

# Table des matières

<b>Chapitre 1. Sonochimie organique : les ultrasons en synthèse organique verte</b> . . . . .	<b>1</b>
Micheline DRAYE, Julien ESTAGER et Nathalie KARDOS	
1.1. Introduction : histoire des ultrasons, de la sonochimie organique et des premiers travaux la concernant . . . . .	2
1.1.1. De l'histoire des ultrasons et de la sonochimie organique. . . . .	2
1.1.2. Des travaux pionniers en sonochimie organique . . . . .	4
1.2. Quelques éléments de théorie sur les ultrasons . . . . .	12
1.2.1. Dynamique de bulle . . . . .	15
1.2.1.1. Cavitation stable . . . . .	18
1.2.1.2. Cavitation transitoire . . . . .	18
1.2.2. Facteurs affectant la cavitation . . . . .	19
1.2.2.1. Puissance . . . . .	19
1.2.2.2. Fréquence . . . . .	19
1.2.2.3. Pression . . . . .	20
1.2.2.4. Température . . . . .	20
1.2.2.5. Propriétés du liquide . . . . .	20
1.2.2.6. Présence de gaz dissous . . . . .	20
1.2.2.7. Géométrie du réacteur . . . . .	21
1.2.3. Estimation des paramètres ultrasonores . . . . .	21
1.2.3.1. Vitesses de l'onde ultrasonore dans les fluides purs et les mélanges . . . . .	21
1.2.3.2. Puissance acoustique . . . . .	22

---

1.2.3.3. Intensité ultrasonore . . . . .	23
1.2.3.4. Production de radicaux . . . . .	24
1.3. Équipement de laboratoire et équipement industriel . . . . .	25
1.3.1. Bac à ultrasons. . . . .	27
1.3.2. Sondes ultrasonores . . . . .	28
1.3.3. Réacteurs haute fréquence . . . . .	29
1.3.4. Réacteurs <i>cup-horn</i> . . . . .	30
1.3.5. Réacteurs en continu . . . . .	31
1.4. Sonochimie organique verte . . . . .	31
1.4.1. Vraie et fausse sonochimie . . . . .	32
1.4.1.1. Vraie sonochimie. . . . .	32
1.4.1.2. Fausse sonochimie . . . . .	32
1.4.2. Synthèse en milieu homogène et hétérogène . . . . .	32
1.4.2.1. Synthèse en milieu homogène. . . . .	32
1.4.2.2. Réactions dans la phase gaz, à l'intérieur de la bulle . . . . .	33
1.4.3. Synthèse en milieu hétérogène. . . . .	34
1.4.3.1. Effets physiques aux interfaces liquide/liquide . . . . .	34
1.4.3.2. Effets physiques aux interfaces liquide/solide. . . . .	35
1.4.3.3. Sonochimie organique : les ultrasons, une technique non conventionnelle d'activation . . . . .	35
1.5. Sonochimie en milieu non conventionnel . . . . .	49
1.5.1. Activateur physique . . . . .	49
1.5.2. Chimie sans solvant . . . . .	50
1.5.3. Liquides ioniques et ultrasons . . . . .	51
1.5.4. Sonochimie dans l'eau. . . . .	55
1.5.4.1. Réaction d'aza-Michael. . . . .	55
1.5.4.2. Réactions d'hydrolyse. . . . .	57
1.5.5. Sonochimie dans le glycérol . . . . .	58
1.5.5.1. Réactions de transfert d'hydrogène . . . . .	59
1.5.5.2. Réactions de couplage C-C . . . . .	59
1.5.5.3. Réaction de Barbier . . . . .	60
1.5.6. Chimie enzymatique sous ultrasons . . . . .	60
1.5.6.1. Réactions de transestérification . . . . .	61
1.5.6.2. Réactions d'estérification. . . . .	64
1.5.6.3. Autres réactions. . . . .	66
1.5.7. Sonoélectrosynthèse . . . . .	67

1.6. Conclusion . . . . .	67
1.7. Bibliographie . . . . .	69

## **Chapitre 2. Synthèse sous haute pression : une chimie écoresponsable . . . . . 83**

Isabelle CHATAIGNER et Jacques MADDALUNO

2.1. Hautes pressions en chimie de synthèse . . . . .	83
2.2. Notions importantes. . . . .	85
2.2.1. Physicochimie des hautes pressions . . . . .	85
2.2.2. Volume d'activation . . . . .	88
2.2.3. Effet des hautes pressions sur le solvant. . . . .	89
2.3. Instrumentation . . . . .	91
2.3.1. Comment générer des hautes pressions ? . . . . .	91
2.3.2. Choix de l'équipement. . . . .	93
2.3.2.1. Enceinte, piston, enclume . . . . .	94
2.3.2.2. Joints d'étanchéité . . . . .	95
2.3.2.3. Liquides piézo-transmetteurs . . . . .	96
2.3.2.4. Réacteurs . . . . .	96
2.3.2.5. Fenêtres optiques . . . . .	97
2.3.2.6. Mesures. . . . .	97
2.3.3. Sécurité des installations . . . . .	97
2.4. Applications . . . . .	99
2.4.1. Réactions de cycloaddition et d'annélation. . . . .	99
2.4.1.1. Cycloadditions de Diels-Alder . . . . .	99
2.4.1.2. Cycloadditions et annélations (3+2) . . . . .	103
2.4.1.3. Cycloadditions (2+2) . . . . .	105
2.4.1.4. Cycloadditions tandem et multicomposantes . . . . .	105
2.4.1.5. Réactions ène . . . . .	106
2.4.1.6. Réactions sigmatropiques et électrocycliques . . . . .	106
2.4.2. Réactions d'addition nucléophile . . . . .	107
2.4.2.1. Additions conjuguées . . . . .	107
2.4.2.2. Additions nucléophiles sur le groupe carbonyle . . . . .	112
2.4.3. Réactions de substitution . . . . .	115
2.4.3.1. Substitutions nucléophiles sur dérivé d'acide carboxylique. . . . .	115
2.4.3.2. Substitutions nucléophiles aromatiques (S <sub>N</sub> Ar) . . . . .	117

2.4.3.3. Substitutions nucléophiles sur carbone $sp^3$ . . . . .	117
2.4.4. Réactions métallocatalysées . . . . .	118
2.5. Conclusion . . . . .	118
2.6. Bibliographie . . . . .	119
<b>Liste des auteurs</b> . . . . .	<b>127</b>
<b>Index</b> . . . . .	<b>129</b>