

Partie I: Le diciste de l'air au laboratoire

A. Découverte et détermination de la composition de l'air

1) La composition de l'air a été découverte par

Lavoisier en 1775 (fin du XVIII^e siècle).

Oxygène → air déphlogistique (nommé par Joseph Priestley)

Autre →

La nomenclature aristote l'oxygène vient de Lavoisier avec

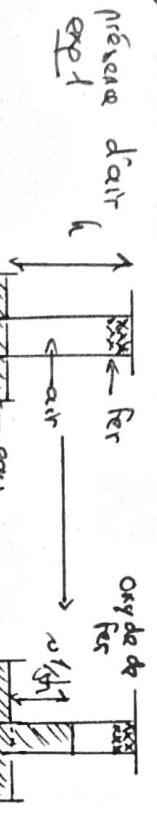
* aristote: "a" privatif → "privé de vie"

* oxy/gène: "oxy": acide → "capable de gagner": qui croît des acides"

N désigne le mot latin Nitrogenium

2) a)

En présence d'air



On a consommation après un temps d'expérimentation très long d'environ $\frac{1}{3}$ de la hauteur de la colonne pour réaliser la corrosion du fer

En présence d'air



On a consommation après un temps d'environ long de $\frac{1}{2}$ la hauteur de la colonne

b) Expérience 2 : Elle montre que:

- le dioxygène est responsable de l'oxydation

- lorsque le dioxygène est consommé, il est remplacé par l'eau

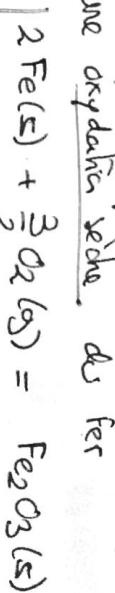
- l'essai qui montre que le fer n'est pas limitant à

Expérience 1 :

- permet de remonter à la part relative

en O₂ dans l'air

c) On va poser qu'en a affaire uniquement à une oxydation sèche du fer



Afin de déterminer la composition de l'air,

on va supposer:

- O₂/N₂ soit des GP → $V_n = 22.4 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
- air n'est composé que de O₂ et N₂

% volumique

$$\%_{\text{V}} = \frac{V_f - V_0}{V_0}$$

V_f: Volume final de gaz dans le récipient
V₀: Volume initial de gaz dans le récipient

$$\%_{\text{V}}(\text{N}) = 1 - \%_{\text{V}}(\text{O})$$

$$= \frac{V_f}{V_0}$$

% massique:

$$\%_{\text{m}}(\text{O}) = \frac{V_m(V_0 - V_f)}{\rho V_0} M(\text{O}_2)$$

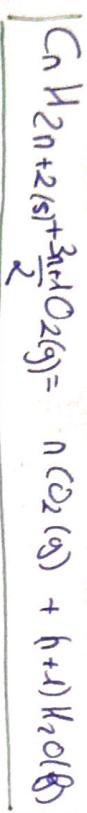
ρ: densité de l'air

Rq: On peut proposer la masse du fer aussi

d) Pour optimiser l'expérience, il faut:

- travailler à température constante
- prendre un tube de section étroite
- limiter les échanges air-eau en fermentant la partie externe du cristallisoir

3) Chimie:



avec $n \in [19; 32]$

B. obtention industrielle de N₂

$$\omega(N_2) = 75.52$$

$$\omega(O_2) = 23.19$$

$$x(N_2) = \frac{\omega(N_2)}{M(N_2)} + \frac{\omega(O_2)}{M(O_2)}$$

$$\underline{\text{AN: }} x(N_2) = 78.85\%$$

À pression atmosphérique,

$$T_{\text{liq}}(P_{\text{atm}}, x(N_2)) \approx 80\text{ K}$$

À $P = 1\text{ bar}$, on va interpoler linéairement à partir des valeurs à 4 bar et 6 bar

$$T_{\text{liq}}(4\text{ bar}, 0.78) \approx 94\text{ K}$$

$$T_{\text{liq}}(6\text{ bar}, 0.78) \approx 99\text{ K}$$

$$\text{d'où } T_{\text{liq}}(1\text{ bar}, 0.78) \approx T_{\text{liq}}(6\text{ bar}, 0.78) - T_{\text{liq}}(4\text{ bar}, 0.78) \times (5^{-1})$$

$$6 - 4$$

$$+ T_{\text{liq}}(4\text{ bar}, 0.78)$$

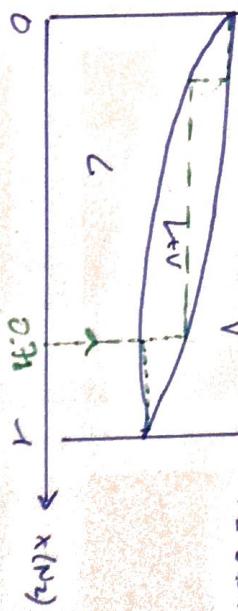
$$\underline{\text{AN: }} T_{\text{liq}}(1\text{ bar}, 0.78) = 96.5\text{ K}$$

c) Reflux total \Leftrightarrow distillation fractionnée en chaine organique

\Leftrightarrow on récupère O₂ pur dans le réservoir

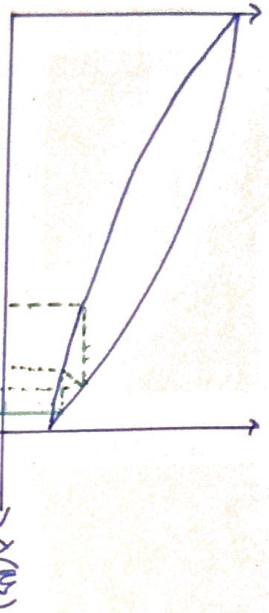
T(x) N₂ pur dans le distillat

$P = 1\text{ bar}$



I) existe aussi le reflux partiel (en système ouvert)

T(k)



Cela correspond à la situation où le débit de gaz renvoyé en tête de colonne ≠ débit de gaz renvoyé en produit ($x_1 \neq y_1$)
On a en général une meilleure production mais une pureté plus faible

II) existe :

- permeation gazielle basée sur la différence des coefficients de diffusion N₂, O₂, ... au travers d'une membrane.

- PSA: Pressure Swing Adsorption basée sur la différence d'adsorption de N₂ et O₂ sur la charbon actif

3) Procédé Haber - Bosch



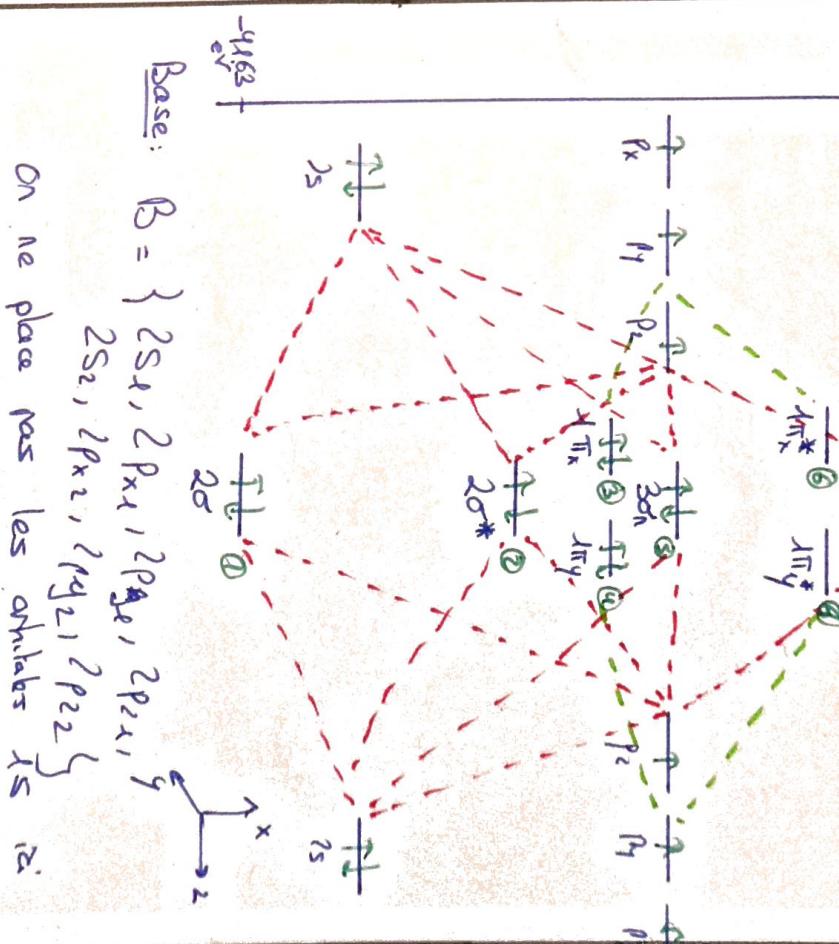
Produits:

- Synthèse nitrate diammonium (engrais, ...)
- Synthèse acide nitrique - Procédé Ostwald

C. Modélisation de la molécule de N₂

$\frac{C_{\text{électr}}}{\text{électr}}$ $E(eV)$

$\frac{20^*}{30^*}$ $\frac{8}{6}$



On ne place pas les orbitales r_5 et r_6 .

Principes:

- Born - Oppenheimer
- Approximation diélectrique
- Méthode COA
- Interaction \Rightarrow recouvrir \Rightarrow même somme
- \Rightarrow niveau énergie mode
- N₂ est un diaéthéne coriolé.

4) On a:

Oblité	Liait	Symétrie	Nom
	L	σ	2σ
	A $\bar{\sigma}$	σ	$2\sigma^*$
	A σ	π	$1\pi_x$
	A σ	π	$1\pi_y$
	L	π	$1\pi_x^*$
	L	π	$1\pi_y^*$
	N σ	σ	$3\sigma_g$
	A σ	σ	$3\sigma_u$
	N π	π	$3\pi_g$
	A π	π	$3\pi_u$

$$11) [\text{N}_2] = (1\sigma)^2 (1\sigma^*)^2 (2\sigma)^2 (2\sigma^*)^2 (1\pi_x)^2 (1\pi_y)^2 (3\sigma_h)^2$$

12) On a des informations sur :

- la stabilité du diatomique
- le magnétisme (diamagnétique ici)
- états excités électroniquement

13) On a

$$d(\text{N}_2) = 109 \text{ pm}$$

$$2r(\text{N}) = 2 \times 74 = 148 \text{ pm}$$

N_2 a un caractère triple liaison

14) N_2 est "stabilité" chimiquement, on peut donc le considérer comme un gaz avec aucun terme d'interaction inter-moléculaire ($\mu = 0$, peu polarisable, ...)

15) N_2 a une triple liaison (dur à briser) et est instable \Rightarrow peu réactive

Il peut être employé en synthèse organique pour créer une atmosphère neutre (absence O_2 , H_2O , ...)



17) On a

$$\begin{aligned} 15.58 \text{ eV} &: 3\sigma \\ 16.69 \text{ eV} &: \Delta\pi_x / \Delta\pi_y \\ 18.76 \text{ eV} &: 2\sigma^* \end{aligned}$$

En regardant par niveau d'énergie croissant (mains profond \rightarrow plus profond) et dans l'ordre d'électron décroissante.

18) Structure fine est liée au caractère lourd des orbitales $\{\pi_x, \pi_y\} \Rightarrow$ on a alors accès à la structure fine vibratoire

On lit $\Delta E \approx 2.3 \text{ eV}$ entre deux niveaux vibratoires

Loi de Koekoek:

$$\Delta E = h\nu = \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{h}{\mu}}$$

$$\Rightarrow \mu = \mu \left(\frac{\Delta E}{h} \right)^2 = \frac{m(N)}{2} \left(\frac{\Delta E}{h} \right)^2$$

A.N.: $\mu = 136 \times 10^{-3} \text{ N.m}^{-1} \text{ e unité à jeter!}$

19) Le molécule est entièrement symétrique \Rightarrow ~~on peut proposer le Raman~~.

20) On a

$$C_{sp} = \frac{1}{2\mu c} \left[\frac{E}{\mu} \right]$$

A.N.: $C_{sp} = 1279 \text{ S}^{-1} \text{ m}^{-1}$
 $= 12.8 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$

21) On a

On a alors $\Delta E_p \Rightarrow \sigma' (\Delta E_p \sim 12)$
Le résultat n'est pas cohérente, on trouve une valeur plus grande, d'un facteur 10. Cela pourrait s'expliquer par des processus d'annihilation de W_2^+ par exemple \Rightarrow une liaison en apparence plus forte.

22) On a

$$| N \equiv N - \bar{\sigma} \rangle^{\oplus}$$

Formule de Lewis de l'ion de diamètre

On a:
- calculé le nombre d'électrons célibataires $2 \times 5 + 6$

$= 16e^-$
- on place les charges puis les liaisons simples.
- on complète avec les 12^e restant pour schématiser la règle de l'octet

Par le tableau VSEPR, on a N_2O est de géométrie AX_2 c'est-à-dire linéaire

22) En écrivant les formes mesomériques

$$\left[| N \equiv N \rangle^{\oplus} \oplus | \bar{\sigma} \rangle^0 \rightarrow | N=N-\bar{\sigma} \rangle^{\oplus} \right]$$

La liaison N-N a un caractère extra. $U=N$ et $N \equiv N \Rightarrow$ abaissement $\mu \Rightarrow$ abaissement de σ'

23) On a des transitions de l'ordre $\sim 0.5 \text{ cm}^{-1}$. Cela correspond à des transitions rotatrices (structure fine du spectre vibratoire)

24) À partir de la quantification en énergie, on a

$$\hat{E}_J = \frac{\hbar^2}{2\mu r^2} J(J+1)$$

avec niveau J dégénéré $(2S+1)$ fois

À partir de HB, on a la distribution en population du niveau Σ fondamental:

$$\frac{N_\Sigma}{N_0} = g(\Sigma) e^{-\alpha \Sigma (\Sigma + 1)} \quad \alpha = \frac{\hbar^2}{2\mu d^2 k_B T}$$

$$g(\Sigma) = \frac{1}{2\Sigma + 1}$$

On cherche N_Σ maximal $\Rightarrow \frac{dN_\Sigma}{d\Sigma} \Big|_{\Sigma_{\max}} = 0$

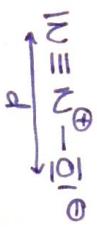
$$\Rightarrow \frac{d \ln(N_\Sigma)}{d\Sigma} \Big|_{\Sigma_{\max}} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{2}{2\Sigma_{\max} + 1} - \alpha(2\Sigma_{\max} + 1) = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\Sigma_{\max}} - \frac{1}{2} = \frac{2\mu d^2 k_B T}{\hbar^2} - \frac{1}{2}$$

A.N. Par le protoxyde d'uranium, on approximera d par

$$d \approx 2R(N) + d(N \equiv N)$$



$$\approx 74 \times 2 + 109 \approx 237 \text{ pm}$$

(ce qui est en accord avec la littérature où

$$d = d(N \equiv N^\oplus) + d(N^\ominus - O^\ominus)$$

$$= 142.6 \text{ pm} + 148.6 \text{ pm} = 231.2 \text{ pm}$$

donc

$$|\Sigma_{\max}| \approx [23.98] \neq 1 = 24$$

Rq: Plutôt en accord avec la figure 5. Bon ODE

25) Effet de sorte résulte de l'absorption d'une partie du

spécie IR émis par la Terre.

Le protoxyde d'uranium dispose d'un moment dipolaire μ permanent non nul. Il est donc actif en IR

On peut citer H_2O , CO_2 , CH_4 , ...
E. Diacète et autres ligands actifs

26) On se limite à la HO / BN pour le raisonnement



Puisque N_2 et CO sont isodélectroniques

- On a N_2 / CO deux ligands à priori indiscriminés. Cependant, CO sera un meilleur donneur car - sa N_0 est plus haute en énergie - densité plus forte sur le carbone

Par le caractère π -accepteur

- la BV de N_2 est plus basse en énergie

- la densité est plus importante sur le C de CO
on ne peut conclure précisément puisqu'on a antagonisme entre les arguments, ce sera au cas par cas.

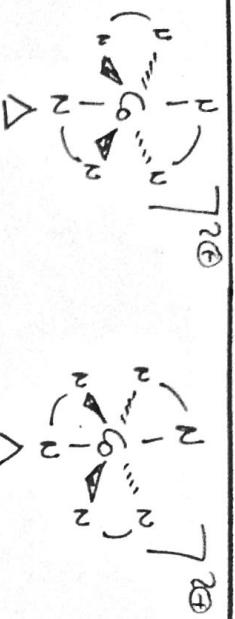
- On aurait intérêt avec N_2 de mettre de transition principalement plutôt de bas degré d'oxydation (Pt, Pd, ...)

27) En Lewis:

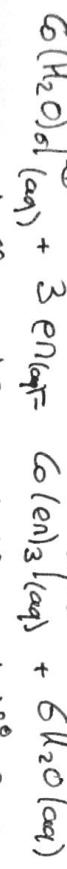
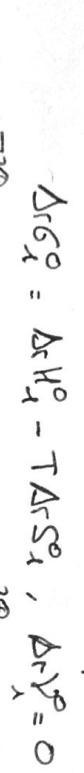


Ce ligand est bidentate, il peut se lier par les 2 arietes (N2L)
Il peut être possiblement présent dans les clusters

28)



29) On compare les équilibres suivant



Puisque les deux équilibres considèrent la formation / dissociation de liaisons $\text{Co}-\text{OH}_2$ / $\text{Co}-\text{N}$ en même nombre et de nature similaire, on peut considérer $\Delta r H^\circ_x \approx \Delta r H^\circ_2$.

$$\text{Or } \Delta r V^\circ_2 > \Delta r V^\circ_x \Rightarrow \Delta r S^\circ_2 > \Delta r S^\circ_x \Rightarrow$$

$$|\Delta r G^\circ_2| < |\Delta r G^\circ_x|$$

L'équilibre (2) est plus favorisé dans le sens direct que (1) pour des raisons entropiques. Cet effet s'appelle effet chélate.

Les données confirmat cela car

$$|\log(\beta_2)| > |\log(\beta_1)|$$

30)

$[\text{Co}]^{2+}$: $[\text{Ar}]^{\infty} 4s^2 3d^7$ d'après Aufbau

$[\text{Co}]^{2+}$: $[\text{Ar}]^{\infty} 4s^2 3d^5$

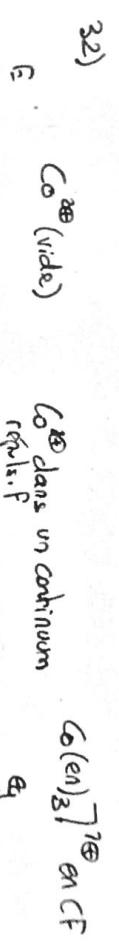
7e de valence

31) On peut les distinguer avec la différence de susceptibilité magnétique $[\text{Co}(\text{en})_3]^{2+}$ sont des complexes bas spin / champ fort. donc

$\rightarrow [\text{Co}(\text{en})_3]^{2+}$ est diamagnétique ($S=0$)

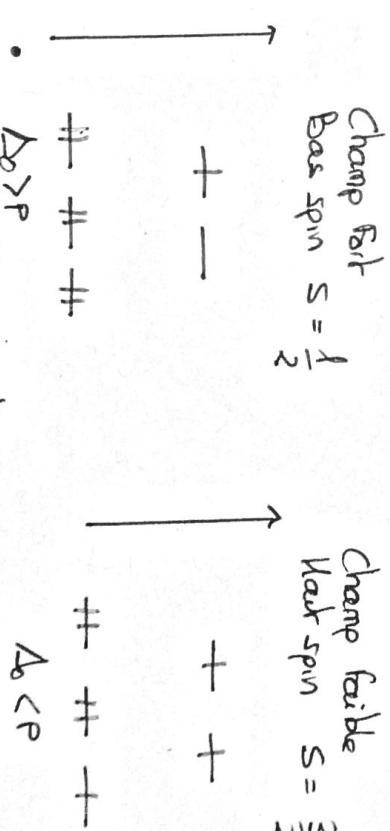
$\rightarrow [\text{Co}(\text{en})_3]^{2+}$ est paramagnétique ($S=\frac{1}{2}$)

32)



$[\text{Co}(\text{en})_3]^{2+}$ en CF
dans un continuum

- vide \rightarrow milieu régulier, symétrique \rightarrow ligands, répartition égale
 - Δ: énergie champ cristallin
- 33) On a
- | | |
|--|---|
| Champ fort
Bas spin $S = \frac{1}{2}$ | Champ faible
Haut spin $S = \frac{3}{2}$ |
|--|---|



• $\Delta \neq \rho$: énergie d'appariement

34) Calcul de l'énergie de stabilisation du champ cristallin (ESCC):

$$\text{ESCC}_{\text{CF}} = -\frac{2}{5} \Delta \times 6 + \frac{3}{5} \Delta + \rho = \rho - \frac{9}{5} \Delta$$

$$E_{SCC\delta} = S \times \left(-\frac{2}{5}\Delta_0 + 2 \times \frac{3}{5}\Delta_0\right) = -\frac{4}{5}\Delta_0$$

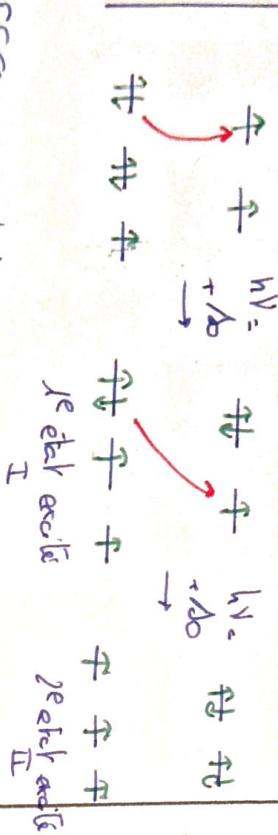
Complexe $G(\Pi) = CF \Leftrightarrow \Delta_{ESCC} = E_{SCCF} - E_{SCC\delta} > 0$

$$\Leftrightarrow -\Delta_0 + P > 0 \Leftrightarrow |\Delta_0| < P$$

$G(\Pi)$ est donc de spin $S = \frac{1}{2}$

3s)

E



↑↑ ↑↑ ↑↑
↓↓ ↓↓ ↓↓
1e⁻ étalement excité I
1e⁻ étalement excité II

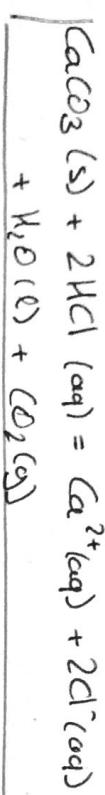
$$\Rightarrow \begin{cases} E_{SCC_I} = +\frac{1}{5}\Delta_0 \\ E_{SCC_{II}} = +\frac{6}{5}\Delta_0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \Delta_{ESCC_I} = E_{SCC_I} - E_{SCC\delta} = \frac{\Delta_0}{5} & 1^{\text{e trans.}} \\ \Delta_{ESCC_{II}} = E_{SCC_{II}} - E_{SCC\delta} = \frac{2\Delta_0}{5} & 2^{\text{e trans.}} \end{cases}$$

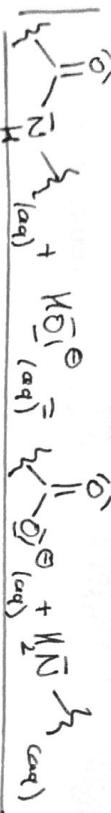
Partie II: Exploitation d'un produit naturel: la chitine

A Extraction et structure de la chitine des coquilles

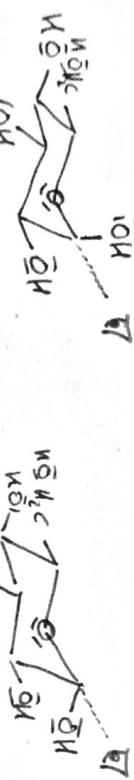
36) Décalcification, équation de réaction:



37) Équation de réaction:



38) Le monomère de la cellulose est le glucose

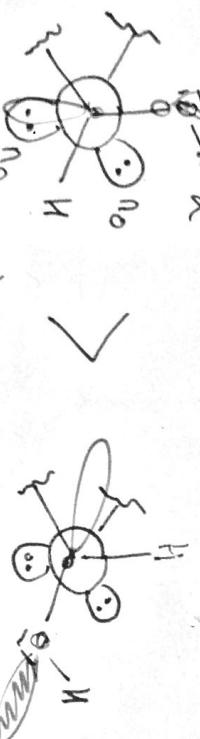


α -D-glucopyranose

On peut invoquer deux effets déterminants

- effet stéréoélectrostatique
- effet stérique

Effet stéréoélectrostatiques: En projection de (Can)



$$44) \underline{\underline{DD \hat{=} \frac{N_0 - N}{N_0}}}$$

interaction H-O-H
réaction forte
 \Rightarrow stabilisation

Effet stérique: Rôle de Burton $\Rightarrow \beta > \alpha$
équivalents fauvise $\Rightarrow \beta > \alpha$

39)



* Carbones anomériques

* Carbones anomériques de l'hémiacétal de glucose

On a des carbones anomériques de l'hémiacétal de glucose

40) Il s'agit d'une fonction acétal. Il s'agit d'une condensation de fixation hémiacétal d'un alcool.

En vocabulaire de biochimie, on parle de:

- liaisons G-glycosidiques
- condensation glycosidique.

41) les liaisons intermoléculaires sont des liaisons hydrogènes d'ordre de 20 kJ/mol

42) La structure qui présente la meilleure cohésion serait celle avec le plus d'interaction intermoléculaire.
La structure α est donc la plus stable

43) On pourra à priori les distinguer en DD car les liaisons H étant différentes, le décalage des bandes sera différent pour certains modes O-H

B Transformation de la chitine en chitosane
B1. Désacétylation en milieu acide

$$45) \underline{\underline{DN \hat{=} \frac{N_0 - N}{N_0}}}$$

DN différentielle du 1^{er} ordre à coefficient constant $dN = -kN$

Dans le cas du D-glycosylose, l'effet stérique

l'impuls avec $\beta > \alpha$

qui admet pour équation avec $N(t=0) = N_0$:

$$N(t) = N_0 e^{-kt}$$

$$\text{On a alors } \frac{DD}{N} = 1 - e^{-kt}$$

46) Le modèle arrêté semble être assez bien

en accord avec les données expérimentales si on regarde l'ajout des points expérimentaux avec la régression.

47) On peut tirer deux types d'informations contre modèle ci-dessous :

$\rightarrow DD(t)$

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + k t}$$

thermodynamique

On peut dresser le tableau suivant:

$C(\text{mol/l})$	$C(\text{min})$	$k(\text{s}^{-1})$	$DD(+\infty)$
8	~ 75	2.2×10^{-4}	40%
10	~ 60	2.8×10^{-4}	46%
12	~ 55	1.1×10^{-3}	55%

48) k est calculé à partir de (47) (CF tableau) l'expérience est basée sur le dégagement de l'iodine au 10° .

On voit que $k = \frac{Q}{[NaO^-]}$, on peut essayer de déterminer l'ordre apparent:

$$k = k_1 [NaO^-]^{\alpha}$$

$$\Rightarrow \ln(k) = \ln(k_1) + \alpha \ln([NaO^-])$$

Reglin: on trouve $R = 0.85$ avec $k = \frac{0.4}{t_1 = 7.35 \times 10^6 \cdot L \cdot mol^{-1} \cdot s^{-1}}$

l'écart au modèle linéaire doit s'expliquer par la grosse incertitude dans l'estimation de k .

B2. Catalyse par transfert de phase

49) Q^+ est un catalyseur de transfert de phase car:

- il peut former une paire ionique avec HO^- ce qui permet par le biais de ses propriétés lipophiles de faire passer KO^- en phase organique. Cette augmentation de la concentration en KO^- (org) augmente la chance de désamidification (via NaO^-)

- il forme une paire lâche avec HO^- qui permet par le biais de ses propriétés hydrophiles de passer en phase aqueuse

50) Q^+ doit être à la fois hydrophile / hydrophobe

Pour cela, il faut que:

- Q^+ soit chargé
- ait possède de longues chaînes carbonées

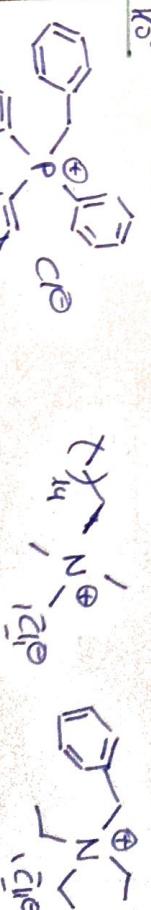
En général, on emploi des sels d'ammonium ou de phosphonium quaternaires

51) Formules de Lewis:

BTP

CTMA:

TEBA





Caractéristiques:

- chaînes carbonées
- NIP quaternaire et cationique

s2) Par rapport au Ténam, on a une efficacité

$$e \left(= \frac{OD(\text{cate})}{OD(\text{écate})} \right) \text{ de:}$$

	BTP	CTMA	TEBA	BPC
e	2.4	2.1	2.0	1.8

Méilleur CTP \Rightarrow meilleure affinité avec le mélange aqueux + formation d'une peau plus lâche avec le contre-ion.

Le BTP répond le mieux à ces attentes en terme de longueur de chaîne carbonylée et nature de la charge (P charge plus diffuse).

s3) À partir des données sur Benzène / Toluène / o-xylène,

on voit que DO ne dépend pas du mélange dipolaire.

L'augmentation de DO est principalement liée à l'augmentation de la perméabilité relative

du solvant visuel

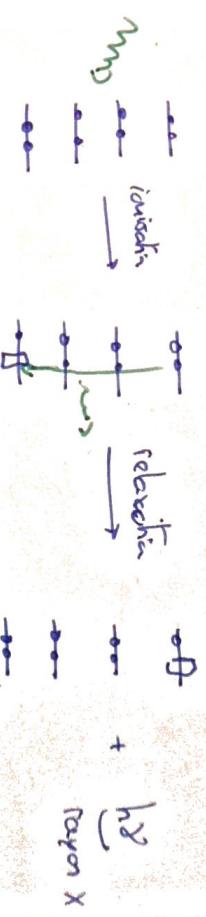
Benzène Toluène xylene	1,2-dichloro - chlorofluoré	En DO
0.2.4	4.9	4.8

Ceci est en accord avec fig. 9 qui montre que l'ECD d'attaque de KOH sur l'amide va dépendre de la concentration en KOH libre en phase organique.

Or, plus la peau d'ion se dilate, plus [uO] augmente en phase organique sera élevée

B3. Suivi de la désacétylation par DEX

s4) L'Uka est une notation de spectroscopie aux rayons X qui signifie que le photon de longueur d'onde $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ résulte d'une transition électronique d'un électron de haute énergie vers un trou au niveau n=1, sur des atomes de Cu préalablement ionisé



Rq: Ce sont les notations de Siegbahn

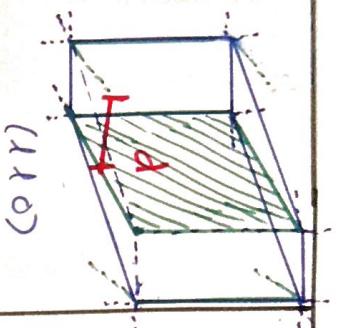
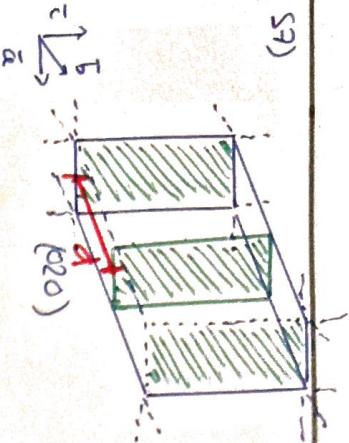
s5) Dans une interprétation de type Paragg, l'existence de nids nécessite la présence de plans, périodiques par translation, constituant des familles de plan dit plans de Miller / plans réticulaires caractérisés par trois nombres (h, k, l).

s6) d: distance entre deux plans réticulaires appartenant à une même famille.

X: longueur d'onde du rayonnement X

S: la moitié de l'angle de diffraction

57)



58) La maille fait $2d = 18\text{ \AA} = 180\text{ pm}$ sur $(O)^2$

On mesure 0.7 cm pour une liaison hydrogène alors que $2d$ correspond à 5.4 cm

On estime alors que la liaison fait $\sim 233\text{ nm}$

Petit: Dans la littérature, on trouve des valeurs entre de 250 nm , on obtient le bon ordre de grandeur.

- on peut difficilement faire une estimation plus précise sur le temps impact

59) D'épriver la loi de Bragg

$$\Rightarrow \sin(\theta) > \frac{d}{2} < \frac{\pi}{2} \Rightarrow d >$$

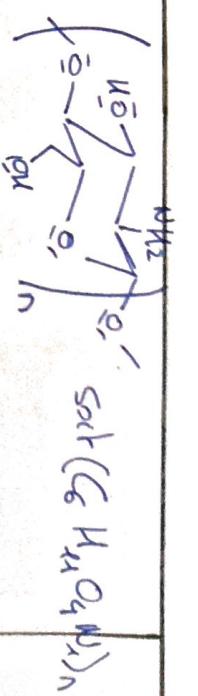
La désorption permet de rapprocher les chaînes entre elles (partie d'un groupement latéral s'embranche)

C. Utilisation du chitosane en catalyse hétérogène

60) Arguments voulus:

- réciprocité
- robustesse
- possibilité d'amélioration

61) Chitosane =



$$M(C_6H_{11}O_N) = 161\text{ g/mol}^{-1}$$

On a alors

$$\frac{\%m(C)}{\%m(W)} = \frac{M(C)}{M(W)} \sim 44.7\%$$

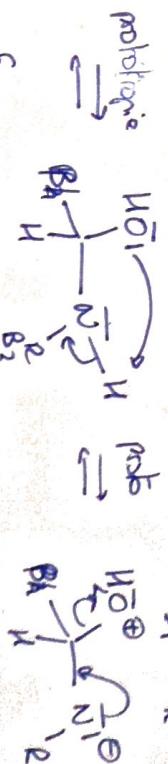
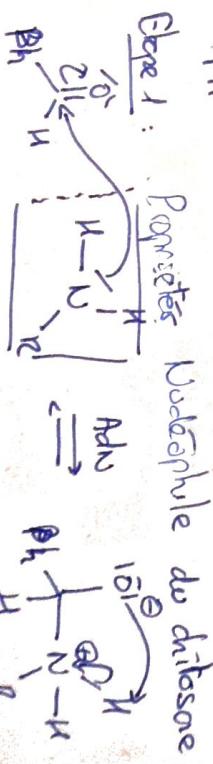
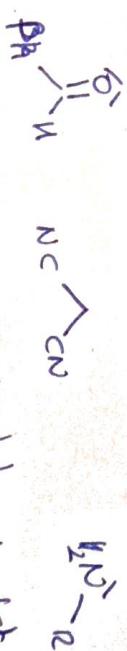
$$\frac{\%m(O)}{\%m(W)} = \frac{4M(O)}{M(W)} \sim 39.8\%$$

$$\frac{\%m(H)}{\%m(W)} = \frac{MM(H)}{M(W)} - 6.8\%$$

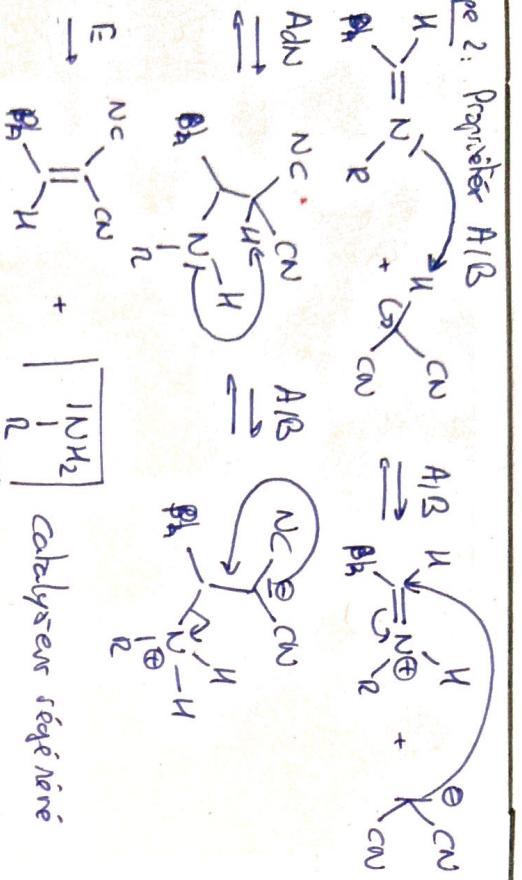
On retrouve les bons %Dés

62) On a $\%m(N)$, $\%m(C)$ qui augmentent relativement à une baisse $\%m(W)$ et $\%m(O)$. Ces variations doivent être due à l'adsorption de composés organiques sur le catalyseur solide.

63) Proposition de mécanisme:



Etape 2: Propriétés A/B



De ce fait, la réactivité de l'aldehyde est exacerbée dans le cas des groupes plus le carbone estéochrophique.

67) Les résultats expérimentaux sont en accord avec le mécanisme proposé puisque le cycle phénol est greffé de groupe électro-attracteur, plus on augmente son caractère mesomère attracteur, plus le carbone estéochrophique.

De ce fait, la réactivité de l'aldehyde est exacerbée dans le cas des groupes électro-attracteurs.

68) Réaction respectant plusieurs critères de la chimie verte:

- Rendement élevé
- Faible température \rightarrow Meilleur rendement énergétique
- Catalyse \rightarrow Catalyse
- Faible perte atomique \rightarrow Economie d'atome
- Solvant peu toxique/polluant \rightarrow Solvants et auxiliaires peu毒ueux

65) Intérêt:

- Fort rendement
- Réaction extrêmement rapide
- Températures faibles
- Facilement utilisable sans rete d'efficacité

66)

Composés organométalliques liant des métaux au dusters métalliques à des ligands organiques pour former des structures solides offrant une certaine porosité, réactivité, ...