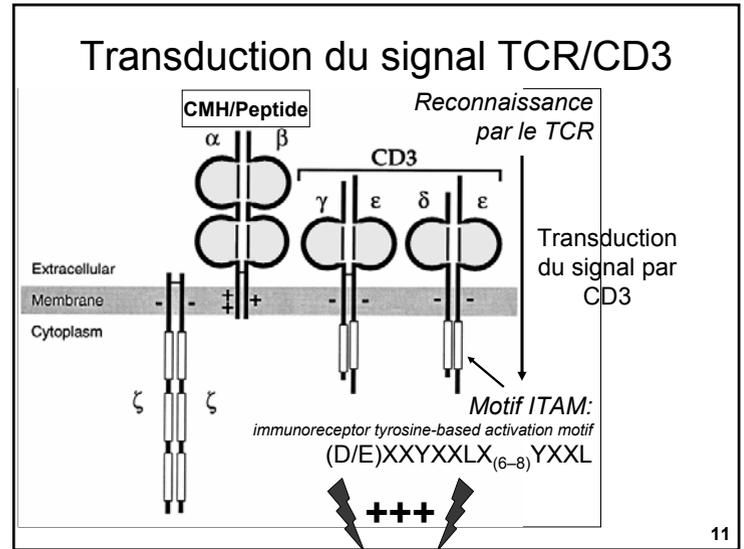
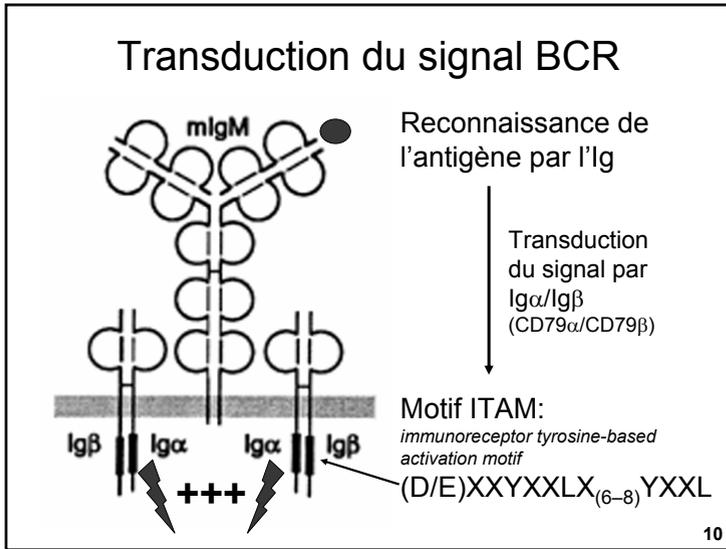
Théorie de la sélection clonale (2)

- La liaison avec une bonne affinité d'une molécule étrangère et d'un récepteur entraîne l'activation du lymphocyte
- Les cellules effectrices différenciées à partir d'un lymphocyte activé donnent des récepteurs de même spécificité



© Current Biology Ltd/Garland Publishing

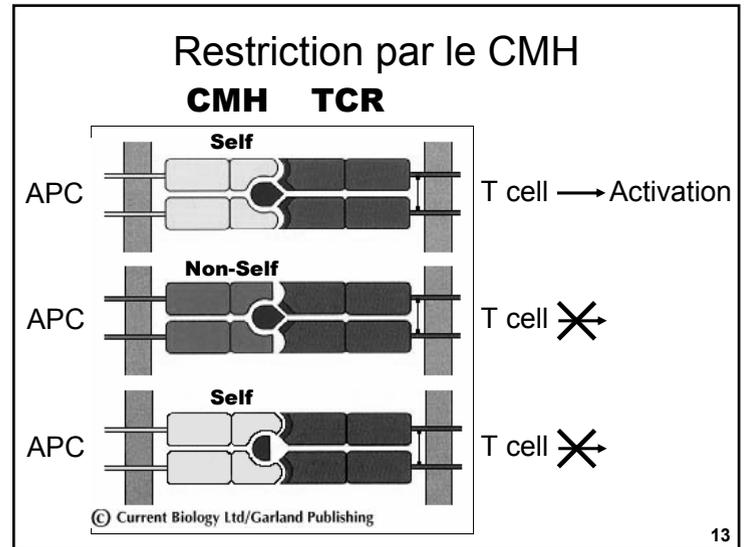
9



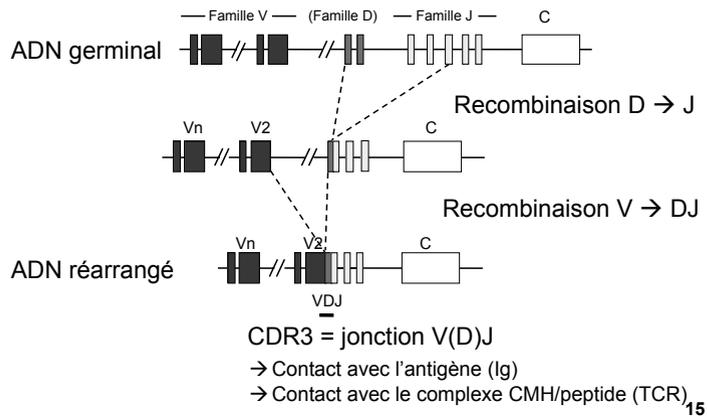
Reconnaissance par le TCRαβ

- A l'inverse des anticorps qui reconnaissent les protéines natives, le TCR reconnaît des petits *peptides*
 - produits de dégradation des protéines
 - présentés les molécules du MHC
- Pendant leur différenciation dans le thymus, les lymphocytes T sont "éduqués" pour reconnaître les molécules du CMH de l'organisme → *restriction par le CMH*

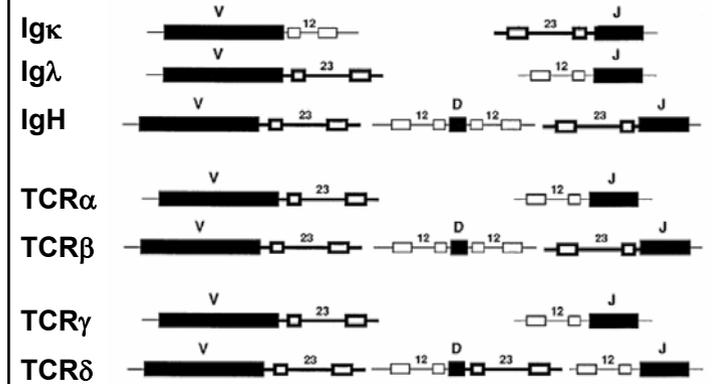
12



Les régions variables d'Ig et de TCR sont créées pendant la recombinaison V(D)J



La règle 12/23 pour les Ig et TCR

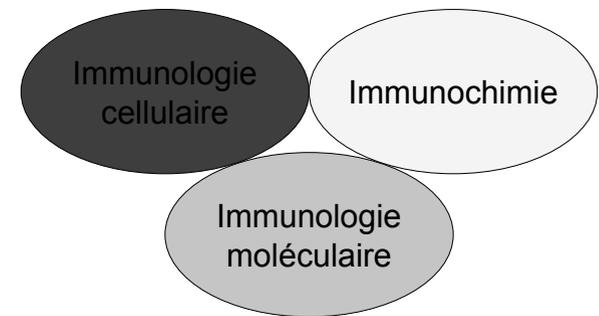


Différenciation des répertoires de lymphocytes B et T

1. Introduction
2. Moyens d'étude des populations lymphocytaires
3. Développement lymphocytaire B et T
4. Conclusion

17

Moyens d'étude des populations lymphocytaires



18

Moyens d'étude des populations lymphocytaires

- Identification de marqueurs de différenciation
- Utilisation des anticorps monoclonaux
- Cytométrie de flux
- Techniques de biologie moléculaire
- Technique Immunoscope
- Étude d'animaux génétiquement modifiés:
 - *transgénèse*: introduction d'un gène supplémentaire dans le génome
 - *Inactivation génique (knock-out)*: inactivation ciblée d'un gène par recombinaison homologue

19

Marqueurs de différenciation

- Marqueurs identifiés et caractérisés à la surface des lymphocytes grâce à l'utilisation des anticorps monoclonaux.
- Ces marqueurs sont numérotés CD1, CD2... (*cluster of differentiation*)
- Chaque CD caractérise un stade de développement et/ou une distribution tissulaire.

20

Marqueurs de différenciation T

- CD2 molécule d'adhésion
- CD3 molécules associées au TCR
- CD4 co-récepteur pour CMH II
- CD5 ?
- CD7 ?
- CD8 co-récepteur pour CMH I
- CD28 activation des cellules T naïves
- CD40L activation des cellules B naïves
- ...

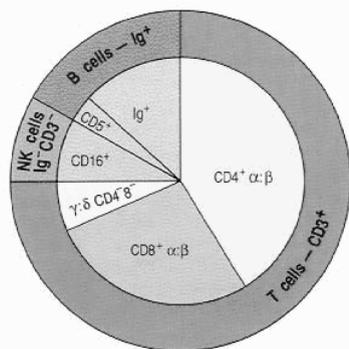
21

Marqueurs de différenciation B

- CD5 ?
- CD19 co-récepteur du BCR
- CD21 co-récepteur du BCR; CR2
- CD28 marqueur d'activation
- CD40 activation des cellules B
- B220 isoforme de CD45
- CD79 α/β molécules associées au BCR
- CD80 activation des cellules T (B7.1)
- ...

22

Distribution lymphocytaire du sang périphérique humain (PBL)



© Current Biology Ltd/Garland Publishing

26

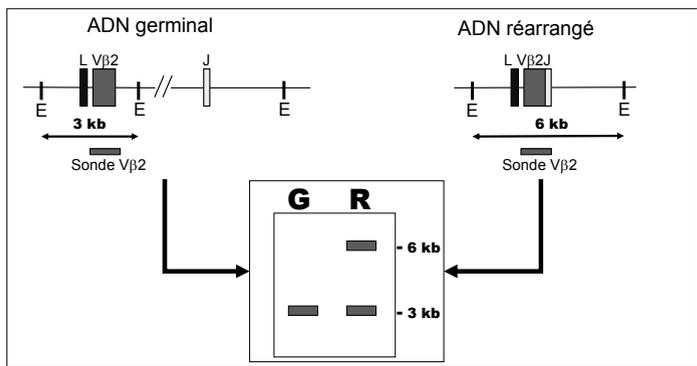
Outils de biologie moléculaire

- Sondes ADN Ig, TCR, IL, CD...
- Southern blot (ADN)
- Northern blot (ARN)
- Clonage, séquençage
- PCR

27

Détection des réarrangements (1)

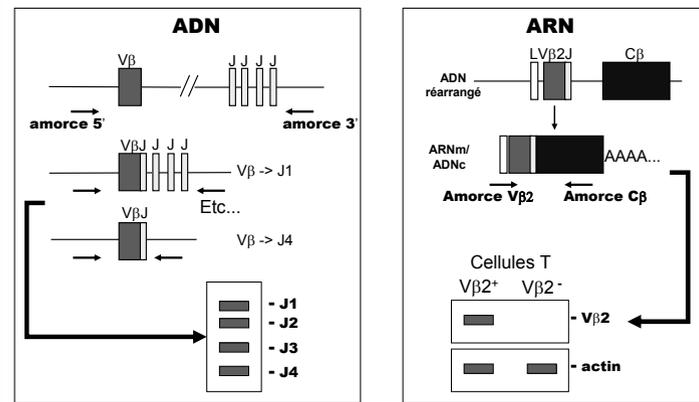
- RFLP (*restriction fragment length polymorphism*) par Southern blot.



28

Détection des réarrangements (2)

- Détection par PCR au niveau ADN ou ARN.



29

Utilisation des animaux génétiquement modifiés

- Transgénèse
- Invalidation génique

30

Avantages de l'inactivation

- Mutation précise et déterminée
- Possibilité de contrôler l'étendue de la mutation:
 - promoteur spécifique de tissu
 - promoteur spécifique de stade de développement
- Possibilité d'induire ou d'annuler la mutation
- Système cre-loxP

41

Différenciation des répertoires de lymphocytes B et T

1. Introduction
2. Moyens d'étude des populations lymphocytaires
3. Développement lymphocytaire B et T
4. Conclusion

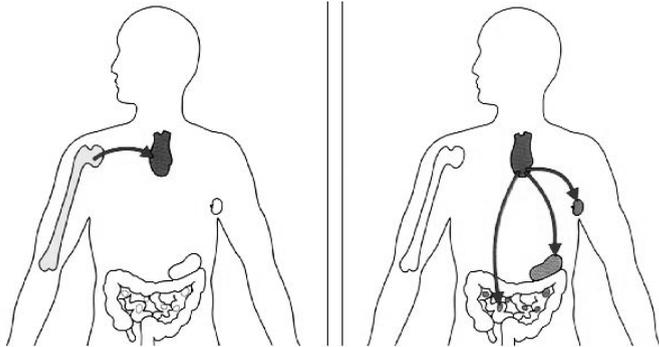
43

Questions

- Engagement des précurseurs communs vers les différentes lignées lymphocytaires
- Régulation de la taille des populations lymphocytaires
- Régulation de la recombinaison V(D)J
 - ♦ développement
 - ♦ spécificité tissulaire
 - ♦ spécificité de lignée
- Sélection des répertoires lymphocytaires

44

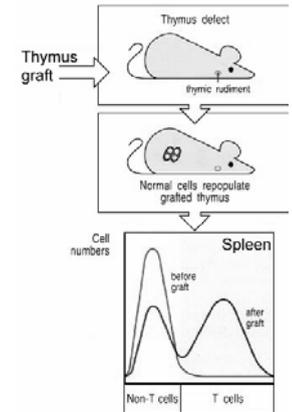
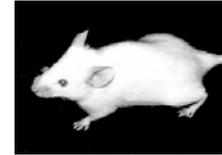
Les lymphocytes T se différencient dans le thymus



© Current Biology Ltd/Garland Publishing

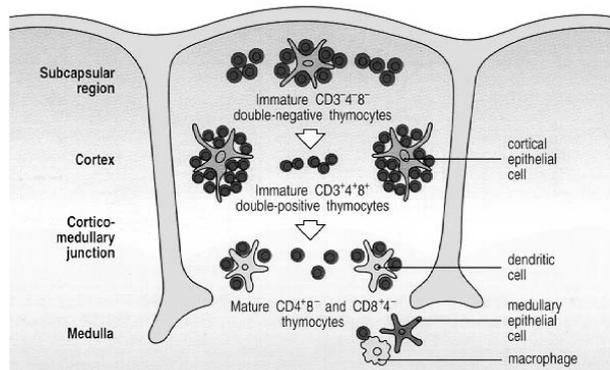
45

Pas de lymphocytes T chez les enfants athymiques (DiGeorge) ou les souris *nude*



46

Architecture cellulaire du thymus



© Current Biology Ltd/Garland Publishing

47

Stades de différenciation des thymocytes

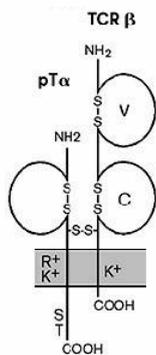
- Les différentes populations identifiées correspondent à des stades de différenciation des thymocytes
 - Chaque stade peut-être critique pour:
 - les réarrangements du TCR
 - la restriction par le CMH
 - la sélection positive ou négative
- notion de *points de contrôle (checkpoint)*

48

Identification du pré-TCR

- Lors de stades précoces de différenciation, la chaîne TCR β est trouvée en surface sans la chaîne TCR α .

=> identification de la chaîne pT α



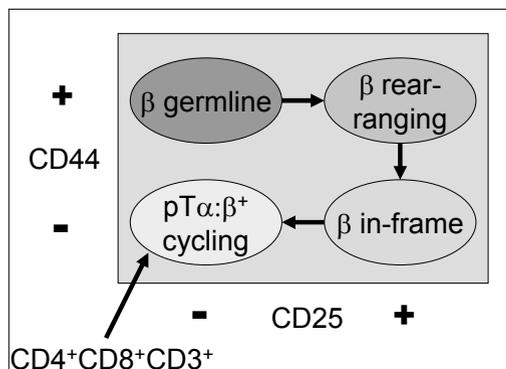
D'après Borst et al. (1996) Curr. Op. Immunol. 8:181-189

Rôle critique du pré-TCR

- pT α (gp33) exprimée tôt dans l'ontogénie et associée à CD3/TCR β
- L'expression du pré-TCR à la surface du thymocyte permet :
 - transition du stade double négatif CD4 $^-$ CD8 $^-$ (DN) vers le stade double positif CD4 $^+$ CD8 $^+$ (DP)
 - exclusion allélique (arrêt des réarrangements TCR β)
 - prolifération des thymocytes DP
 - induction des réarrangements TCR α

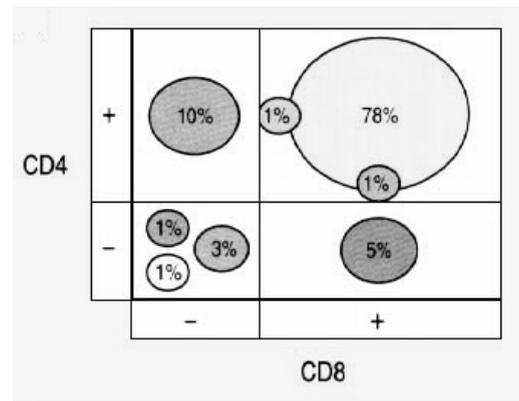
50

Différenciation des thymocytes (1)



51

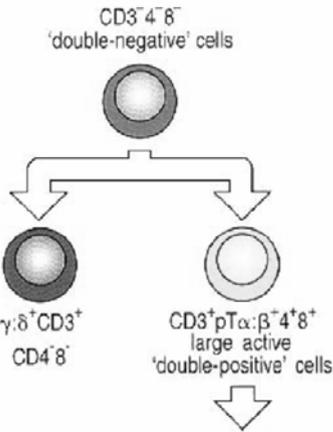
Différenciation des thymocytes (2)



© Current Biology Ltd/Garland Publishing

52

Différenciation des thymocytes (3)



Engagement
CD3 cytoplasmique

Réarrangements β, γ, δ
pT α cytoplasmique
Engagement $\alpha\beta/\gamma\delta$

Expression CD4/CD8
Exclusion allélique β
Prolifération
Réarrangement TCR α

53

Exclusion allélique

- Un réarrangement TCR β productif sur un locus TCR β entraîne l'arrêt de la recombinaison V(D)J sur l'autre locus
- une seule chaîne TCR β par cellule T, en accord avec la théorie de sélection clonale

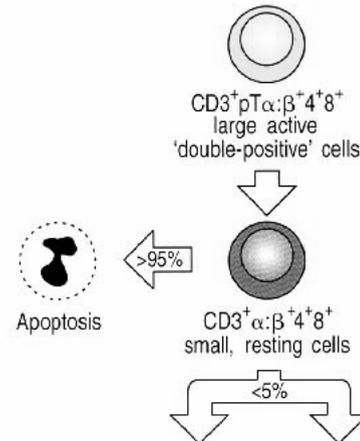
54

Régulation des réarrangements

- TCR δ , TCR γ et TCR β réarrangent en même temps au stade pro-T
- Les réarrangements TCR α sont limités aux thymocytes pré-T DP engagés vers la lignée $\alpha\beta$ et exprimant TCR β
- A l'inverse de TCR β , les réarrangements TCR α ont lieu sur les deux chromosomes → l'exclusion allélique a lieu au stade post-transcriptionnel

55

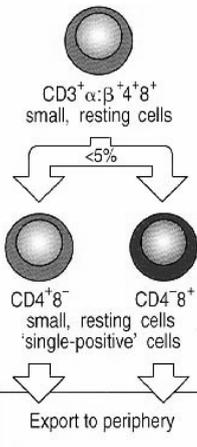
Différenciation des thymocytes (4)



Sélection positive
Sélection négative

56

Différenciation des thymocytes (5)



Sélection positive
Sélection négative

Engagement CD4/CD8
Restriction pour le CMH
Fonction effectrice

© Current Biology Ltd/Garland Publishing

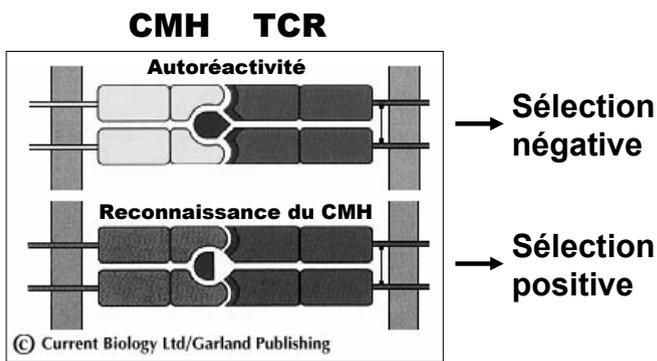
57

Sélections positive et négative (1)

- Sélection positive: le TCR doit avoir une certaine réactivité avec une molécule du CMH du soi
- L'expression du co-récepteur CD4/CD8 suit la restriction pour le CMH
→ CD4/classe II et CD8/classe I
- Sélection négative: les cellules T autoréactives (reconnaissant CMH +.peptide du soi) sont éliminées

58

Sélections positive et négative (2)

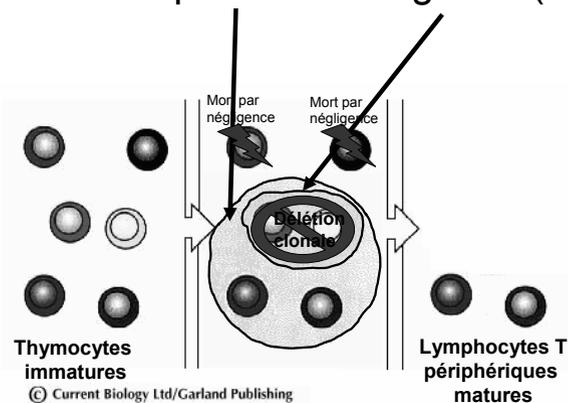


© Current Biology Ltd/Garland Publishing

→ *Éducation thymique*

59

Sélections positive et négative (3)

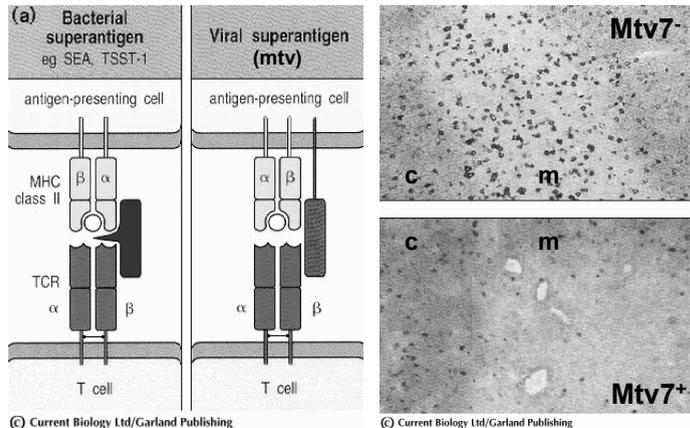


Thymocytes immatures
© Current Biology Ltd/Garland Publishing

Lymphocytes T périphériques matures

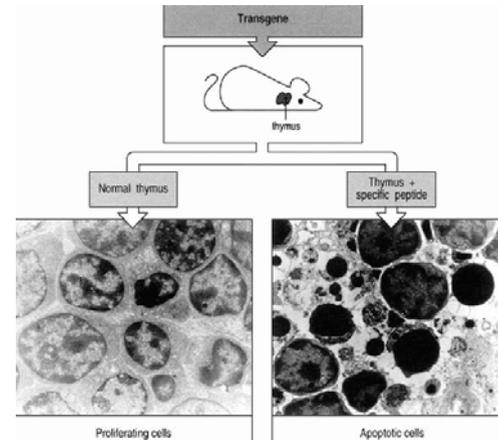
60

Délétion clonale et superantigènes



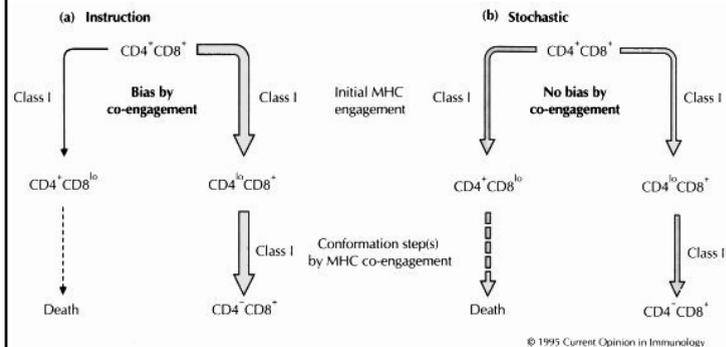
61

Délétion clonale et TCR transgénique



62

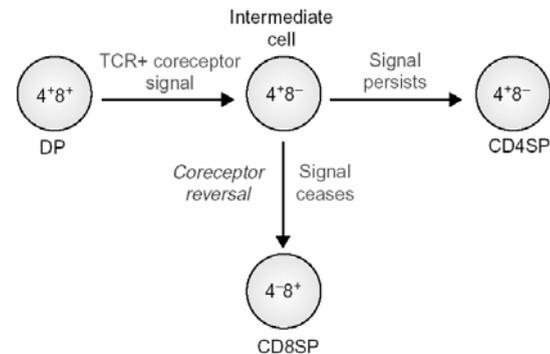
Mécanisme de la restriction au CMH (1)



63

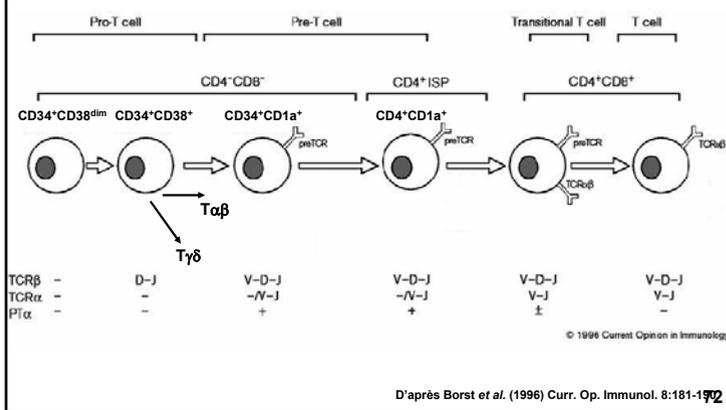
Mécanisme de la restriction au CMH (2)

Modèle cinétique d'engagement CD4/CD8

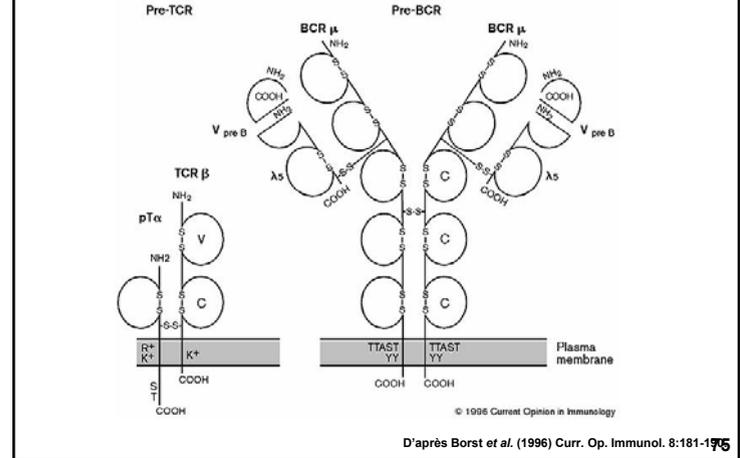


Singer, A. (2002) *Curr.Opin.Immunol.* 14, 207-214

Différenciation thymique: homme



Caractérisation du pré-BCR

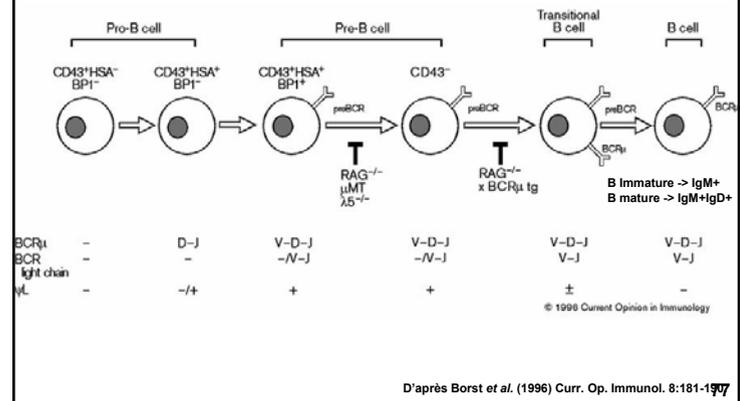


Rôle du pré-BCR

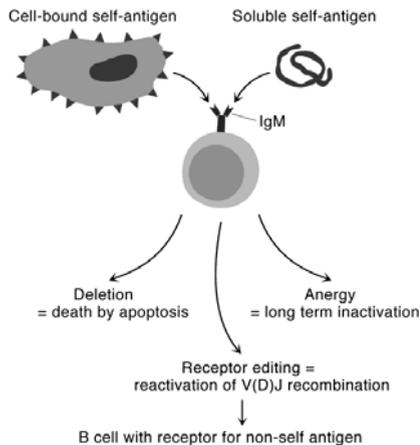
- **Exclusion allélique:** Un réarrangement IgH productif sur un locus IgH entraîne l'arrêt de la recombinaison V(D)J sur l'autre locus
→ Une seule chaîne IgH produite par cellule B, en accord avec la théorie de sélection clonale
- **Prolifération des cellules pré-B:**
→ Enrichissement en réarrangements productifs
- **...Induction des réarrangements IgL:**
→ Production d'une Ig complète

76

Différenciation des lymphocytes B



Sélection des lymphocytes B



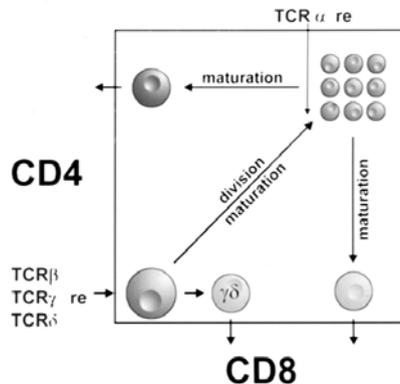
© 2000 John Wiley & Sons, Inc. 78

Différenciation des répertoires de lymphocytes B et T

1. Introduction
2. Moyens d'étude des populations lymphocytaires
3. Développement lymphocytaire B et T
4. Conclusion

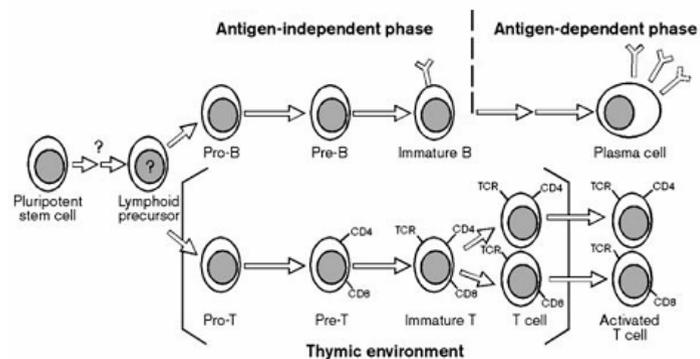
79

Rappel différenciation T



80

Parallèle différenciations B et T



© 1996 Current Opinion in Immunology

D'après Fitzsimmons et Hagman (1996) Curr. Op. Immunol. 8:166-174