

NARINDRA RAHARITSIFA

**OPTIMISATION DE LA LYOPHILISATION DU JUS
DE POMME EN TAPIS DE MOUSSE**

Thèse présentée
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de doctorat en Sciences et Technologie des Aliments
pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)

DÉPARTEMENT DES SCIENCES DES ALIMENTS ET DE NUTRITION
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2008

© Narindra Raharitsifa, 2008

Résumé

La lyophilisation des produits liquides dans le domaine alimentaire s'étend du jus de fruit aux bactéries lactiques. Le procédé coûte cher à cause de l'utilisation du vide durant un long temps de séchage. Or, une diminution du temps de séchage permet de diminuer le coût du procédé. Le moussage, considéré favorable pour le séchage à air chaud, est ainsi utilisé pour accélérer le procédé de lyophilisation du jus de pomme, pris comme aliment modèle, tout en gardant les qualités sensorielles et nutritionnelles. Cette thèse comprend quatre volets : (i) une caractérisation physique et rhéologique des mousses en déterminant les paramètres de moussage adéquats (choix et concentration des agents moussants, temps de fouettement) pour avoir la stabilité lors de la lyophilisation, (ii) une étude de l'effet du moussage sur la cinétique de lyophilisation (teneur en eau et température tout au long du procédé), (iii) modélisation de la cinétique de lyophilisation par application du réseau de neurones artificiels et optimisation de l'épaisseur d'échantillon pour accroître la capacité de production, et finalement (iv) une étude de la perte de qualité après la lyophilisation et sur la stabilité des produits lyophilisés lors du stockage. Les résultats de cette recherche ont permis d'abord de quantifier les concentrations de méthylcellulose (1%) et blanc d'œuf (3%) nécessaires pour avoir des mousses stables (minimum de drainage) face à la lyophilisation. Il a été possible de déterminer à partir des études rhéologiques que les mousses les plus stables n'ont pas nécessairement un comportement solide. Un modèle de solidité en fonction de la fraction d'air et de la taille de bulles a été développé à partir des données expérimentales. L'effet du moussage rend la cinétique de lyophilisation plus rapide à la même épaisseur. Cependant, dû à la faible masse volumique des mousses, la capacité de production n'est pas nécessairement plus rapide que dans le cas de lyophilisation traditionnelle. L'application du réseau de neurones artificiels a permis de modéliser avec exactitude la température et la cinétique de séchage durant la lyophilisation des mousses. Une optimisation faite en utilisant ce modèle a montré que l'épaisseur minimale pour augmenter en même temps la cinétique de lyophilisation et la capacité de production, était trop grande pour être réaliste. L'addition d'agent moussant (polysaccharide ou protéine) rend les mousses plus hygroscopiques par rapport au jus de pomme sans moussage mais augmente, par contre, leur température de transition vitreuse. Ainsi les jus de pomme avec moussage sont plus stables thermiquement. Une faible

diminution de la qualité sensorielle et nutritionnelle des jus des pommes moussés par rapport aux produits sans moussage a été constatée après le procédé de lyophilisation. Néanmoins, durant l'entreposage à température ambiante, les produits moussés se sont montrés plus stables que ceux sans mousser.

Cristina Ratti
Directrice de recherche

Narindra Raharitsifa
Candidat au Ph.D

Abstract

Freeze-drying of the liquid food products extends from fruit juice to lactic acid bacteria. The process is expensive because of the vacuum use during a long time. However, a decrease in drying time makes possible to reduce the cost of the process. Foaming is considered to be favourable for accelerating conventional drying and thus it was used to investigate the effect on the acceleration of the freeze-drying process of apple juice while keeping sensory and nutritional qualities. This thesis has four components: (i) physical and rheological characterization of foams by determining the adequate foaming parameters (choice and concentration of foaming agents, whipping time) to keep stability during freeze-drying process, (ii) study of foaming effect on the freeze-drying kinetics (moisture content and temperature throughout the process), (iii) modeling freeze-drying kinetics and thickness optimization to increase throughput by the application of artificial neural network, and finally (iv) study of the quality loss after freeze-drying and the stability of the freeze-dried products during storage. The results of this research made possible to quantify the methyl cellulose (1%) and egg white (3%) concentrations required to have stable foams during freeze-drying. It was found from rheological studies that the most stable foams do not have necessarily a solid behaviour. A model to predict the degree of solidity as a function of air volume fraction and average bubble size was developed from the experimental data. Foaming accelerates the freeze-drying kinetics sample thickness. However, due to the low density of foams, the throughput is not necessarily faster than the traditional freeze-drying process. Artificial neural networks made possible to model accurately the foam-mat freeze-drying kinetics. An optimization using this model showed that the minimal thickness to increase at the same time the drying rate and the throughput was too large to be realistic. The addition of foaming agent (polysaccharide or protein) makes foams more hygroscopic in comparison to non-foamed apple juice but, on the other hand, increases their glass transition temperature. Thus, foamed apple juices are more stable during processing and storage. A slight reduction in sensory and nutritional quality of foamed freeze-dried apple juice was noted after the freeze-drying process. Even though, those products showed more stability during storage at room temperature.

Avant-Propos

La présente thèse a été réalisée au Département des Sciences des Aliments et de Nutrition de l'Université Laval. L'étude a été dirigée et financée par professeure Cristina Ratti au sein du Département des Sols et Génie Agroalimentaire de l'Université Laval. La thèse contient 5 chapitres précédés d'un résumé court et un résumé long en français, un autre résumé en anglais ainsi qu'une brève introduction générale.

Le chapitre premier, rédigé en français, montre la revue de littérature et donne un aperçu critique sur les différents sujets traités pour cette thèse. Elle est divisée en quatre parties à savoir la lyophilisation, la température de transition vitreuse, la mousse et la rhéologie. Cette partie vise à apporter de lumière sur chacun de ces parties et à évoquer les recherches récentes sur ces sujets. Elle est suivie de la présentation de la problématique, l'intérêt de cette recherche, l'hypothèse ainsi que les objectifs spécifiques.

Le chapitre deux, rédigé en anglais, est un article scientifique qui traite sur la stabilité des mousses précédant le procédé de lyophilisation dont les auteurs sont Narindra Raharitsifa, Diego B. Genovese et Cristina Ratti. L'article est intitulé «Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose» et a été publié dans *Journal of Food Science*, 71(3), E 142-E151. La rédaction de l'article a été faite conjointement par Narindra Raharitsifa, Diego Genovese et Cristina Ratti. Le travail a été révisé par Rao M.A.

Le chapitre trois, rédigé en anglais, est un article scientifique qui regarde l'effet du moussage lors de la lyophilisation et optimise l'épaisseur des mousses par application du réseau de neurone artificiel. Les auteurs sont Narindra Raharitsifa et Cristina Ratti. L'article s'intitule «Foam-mat freeze-drying of apple juice: experimental data and ANN simulations» et sera soumis au *Journal of Food Process Engineering*. Les manipulations ont été faites par Narindra Raharitsifa et l'interprétation des résultats a été faite en étroite collaboration avec Cristina Ratti.

Le chapitre quatre, rédigé en anglais, est un article scientifique parlant de la stabilité lors du stockage des mousses et du jus lyophilisés. Il traite également la vérification de la rapidité des mousses par rapport au jus lors de la lyophilisation. Les auteurs sont Narindra Raharitsifa, Joseph Makhlouf et Cristina Ratti. L'article s'intitule «Foam-mat freeze-drying of apple juice: storage stability of powders» et sera soumis au Journal of Food Process Engineering. L'analyse des résultats a été faite par Narindra Raharitsifa avec l'étroite collaboration et les corrections de Cristina Ratti et Joseph Makhlouf

Le chapitre cinq, rédigé en français, présente la conclusion générale de cette thèse avec les perspectives qui peuvent s'ouvrir suite à cette étude.

Remerciements

Ce projet de doctorat a été financé par le Fond Québécois pour la Recherche sur la Nature et les Technologies (FQRNT) que je tiens à remercier.

J'ai pu faire mes études au sein de l'Université Laval grâce à la confiance que Mme Cristina Ratti, professeure et directrice de programme au Département des Sols et Génie Alimentaire, m'a accordé. Sa disponibilité, son jugement et sa patience m'ont beaucoup aidé. Je tiens à donner mes remerciements et mes respects pour cette dame.

Je remercie M. Damien De Halleux, professeur au Département des Sols et Génie Alimentaire, d'avoir accepté de faire la prélecture de la présente thèse et le temps qu'il a accordé pour ce faire.

Je tiens à remercier M. Vijaya Raghavan, professeur au Département de Bioresource Engineering de l'Université McGill, ainsi que Mme Sylvie Turgeon, professeure au Département des Sciences des Aliments et de Nutrition de l'Université Laval, qui ont accepté de juger ce travail et d'agir respectivement comme examinateur externe et interne.

Je remercie également Dr. Diego Genovese, d'avoir pris la peine de se déplacer de l'Argentine vers le Canada, d'avoir partagé ses savoirs et d'avoir participé activement pour la réalisation du chapitre 2, un article qui a été publié au *Journal of Food Science*.

Je remercie également Dr. Joseph Makhoul pour les conseils qu'il a donnés lors des essais préliminaires de la présente thèse et par la discussion des résultats du chapitre 4.

J'aimerais donner aussi mes vifs remerciements à M^{lle} Monica Araya, MSc et M. Olivier Quirion-Blais, BSc pour leur disponibilité et pour leur dépannage.

Je n'oublie pas non plus de remercier les personnels du laboratoire pilote pour leur dévouement et leur compétence.

*« God is our refuge and strength, a
very present help in trouble..»
Psalms :46.1.*

Table des matières

Résumé	i
Abstract	iii
Avant-Propos	iv
Remerciements	vi
Table des matières	viii
Liste des tableaux	xii
Liste des figures	xiii
Introduction	1
<i>Nomenclature</i>	3
Chapitre 1 : Revue Littérature	5
1. Lyophilisation	6
1.1. Généralités	6
1.2. Les différentes étapes de la lyophilisation	6
a. Congélation	7
b. Sublimation	10
c. Désorption	12
1.3. Phénomènes de transfert de chaleur et de matière au cours de la lyophilisation	12
a. Généralités	14
b. Déshydratation primaire	14
c. Déshydratation secondaire	17
1.4. Études effectuées sur la lyophilisation des produits alimentaires	17
1.5. La qualité du produit pendant la lyophilisation, le stockage et la réhydratation	20
a. Transition vitreuse	20
a.1. Définition	20
a.2. Détermination de la Tg	21
a.3. Facteurs affectant le Tg	21
a.4. Phénomène d'effondrement	22
a.5. Études récentes sur la transition vitreuse (Tg)	24
b. État chimique et physique de l'eau dans le produit lyophilisé	25
b.1. Classification	25
b.2. État de l'eau dans les aliments	27
c. Détérioration au cours de la lyophilisation et du stockage	27
c.1. Vitamine C	28
c.2. Couleur	29
d. Réhydratation	30
1.6. Études sur la modélisation de la lyophilisation	32
a. Modélisation du procédé de lyophilisation	32
b. Réseau de neurones artificiels	33
b.1. Principes du réseau de neurones	33
b.2. Avantages du réseau de neurones	36
1.7. Prétraitements avant le séchage	37
a. Diminution de la teneur en eau initiale	37
a.1. Déshydratation osmotique	37
a.2. Addition de sucre	38

a.3. Pré-concentration.....	38
b. Modification de la matrice du produit.....	38
b.1. Détente instantanée contrôlée.....	39
b.2. Séchage en tapis de mousse.....	40
2. Mousses.....	43
2.1 Définition.....	43
2.2. Formation et stabilisation des mousses.....	43
a. Rôle des protéines.....	43
b. Rôle des polysaccharides.....	45
c. Méthode de formation des mousses.....	46
2.3. Structure des mousses.....	46
2.4. Propriétés des mousses.....	49
a. Stabilité thermodynamique.....	49
b. Instabilité des mousses.....	49
c. Effet de Gibbs-Marangoni.....	50
d. Diffusion de gaz.....	50
e. Viscosité de la phase continue et de la surface.....	52
2.5. Évaluation des propriétés moussantes.....	53
2.6. Interfaces.....	53
2.7. Rhéologie des mousses.....	56
a. Comportement rhéologique des mousses.....	56
b. Mesures rhéologiques des mousses.....	57
c. Rhéologie de l'interface.....	57
2.8. Problématique, hypothèses et objectifs.....	58
a. Problématique.....	58
b. Hypothèses.....	61
c. Objectifs.....	61
c.1. Objectif principal.....	61
c.2. Objectifs spécifiques.....	62
Chapitre 2: Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose.....	63
Résumé.....	64
Abstract.....	65
1. Introduction.....	66
2. Materials and Methods.....	68
2.1 Foam Preparation.....	68
2.2. Drainage.....	69
2.3. Rheology of the Continuous Phase.....	69
2.4. Rheology of Foams.....	70
a. Oscillatory Rheological Tests:.....	70
b. Yield Stress Tests:.....	70
2.5. Air Volume Fraction.....	71
2.6. Bubble size, size distribution, and shape.....	71
2.7. Data analysis.....	71
3. Results and Discussion.....	72
3.1. Drainage stability.....	72
3.2. Rheology.....	80

a. Dynamic Rheology.....	80
b. Vane Yield Stress.....	83
3.3. Air Volume Fraction.....	85
3.4. Bubble Shape, Size, and Size Distribution.....	88
4. Conclusions.....	101
Chapitre 3: Foam-mat freeze-drying of apple juice. Part 1: Experimental data and ANN simulations.....	102
Résumé.....	103
Abstract –.....	104
1. Introduction.....	105
2. Materials and methods.....	106
2.1 Materials.....	106
2.2 Foam preparation.....	107
2.3 Freeze-drying.....	107
2.4 Moisture content.....	107
2.5 Neural network modeling.....	108
2.6. Statistics.....	108
3. Results and Discussion.....	109
3.1 Moisture content.....	109
3.2 Modelling and optimization.....	119
4. Conclusions.....	124
Chapitre 4: Foam-mat freeze-drying of apple juice. Part 2: Stability of powders during storage.....	126
Résumé.....	127
Abstract –.....	128
1. Introduction.....	129
2. Materials and methods.....	131
2.1. Materials.....	131
2.2. Foam preparation.....	131
2.3. Freeze-drying.....	131
2.4. Sorption isotherm.....	132
2.5. Isotheric heat of sorption (q_{st}).....	132
2.6. Glass transition temperature (Tg).....	133
2.7. Solubility.....	134
2.8. Vitamin C.....	134
2.9. Colour measurement.....	135
2.10. SEM analysis.....	135
2.11. Storage.....	135
2.12. Statistics.....	136
3. Results and discussions.....	136
3.1. Sorption isotherms.....	136
3.2. Heat of sorption.....	140
3.3. SEM microscopy.....	143
3.4. Glass transition.....	143
3.6. Solubility.....	150
3.7. Vitamin C.....	153
3.8. Colour.....	153

4. Conclusions	156
Conclusion Générale	157
Bibliographies	160

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Pourcentage d'eau congelée au cours d'une congélation pour divers denrées alimentaires.....	9
Tableau 2-1 : Effect of foaming agent and concentration on the consistency index $K * 100$ [Pa.s ⁿ] and the flow behaviour index n [-] of the continuous phase of apple juice foams... 78	78
Tableau 2-2 : Polydispersity p (μm) of bubble size distributions of apple juice foams. Effect of whipping time (θ) and foaming agent concentration ($C\%$).....	94
Tableau 2-3 : Kinetic constant of bubble size growth $k * 100$ [min ⁻¹] in apple juice foams. Effect of whipping time (θ) and foaming agent concentration ($C\%$).....	97
Tableau 3-1 : Thickness optimization for 1%MC and 3%EW foams from ANN predictions	125
Tableau 4-1 : Water activity value of different salt solutions at different temperatures ..	137
Tableau 4-2 : GAB parameters at different temperatures.....	141
Tableau 4-3 : Gordon-Taylor parameters of the foamed and non-foamed freeze-dried apple juice.....	146
Tableau 4-4 : Critical water activity and critical water content values of the foamed and non-foamed freeze-dried apple juice.....	148
Tableau 4-5 : Vitamin C losses due to the freeze-drying process and after 70 days of storage at different conditions	154
Tableau 4-6 : The effect of freeze-drying process and the storage on colour parameters of foam and non-foamed samples.....	155

Liste des figures

Figure 1-1 : Diagramme de phase de l'eau (adaptée de Karel, 1975b).....	8
Figure 1-2 : Description du phénomène de transfert au cours de la lyophilisation	11
Figure 1-3 : Cycle typique de la lyophilisation	13
Figure 1-4 : Évolution de la température de la couche congelée de trois produits différents au cours de la lyophilisation montrant le type de facteur limitant.....	16
Figure 1-5 : Température de transition vitreuse de diverses denrées alimentaires.....	23
Figure 1-6 : Les différents types d'isothermes d'adsorption et les différents états de l'eau.	26
Figure 1-7 : Un neurone biologique.....	34
Figure 1-8 : Représentation schématique d'un réseau de neurones artificiels	35
Figure 1-9 : Structure d'une mousse	44
Figure 1-10 : (a) Structure sphérique et (b) structure polyédrique des mousses	47
Figure 1-11 : Bord de plateau	48
Figure 1-12 : Diffusion de gaz ($P_2 > P_1$) de la bulle 2 vers la bulle 1 et effet de Gibbs-Marangoni.....	51
Figure 1-13 : Interface gaz-liquide	55
Figure 2-1 : Drainage curves of 5 min whipped apple juice foams prepared with different concentrations of: (a) egg white, and (b) methylcellulose	74
Figure 2-2: Effect of whipping time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the maximum drainage (after 1 day) of apple juice foams.	75
Figure 2-3: Effect of whipping time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the drainage half time of apple juice foams.....	76
Figure 2-4: Foam maximum drainage.....	79
Figure 2-5: Prediction of foam drainage half time with continuous phase apparent viscosity (at $30s^{-1}$).....	81
Figure 2-6 : Effect of whipping time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the phase angle (at 1 Hz) of apple juice foams.	82

Figure 2-7: Effect of ageing time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the yield stress of 5min whipped apple juice foams.	84
Figure 2-8: Effect of whipping time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the air volume fraction of apple juice foams.	86
Figure 2-9: Effect of air volume fraction on bubble shape of 7min whipped apple juice foams at different methylcellulose concentrations: (a) 2% (w/w), and (b) 0.2% (w/w).....	89
Figure 2-10: Effect of air volume fraction on bubble shape of 7min whipped apple juice foams prepared with: (a) 2% egg white, and (b) 1% methylcellulose.	90
Figure 2-11: Effect of whipping time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the mean (Sauter) bubble diameter of apple juice foams.	92
Figure 2-12: Ostwald ripening effect on bubble size distribution of 5min whipped apple juice foam prepared with 0.5% EW, at different ageing times: (a) 0 min, (b) 20 min.	96
Figure 2-13: Prediction of apple juice foams degree of solidity (inverse phase angle).....	99
Figure 2-14: Prediction of apple juice foams degree of solidity (yield stress).....	100
Figure 3-1: Freeze-drying curve of non-foamed and foamed apple juice at 4cm thickness.	111
Figure 3-2: Freeze-drying curve of 1%MC foamed apple juice at different thickness.	112
Figure 3-3: Moisture content of 3%EW foamed apple juice at different thickness.	113
Figure 3-4: Moisture content of non-foamed juice at different thickness.....	114
Figure 3-5: Experimental and ANN predicted temperature values during freeze-drying of 1% MC foamed apple juice at different thickness.....	116
Figure 3-6: Experimental and ANN predicted temperature value during freeze-drying of 3%EW foamed apple juice at different thickness.....	117
Figure 3-7: Experimental and ANN predicted temperature value during juice freeze-drying at different thickness.....	118
Figure 3-8: Structure of Artificial Neural Network (2/10/2).....	120
Figure 3-9: Correlation between moisture content experimental and predicted value of 1%MC foamed apple juice at 6cm.....	121

Figure 3-10: Comparison of MC foamed apple juice and non-foamed juice freeze-drying curve at 8cm thickness. 122

Figure 4-1: Experimental data for freeze-dried foam made by 3% egg white (EW), 1% methylcellulose (MC) and non-foamed (apple juice) and predicted sorption isotherms using GAB equation at 5°C. 138

Figure 4-2: Experimental data for freeze-dried foam made by 1% methylcellulose (MC) and predicted sorption isotherms using GAB equation at different temperatures. 139

Figure 4-3: Variation of net isosteric heat with moisture content for freeze-dried foam made by 3% egg white (EW), 1% methylcellulose (MC) and non-foamed (apple juice). 142

Figure 4-4: Scanning electron micrographs of freeze-dried foam made by (a) 3% egg white (EW), (b) 1% methylcellulose (MC) and (c) non-foamed (apple juice). 144

Figure 4-5: Glass transition onset temperature of freeze-dried foam made by 3% egg white (EW), 1% methylcellulose (MC) and non-foamed (apple juice) as a function of moisture content. 145

Figure 4-6: Relationship between glass transition temperature and sorption isotherm at 5°C for freeze-dried foam made by 3% egg white, 1% methylcellulose and non-foamed apple juice. 149

Figure 4-7: Freeze-dried juice (foamed and non foamed) after 7 weeks of storage at 20°C, (a) side view, and (b) top view 151

Figure 4-8: Solubility behaviour at 20°C of samples after freeze-drying process (a), 152 and after 70 days of storage at 4°C (b) and 20°C (c). 152

Introduction

La lyophilisation est considérée comme étant le meilleur procédé de séchage pour maintenir la qualité nutritionnelle et organoleptique des produits alimentaires. Les produits lyophilisés présentent une haute porosité, un goût supérieur, une haute rétention d'arôme et une capacité de réhydratation élevée. La lyophilisation est, en plus, le procédé le plus adéquat pour réduire la teneur en eau. C'est la raison pour laquelle ce procédé est très répandu dans la fabrication des produits nutraceutiques et pharmaceutiques, car ces derniers possèdent des propriétés physiologiques bénéfiques sur la santé humaine et préviennent contre différentes maladies. La faible teneur en eau finale permet d'avoir un produit léger, facile à transporter et de longue durée de conservation. Le stockage du produit peut se faire généralement à la température de la pièce et ne nécessite pas de grande dépense en énergie comme le cas de la congélation.

Malheureusement, la lyophilisation est très coûteuse et elle n'est utilisée que pour des produits à très haute valeur ajoutée. Une possibilité pour accélérer ce procédé afin de diminuer le coût se fait par le biais d'une augmentation de la température. Cependant, lorsque la température est trop élevée, une chute de la viscosité de la matrice au point où la structure n'arrive plus à supporter son propre poids peut survenir au cours du procédé entraînant un effondrement du produit. Le produit perd ainsi ses qualités nutritionnelles et organoleptiques. La garantie de ces propriétés dépend du maintien du produit en-dessous de sa température de transition vitreuse tout au long du séchage. Néanmoins, cette température de transition vitreuse peut atteindre des valeurs assez basses pour certains produits dépendant de sa teneur en eau. Il faudrait donc trouver un moyen d'augmenter l'efficacité de la lyophilisation mais en évitant le dommage thermique des produits.

La présente étude est ainsi axée sur la recherche d'une méthode de lyophilisation qui permettrait de maintenir une température de sublimation basse afin de garder une bonne qualité du produit, mais avec une durée d'opération réduite. Pour ce faire, nous proposons comme prétraitement, le moussage du liquide avant la lyophilisation qui rendrait la structure du produit très poreuse pour faciliter l'évacuation d'eau et qui augmenterait en même temps la surface de séchage.

La présente thèse est divisée en cinq chapitres allant de la revue de littérature jusqu'à la conclusion et les perspectives.

Chapitre 1 : est une revue de littérature présentant (a) le procédé de lyophilisation avec ses avantages et ses contraintes, (b) la transition vitreuse des produits alimentaires, (c) le réseau de neurone pour modéliser le procédé, (d) les prétraitements utilisés avant la déshydratation, (e) les mousses et ses caractéristiques, (f) la rhéologie des mousses et (g) la problématique, l'hypothèse et les objectifs spécifiques.

Chapitre 2 : porte sur l'étude des caractéristiques des mousses de jus de pomme faites avec du blanc d'œuf et de la méthylcellulose pour avoir une stabilité du produit avant et pendant la lyophilisation.

Chapitre 3 : consiste à caractériser le procédé en déterminant la courbe de cinétique de lyophilisation et la température des mousses durant le procédé, et à les modéliser avec du réseau de neurone artificiel.

Chapitre 4 : présente les études effectuées sur la perte de qualité des produits moussés pendant la lyophilisation par rapport aux produits sans mousser, et la stabilité des produits moussés lyophilisés pendant le stockage.

Chapitre 5 : montre la conclusion (a) sur les différents résultats présentés dans les précédents chapitres, (b) par rapport à l'hypothèse de recherche ainsi que les objectifs spécifiques avancés et (c) sur les perspectives présentant les possibilités d'amélioration ainsi que l'utilisation possible du procédé.

Nomenclature

- A : Surface de sublimation (m^2).
 C_{1g} et C_{2g} : Paramètres universelles.
 C_{gd} : Concentration du gaz inerte dans la couche sèche (kg/m^3)
 C_s et C_w : Fraction massique solide et fraction massique d'eau (g_{ss}/g_{sh} et g_{eau}/g_{sh} respectivement).
 C_{vd} : Concentration de la vapeur d'eau dans la couche sèche (kg/m^3)
 d : Diamètre de la bulle (m)
 dW/dt : La vitesse de changement du poids.
 g : accélération gravitationnelle (m/s^2)
 G : Vitesse de sublimation (kg/h).
 G' : Module élastique (Pa)
 G'' : Module visqueuse (Pa)
 k : Perméabilité de la couche sèche poreuse (m^2).
 k_d : conductivité thermique de la couche sèche ($W/m \cdot ^\circ C$)
 k_v : Consistance de la mousse
 l : épaisseur de la couche sèche (m).
 n : loi de puissance
 N : Constante dépendant du poids moléculaire de la substance sublimée.
 N_t : Flux massique total de la couche sèche ($kg/m^2 \cdot s$)
 P : Pression totale dans la couche sèche (Pa).
 P_f : Pression interne des bulles (Pa)
 P_{ext} : Pression à l'extérieure des bulles (Pa)
 P_v : Pression de vapeur de la glace (Pa).
 P_s : Pression partielle d'eau au niveau de la surface du produit (Pa).
 q : Paramètre dans l'Eq. 1-6.
 q_{cond} : Flux de chaleur conductive (W/m^2).
 q_{rad} : Flux de chaleur radiative (W/m^2).
 r : Rayon de courbature du bord de Plateau (m)
 R_f : Rayon de la bulle (m).
 R_e : Résistance de la couche sèche.
 R_s : Résistance entre l'aliment et le condenseur.
 T : Température du produit ($^\circ C$)
 t : temps de séchage
 T_{cs} : Température de la couche sèche ($^\circ C$)
 T_g : Température de la transition vitreuse ($^\circ C$)
 T_{gs} : Température de la transition vitreuse du produit sec ($^\circ C$)
 T_{g_w} : $-135^\circ C$ (Blond *et coll.*, 1997).
 T_f : Température au niveau du front ($^\circ C$)
 T_L : Température au fond du plateau ($^\circ C$)
 T_s : Température de la surface ($^\circ C$)
 V : Vitesse de la bulle (m/s)
 V_{gaz} : Volume du gaz.

V_i et V_f : Volume initiale et finale ($^{\circ}\text{C}$)
 V_{liquide} : Volume du liquide.
 X : Teneur en eau à l'instant t
 x : Coordonnée spatiale (m).
 x_f : Épaisseur du film (m).
 X_f : Teneur en eau finale de la couche sèche
 x_{FM} : Épaisseur à une pression de disjonction maximale (m).
 x_j : somme pondérée des entrées ou potentiel du neurone j
 X_o : Teneur en eau initiale de la couche congelée
 z : Paramètre d'ajustement.

Nomenclature grecque

η et η_g : Viscosités respectives de T et Tg (Pa.s).
 $\dot{\gamma}$: Vitesse de cisaillement (s^{-1})
 γ : Tenseur superficiel (N/m)
 δ : degré d'élasticité
 ΔH_s : Enthalpie de sublimation (J/g)
 ΔP : Différence de pression (Pa)
 Δt : intervalle de temps.
 ΔV : changement du volume de la mousse dans le temps.
 μ : Viscosité (Pa.s)
 μ_m : Viscosité mixte de la vapeur d'eau et du gaz inerte dans la couche sèche poreuse
 (kg/m.s)
 ρ_l : masse volumique du liquide (kg/m^3)
 ρ_s : masse volumique du solide sec (kg/m^3)
 σ_s : Tension de surface (N/m)
 τ : Contrainte de cisaillement (shear stress en Pa)
 τ_o : Seuil de cisaillement (shear stress en Pa)
 Π : Pression de disjonction
 Π_{VDW} : Force répulsive de Van der Waals

Chapitre 1 : Revue Littérature

1. Lyophilisation

1.1. Généralités

La lyophilisation est un procédé de séchage qui consiste à enlever l'eau du produit de l'état solide à l'état gazeux sans passer par l'état liquide. Cela permet de garder les qualités nutritionnelles du produit ainsi que sa structure. Autrefois, la lyophilisation a été utilisée pour des cultures bactériennes à des fins de stockage. Ensuite, elle a été utilisée durant la deuxième guerre mondiale pour la conservation du plasma sanguin. Les applications pharmaceutiques, un peu plus tard, ont permis le développement du procédé avec une meilleure compréhension du rôle de l'eutectique et la teneur en eau résiduelle. Son potentiel pour préserver les aliments a attiré les industriels dans les années 60 et beaucoup de recherches ont été entreprises depuis. Deux aspects méritent d'être maîtrisés pour bien réussir la lyophilisation: les paramètres du procédé et les caractéristiques du produit (la température, la pression, la durée du procédé, les phénomènes de transfert, la transition vitreuse, l'isotherme de sorption ainsi que les qualités nutritionnelles et organoleptiques). Une brève description du phénomène de transfert au cours du procédé est nécessaire avant de présenter les avantages de la lyophilisation. Comme la qualité du produit pousse les industriels à choisir ce procédé, une présentation de celle-ci au cours du procédé et durant le stockage est donc utile tout en décrivant le phénomène de la transition vitreuse. Finalement, une présentation des études effectuées sur le procédé permet de mieux cerner les problèmes et les possibles améliorations à apporter.

1.2. Les différentes étapes de la lyophilisation

La lyophilisation est un procédé largement utilisé pour sécher et améliorer la stabilité du produit (Hottot *et coll.*, 2007). Comme le procédé est relativement lent et cher, dû à l'utilisation du vide, il n'est appliqué que pour des produits alimentaires à haute valeur ajoutée. La lyophilisation comprend trois étapes : la congélation, la sublimation et la désorption.

La Figure 1-1 montre les différents états de l'eau à chacune de ces trois étapes. L'eau qui se trouve initialement à l'état liquide est congelée en dessous du point triple de l'eau pure

(0.01°C). Elle est ensuite sublimée en faisant descendre la pression de 101.3 kPa (pression atmosphérique) à 0.61kPa (pression de saturation de l'eau au point triple).

a. Congélation

La congélation sert à transformer l'eau de l'état liquide à l'état solide. Au cours de la congélation, il y a toujours une certaine quantité d'eau qui n'est pas congelée. Il s'agit de l'eau de constitution. Le Tableau 1-1 montre le pourcentage d'eau congelée au cours de la congélation de quelques produits alimentaires en fonction de la température de congélation appliquée. L'obtention de l'état eutectique, défini comme étant l'état où tout liquide congelable est congelé, est important en lyophilisation pour assurer l'élimination de l'eau par sublimation seulement et non par sublimation et évaporation en même temps. La congélation est aussi critique car la structure poreuse du produit lyophilisé reflète celle du produit congelé. La structure du produit congelé varie selon la vitesse de congélation. Une congélation lente conduit à la formation de gros cristaux mais peu nombreux. Ils sont essentiellement localisés dans les espaces extracellulaires. De ce fait, il y a un fort risque de séparation des cellules voire la destruction de leurs parois. Par contre, lors d'une congélation rapide, il y a la formation de petits et nombreux cristaux. Comme la vitesse de refroidissement est rapide, il y a une augmentation de la proportion de glace intracellulaire avec une diminution de la taille des cristaux (LeMeste *et coll.*, 1996). Ceci est expliqué par le fait que la vitesse de refroidissement est plus rapide que la vitesse de nucléation. L'eau est déjà à l'état solide alors que les nucléi n'ont pas le temps de se former. Ceci conduit à une préservation de l'intégrité de la structure cellulaire, indispensable à la limitation d'exsudation et à la préservation de la texture lors de la décongélation. Au cours de la congélation, il est essentiel que la température du produit soit en-dessous de -18°C car les détériorations nutritionnelles sont favorables entre -15°C et -5°C. Pour la lyophilisation, il est recommandé de congeler les aliments à une température inférieure à -40°C. Généralement, la congélation se fait dans un congélateur indépendant permettant de réduire le coût du procédé. Une fois la température désirée atteinte, les produits sont conduits dans la chambre de déshydratation proprement dite pour subir la sublimation sous vide.

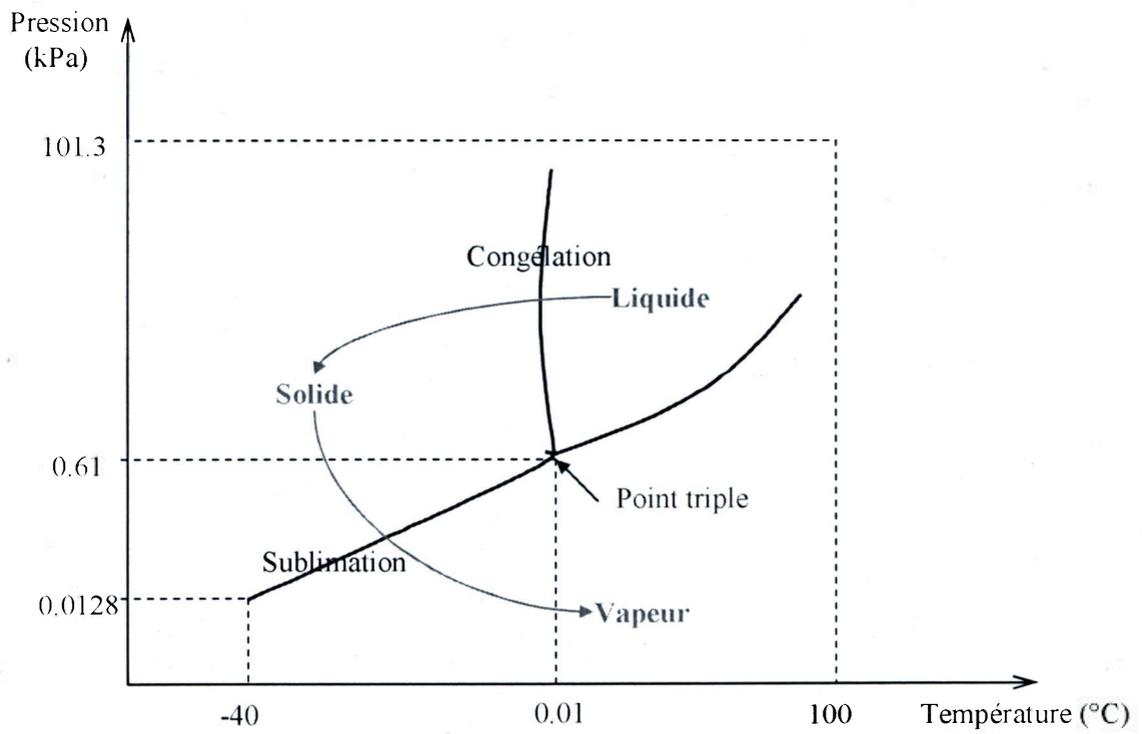


Figure 1-1 : Diagramme de phase de l'eau (adaptée de Karel, 1975b)

Tableau 1.1 : Pourcentage d'eau congelée au cours d'une congélation pour divers denrées alimentaires

(Source : IIF, 1986 et ASHRAE, 2006)

Produit	Teneur en eau totale (%)	Eau congelée (en % de la teneur totale)				
		-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-30°C
Jaune d'œuf	50	80	85	86	87	87
Purée de pomme	82.9	63	79	87	91	94
Blanc d'œuf	86.5	87	91	93	94	94
Jus de fruit	88	72	85	90	93	96

b. Sublimation

La sublimation ne peut se dérouler qu'à une pression de vapeur d'eau inférieure à 6.1mbar et à une température inférieure à 0.01°C. Au cours de cette opération, la glace est convertie en vapeur. Cette vapeur se condense sur le condenseur qui est la zone la plus froide de la chambre de lyophilisateur, ce qui prévient le retour de la vapeur vers le produit. Au fur et à mesure que la sublimation avance, la proportion sèche du produit augmente. Ainsi, le front de sublimation, c'est-à-dire l'interface entre la partie sèche et la partie congelée, se déplace de la surface du produit vers le centre. La Figure 1-2 montre une représentation schématique d'un produit lors de la lyophilisation mettant en évidence la couche sèche et la couche congelée. Comme la vapeur doit passer à travers la couche sèche, la vitesse de sublimation décroît à mesure que la lyophilisation progresse à cause d'une part de la résistance au transfert de chaleur exercée par les pores (effet isolant), et d'autre part de la tortuosité de la matière sèche qui rend difficile le passage de la vapeur. Ainsi, en ce qui concerne la vitesse de sublimation, elle est proportionnelle à la surface de sublimation mais inversement proportionnelle à la résistance de l'espace, R_e , et de la section sèche, R_s , (Karel, 1975a) :

$$G = \frac{A (P_i - P_s)}{R_e + R_s + \frac{l}{N}} \dots\dots\dots (\text{Éq. 1.1})$$

La sublimation apporte un avantage majeur au processus de lyophilisation avec le passage de l'eau de l'état solide à l'état vapeur sans passer par l'état liquide. Dans le cas contraire, l'eau liquide entraîne avec elle d'autres substances et engendre un rétrécissement de la cellule ainsi que des réactions de détériorations. La faible température du procédé contribue également à la supériorité qualitative des produits lyophilisés. Par contre, si la partie sèche est trop chaude, la structure peut s'effondrer (Roos, 1995).

Les vapeurs qui sortent du produit vont être aspirées de la chambre de séchage vers le condenseur par une pompe à vide. En effet, la pompe à vide permet non seulement de maintenir le vide tout au long du procédé mais en même temps d'aspirer les vapeurs qui vont subir une condensation solide au niveau du condenseur. La température du condenseur est de l'ordre de -50 à -95°C.

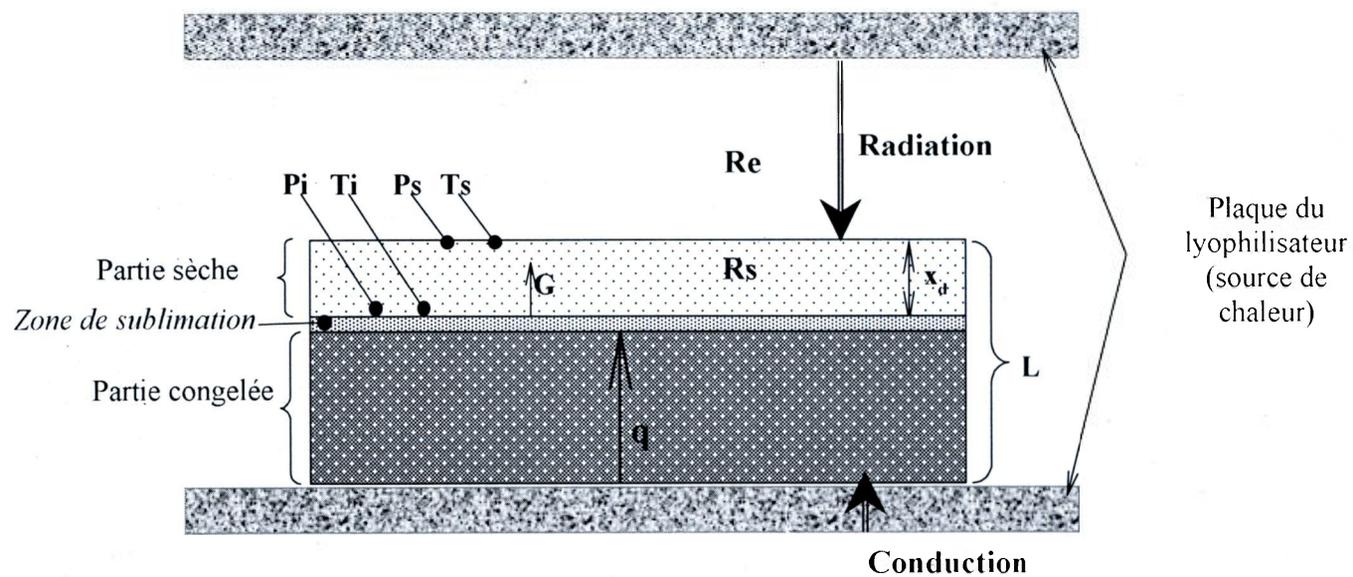


Figure 1-2 : Description du phénomène de transfert au cours de la lyophilisation

c. Désorption

La désorption consiste à extraire l'eau liée ou non congelée du produit (Tableau 1-1), où 10 à 30% de la teneur en eau total du produit est éliminée de façon générale au cours de cette étape de déshydratation secondaire. Théoriquement, elle débute quand il n'y a plus de glace dans le produit. Mais en réalité, la désorption commence au cours de la sublimation avec l'élimination de l'eau non congelée. La vitesse de désorption de l'eau liée de la couche sèche durant la déshydratation primaire est proportionnelle à la température de la couche sèche (Mellor, 1978).

D'autre part, la température et la teneur en eau doivent être surveillées attentivement au cours de cette étape pour éviter un effondrement du produit (Sadikoglu *et coll.*, 1998). Notons qu'au fur et à mesure que la désorption avance, la vitesse d'extraction d'eau est de plus en plus ralentie car la liaison de l'eau avec la matrice solide est de plus en plus forte. La température de la plaque, la pression de la chambre, la taille et la géométrie du contenant ainsi que la température du condenseur sont des facteurs critiques qui déterminent la qualité du produit pendant cette étape. Pour bon nombres de produits pharmaceutiques, il est mieux de lyophiliser à une température relativement haute pour un court temps plutôt qu'à une température basse pour une longue période due à la forte dépendance de la vitesse de désorption de l'eau liée à la température (Pikal *et coll.*, 1990).

La Figure 1-3 présente une superposition de la courbe de séchage ainsi que la température du produit au cours des différentes étapes de la lyophilisation. Durant les premières heures de lyophilisation, la teneur en eau décroît rapidement. Vers la fin de la sublimation où la glace est éliminée, la température du produit augmente de façon marquée pour atteindre un plateau. Ce plateau correspond à une teneur en eau qui s'approche de plus en plus du plateau d'eau résiduelle (équilibre).

1.3. Phénomènes de transfert de chaleur et de matière au cours de la lyophilisation

Dans le cas de la lyophilisation, les mécanismes de transfert de chaleur qui peuvent avoir lieu sont principalement la conduction et la radiation (Figure 1-2) tandis que le transfert de matière se fait principalement par diffusion.

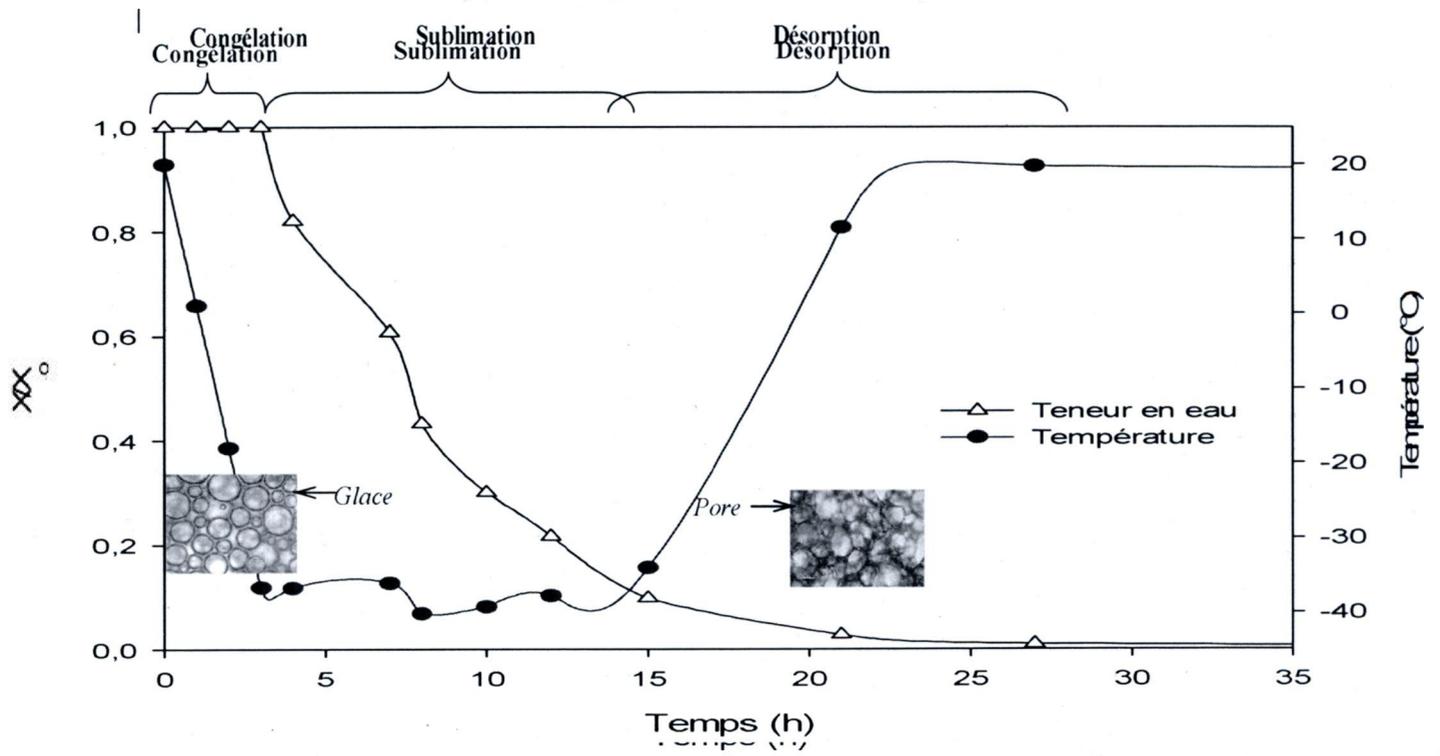


Figure 1-3 : Cycle typique de la lyophilisation

Deux facteurs peuvent pourtant ralentir la vitesse du procédé : les résistances externes et internes au transfert de chaleur et de matière. Les résistances externes sont reliées à l'équipement dont le design ou la capacité de la pompe et l'espacement entre les plaques et aux conditions opératoires. Par contre, un lyophilisateur bien conçu ne devrait pas produire de résistances externes au transfert de matière et de chaleur contrôlant le temps de séchage (Liapis et Bruttini, 1995). En ce qui concerne les résistances internes, elles sont dépendantes du produit.

a. Généralités

Généralement, une diminution de l'épaisseur (l) permet de décroître la résistance aux transferts de matière et de chaleur internes et fait augmenter la vitesse de séchage. La vitesse de déshydratation dépend aussi de la température de la surface du produit (T_s), de la différence de la teneur en eau initiale et finale et de la masse volumique du solide, et peut être représentée par le modèle suivant (Jennings, 1999):

$$\frac{dW}{dt} = A \cdot \rho_s \cdot (X_o - X_f) \frac{dl}{dt} = - \frac{A \cdot k_d \cdot (T_s - T_i)}{\Delta H_s l} \dots \dots \dots (\text{Éq.1.2})$$

Au cours de la lyophilisation, il y a une conversion de la glace en vapeur d'eau par le phénomène de la sublimation et une élimination de l'eau liée par désorption. La chaleur utilisée par le produit pour sublimer la glace doit être en équilibre avec la quantité d'énergie ajoutée. Tant que l'équilibre n'est pas atteint, la température du produit va soit décroître entraînant ainsi une diminution de la vitesse de déshydratation, soit s'accroître pouvant impliquer une perte de la qualité du produit et même l'effondrement de la structure. Cette balance entre échauffement de l'échantillon pour accroître la vitesse de séchage et l'extraction de la vapeur d'eau est définie par l'équation de transfert de chaleur et de masse (Adams, 2007). La conductivité thermique, d'autre part, augmente avec la pression totale montrant une allure sigmoïdale (King, 1970).

b. Déshydratation primaire

Au cours de cette étape, l'interface de sublimation ou front de sublimation commence par la surface du produit et se déplace de plus en plus vers l'intérieur au fur et à mesure que la

lyophilisation avance. Deux phénomènes peuvent causer une dégradation du produit. La température de la surface du produit (T_s) peut devenir trop élevée causant un dommage thermique ou tout simplement un roussissement de la surface. Ainsi, la température de la surface du produit ne devrait pas dépasser la température de roussissement (T_r , 'scorch temperature' en anglais), pour avoir un produit sans dommage thermique. D'autre part, la température du front de sublimation (T_i) doit être gardée inférieure à la température de fusion (T_f). Dans le cas où la température de roussissement qui est atteinte en premier quand la température de la surface augmente ($T_s = T_r$ et $T_i < T_f$), le procédé est considéré comme limité par le transfert de chaleur (Liapis et Bruttini, 1995; Pikal *et coll.*, 1990).

La Figure 1-4 montre les trois possibilités d'évolution de la température de la couche congelée lors cette étape de sublimation. On désigne par T_1 , T_2 et T_3 , l'évolution de la température des produits 1, 2 et 3, respectivement, tandis que les «croix» montrent les points d'inflexion indiquant la fin de la sublimation. Si le point d'inflexion de la température se situe au-dessous de la température de départ (c'est le cas du produit 3), le procédé est considéré comme limité par le transfert de chaleur. Dans ce cas, la conductivité thermique de la couche sèche devrait être augmentée si on veut une augmentation de la vitesse de déshydratation (Eq.1-2), en augmentant la pression totale par exemple.

Par ailleurs, si c'est la température de fusion au niveau du front qui est atteinte en premier lorsque la température du produit augmente durant la sublimation ($T_s < T_r$ et $T_i = T_f$), le procédé est contrôlé par le transfert de matière. En se référant à la Figure 1-4, le point d'inflexion dans ce cas se situe au-dessus de la température de départ ou T_p (par exemple la courbe du produit 1). Dans ce cas, il faudrait diminuer la pression de la chambre pour pouvoir augmenter la vélocité des vapeurs dans les pores afin que le flux total de matière puisse croître (N_t).

Notons que N_t est obtenu à partir de la loi de darcy défini par la formule suivante (Liapis et Bruttini, 1995):

$$N_t = -(C_{vd} + C_{gd}) \left(\frac{k}{\mu_m} \right) \frac{\partial P}{\partial x} \dots\dots\dots (\text{Éq.1.3})$$

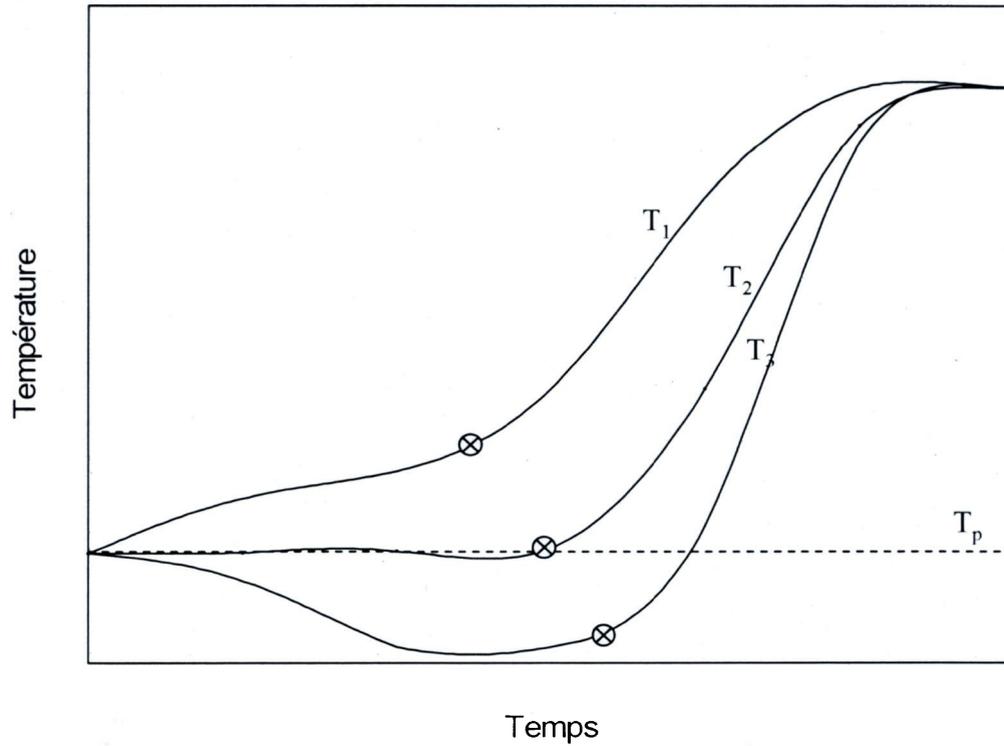


Figure 1-4 : Évolution de la température de la couche congelée de trois produits différents au cours de la lyophilisation montrant le type de facteur limitant

En résumé, une augmentation de la pression fait croître la conductivité thermique de la couche sèche mais décroît le flux de matière. De ce fait, la température du front de sublimation augmente et le gradient de température diminue. Il est par ailleurs erroné de penser que plus on diminue la pression plus la vitesse de séchage va augmenter. Car quand la pression est vraiment basse, la conduction devient négligeable et le transfert de chaleur se fait juste par radiation (Pikal *et coll.*, 1990; Adams, 2007). Nail et ses collaborateurs (2002) ont trouvé que la pression optimale se situe entre 0.25 et 0.35 torr.

c. Déshydratation secondaire

Au cours de cette étape, la vitesse de désorption augmente quand la surface spécifique du produit augmente (Pikal *et coll.*, 1990). Il convient donc d'augmenter la vitesse de congélation pour avoir des petits pores. Cela permet d'avoir une plus grande surface spécifique et d'accroître la vitesse de transfert de matière. Cependant, un tel pore diminue le transfert de matière lors de la déshydratation primaire (Pikal *et coll.*, 1983). Comme la désorption consiste à éliminer l'eau liée du produit, il est considéré que le transfert de matière est le facteur limitant au cours de cette étape (Pikal *et coll.*, 1990).

1.4. Études effectuées sur la lyophilisation des produits alimentaires

L'avantage de la lyophilisation par rapport aux autres procédés de séchage repose sur le fait que les produits sont facilement réhydratés avec un maintien de l'intégrité de la structure et de la qualité nutritionnelle, une meilleure texture, couleur, saveur et odeur (King, 1970; Liapis, 1987). Des chercheurs ont fait une comparaison entre le séchage par atomisation, le tunnel de séchage et la lyophilisation des purées de goyave (Chopda et Barrett, 2001). Ils ont pu conclure que la lyophilisation est le meilleur procédé tant sur le plan nutritionnel qu'organoleptique. Ces qualités du procédé ont été confirmées par diverses expériences sur les pulpes de mangues (Ammu *et coll.*, 1976), les oranges (Kramer, 1988), les bananes (Krokida *et coll.*, 1998), les pommes (Krokida *et coll.*, 1998; Sablani et Rahman, 2002), les bleuets (Meda, 2000) et les fraises (Hammami et René, 1998; Farenzena, 2000; Shishegarha *et coll.*, 2002). Macura (1994) a démontré que la lyophilisation est le meilleur procédé pour la production de tomate concentrée enrichie en vitamine C.

Comme la lyophilisation est un procédé qui s'opère à basse température, cela permet de maintenir entre autres les propriétés biochimiques et immunologiques des produits lyophilisés (Liu *et coll.*, 2008). Par exemple, le procédé permet de garder beaucoup plus l'arôme des pommes par rapport au séchage à air chaud (Krokida et Philippopoulos, 2006). En comparant la lyophilisation avec d'autres procédés de séchage comme le séchage par atomisation, elle donne une meilleure survie des bactéries (Kumar et Mishra, 2004). Le procédé convient donc à des produits thermosensibles et l'absence d'oxygène favorise la conservation des substances nutritionnelles.

Une recherche sur les paramètres de qualité, entre autres la perte en vitamine C, a été entreprise lors de la lyophilisation du fruit acerola à différentes étapes de maturation. Une importante quantité de vitamine C de l'ordre de 87% a été maintenue après la lyophilisation pour les fruits à faible maturation (Marques *et coll.*, 2007). Tandis qu'à une maturation avancée, il y a plus de perte de vitamine C qui est associée à l'instabilité et la sensibilité de la vitamine à la teneur en eau et au pH. Ce procédé permet de préserver hautement les vitamines présentes dans les légumes (George et Datta, 2002). Aussi, les légumes gardent leur couleur, leur texture ainsi que leurs substances volatiles dont la vitamine C par rapport à d'autres procédés de séchage (Nijhuis *et coll.*, 1998). Le passage de l'eau de l'état solide à l'état gazeux sans passer par l'état liquide permet de maintenir la structure initiale du produit. Cependant, la structure peut s'effondrer dans le cas où la température de congélation ou de séchage dépasse celle de la transition vitreuse. Les recherches effectuées sur la lyophilisation des fraises, des pommes et des poires ont pu montrer qu'avec une congélation à une température de -17°C , les fraises et les pommes maintiennent leur structure initiale (porosité 90%) tandis que 65% des poires sont effondrés (Khalloufi et Ratti, 2003). La surveillance de la température non seulement au cours de la déshydratation mais aussi de la congélation est donc une garantie pour la conservation de la morphologie des produits lyophilisés.

Cette structure poreuse des produits lyophilisés favorise la réhydratation telle qu'a été trouvé avec la recherche sur les canneberges par exemple (Beaudry *et coll.*, 2004). Par ailleurs, la faible teneur en eau finale des produits lyophilisés présente des avantages au niveau de la conservation et du transport. Son stockage peut se faire à la température de la pièce sans exigence de réfrigération diminuant ainsi le coût d'énergie. Tandis que son

faible poids facilite la manutention et diminue le coût du transport (Papavasiliou *et coll.*, 2008).

Une revue compréhensive du principe et de la pratique de la lyophilisation est publiée par Nail et Gatlin (1992). La pression et la température de la plaque du lyophilisateur sont considérées comme étant les principaux facteurs affectant la qualité du produit lyophilisé (Hammami *et coll.* 1999). Les études de Hammami et ses collaborateurs (1999) ont été faites sur les tranches de pommes avec une pression optimale de 50Pa et à une température optimale de 55°C. Une autre étude sur la lyophilisation de jus de pomme Royal Gala a montré une valeur similaire de température optimale à 58°C (Raharitsifa, 2003) qui a pu être prédite théoriquement à partir du concept de la transition vitreuse des produits. En ce qui concerne le transfert de chaleur au cours de la lyophilisation, les études effectuées récemment ont montré que la radiation ainsi que la conduction par la plaque sont les seuls phénomènes existants (Kuu *et coll.*, 2006). A une basse pression, c'est la radiation qui prédomine tandis qu'au-delà de 16Pa, c'est plutôt la conduction au dépens de la radiation (Brulls et Rasmuson, 2002).

Malgré l'excellente qualité des produits lyophilisés, le coût du procédé est élevé (Sadikoglu *et coll.*, 1998; Lombrana *et coll.*, 1997) et son application est limitée à des produits de très haute valeur. Ce désavantage est relié directement aux longs temps d'opération causés par la résistance du matériau sec au transfert de chaleur (Kuu *et coll.* 1995; Sagara et Ichiba, 1994), par la configuration de l'échantillon, ses propriétés et les conditions d'opération. De plus, la température du condenseur et le niveau du vide doivent être maintenus à des valeurs très basses tout le long du processus. C'est pourquoi plusieurs recherches ont été effectuées pour réduire le temps du procédé en analysant les différentes possibilités pour contrôler l'intensité de la chaleur et le niveau du vide en vue d'optimiser le procédé (Liapis *et coll.*, 1996; Kuu *et coll.*, 1995; Sagara et Ichiba, 1994). Cependant, dans la plupart des cas, des conditions de procédé trop drastiques ont entraîné une détérioration de la qualité du produit.

Barrett et ses collaborateurs (1997) ont combiné le séchage à micro-onde et la lyophilisation en additionnant des gommages au produit et ont comparé cette combinaison avec la lyophilisation conventionnelle. Ils ont conclu que la combinaison des procédés présente un pouvoir réhydratant et une intégrité structurelle plus élevés que la

lyophilisation seule. Toutefois, la faisabilité de ces procédés à grande échelle reste douteuse et mérite une analyse plus profonde. Litvin et ses collaborateurs (1998), quant à eux, ont essayé de combiner différents procédés de séchage à savoir la lyophilisation, le micro-onde et le séchage à air chaud dans le but d'avoir la même qualité que les produits lyophilisés mais pour un temps plus court afin de diminuer les coûts. Ils ont observé qu'il n'y a pas une grande différence entre les produits obtenus par la combinaison de ces méthodes et ceux lyophilisés.

1.5. La qualité du produit pendant la lyophilisation, le stockage et la réhydratation

La préservation de la plupart des propriétés des matières premières comme la forme, l'apparence, le goût, la couleur, la flaveur, la texture ainsi que les vitamines et les minéraux fait du procédé de lyophilisation l'une des meilleures méthodes pour le séchage. Malheureusement, cette stabilité peut se perdre au cours du stockage. Les paramètres clés pour juger la stabilité du produit autre que le T_g sont présentés dans cette partie à savoir l'isotherme de sorption, la détérioration au cours de la lyophilisation et du stockage ainsi que la réhydratation du produit lyophilisé.

a. Transition vitreuse

Une augmentation de la température au cours de la lyophilisation peut conduire à une dégradation thermique du produit. La transition vitreuse est considérée comme un paramètre de repère à ne pas dépasser pour éviter cette dégradation.

a.1. Définition

La transition vitreuse (T_g) est définie comme étant la zone de température où un produit amorphe passe de l'état vitreux rigide et cassant vers l'état caoutchouteux mou et souple (Roos, 1995). Cette zone présente une chute de la viscosité (Slade et Levine, 1993). En-dessous de la T_g , la viscosité du produit est élevée et il n'y a pratiquement pas de diffusion moléculaire. Le produit est à l'état vitreux et il n'y a pas de changement au niveau de la texture du produit ni une perte d'arôme ou de goût. Le produit garde ses propriétés structurales et organoleptiques. Une fois que la température monte au niveau de la T_g , il y

a des changements de propriétés thermodynamiques se traduisant par un saut de l'enthalpie et de la chaleur spécifique (Perez, 1994). Si on regarde du point de vue macromoléculaire, il y a une apparition de mouvements moléculaires. Dépassant la T_g , l'amplitude et la vitesse de ces mouvements agrandissent. L'augmentation de la flexibilité des macromolécules est accompagnée d'une modification importante du point de vue rhéologique (écoulement, changement de texture). Ainsi, en dépassant la T_g , la viscosité chute et les risques de détérioration de la qualité augmentent. Des revues détaillées de l'application de la T_g sur la stabilité des aliments durant le procédé de séchage et le stockage ont été publiés par Roos (1995), Rahman (1999) et Rahman et Labuza (1999).

a.2. Détermination de la T_g

Plusieurs méthodes existent pour la détermination de la température de transition vitreuse dont la calorimétrie différentielle à balayage (DSC), l'analyse thermique différentielle ou encore analyse mécanique dynamique. Le DSC est la méthode la plus simple et la plus pratique. C'est une technique thermoanalytique dans laquelle la différence de quantité de chaleur requise pour augmenter la température d'un échantillon et d'une référence est mesurée en fonction de la température. La référence doit avoir une capacité de chaleur bien définie sur la plage de température à balayer. Quand l'échantillon subit une transformation thermodynamique comme la transition de vitreuse ou un changement de premier ordre tel que la fusion, il est nécessaire de fournir plus de chaleur à l'échantillon par rapport à celle de la référence pour maintenir les deux à la même température. Par exemple, un échantillon solide qui fusionne en liquide requiert plus de chaleur coulant dans l'échantillon pour accroître sa température à la même vitesse que la référence. Cela est dû à l'absorption de chaleur par l'échantillon comme il subit la transition endothermique de l'état solide vers l'état liquide. En observant la différence du flux de chaleur entre l'échantillon et la référence, le DSC est capable de mesurer la quantité d'énergie absorbée ou dissipée durant une telle transition.

a.3. Facteurs affectant le T_g

La valeur de la température de transition vitreuse dépend fortement du poids moléculaire des composants. Elle est proportionnelle à celui-ci mais présente un plateau après un

certain poids moléculaire (Fox et Flory, 1950). Ceci a été vérifié par exemple sur les maltodextrines (Roos et Karel, 1991). D'autre part, l'addition d'un composant de faible poids moléculaire a pour conséquence de réduire la T_g : effet plastifiant. L'eau joue ce rôle par exemple avec les sucres (Roos et Karel, 1991), l'amidon (Kalichersky et coll., 1992) ou le gluten (Cocero et Kokini, 1991).

La Figure 1-5 montre la température de transition vitreuse en fonction de la teneur en eau des pains de mie (Le Meste *et coll.*, 1996), du lait écrémé (Joupilla et Roos, 1994), du chou (Pääkonen et Plit, 1991), de la pomme lyophilisée (Sà *et coll.*, 1999) et de la viande de bœuf (Riedel, 1961). Tel que montré dans cette Figure 1-5, il y a une forte augmentation de T_g avec une diminution de la teneur en eau quand celle-ci est inférieure à 5%.

L'expression qui explique mieux cette variation de la T_g avec la teneur en eau est celle de Gordon-Taylor (1952) :

$$T_g = \frac{C_s T_{g_s} + z C_w T_{g_w}}{C_s + z C_w} \dots\dots\dots (\text{Éq. 1.4})$$

a.4. Phénomène d'effondrement

L'effondrement, dépendant de la température et de la teneur en eau, est étroitement lié à la T_g . L'effondrement de structure au cours d'une déshydratation correspond à une diminution marquée du volume et de la porosité. Cela implique divers altérations comme une dégradation de l'aspect (Roos, 1995), une perte de composés volatils (Farenzena, 2000) ou une diminution de l'aptitude à la réhydratation (Meda, 2000). Tout comme la T_g , l'effondrement est caractérisé par une diminution de la viscosité. Le changement de viscosité aux environs de la T_g ne suit pas la loi d'Arrhenius mais peut être modélisée par l'expression de William-Landel-Ferry (1955), valable jusqu'à $T_g + 100^\circ\text{C}$:

$$\log \frac{\eta}{\eta_g} = \frac{-C_{1g}(T - T_g)}{C_{2g} + T - T_g} \dots\dots\dots (\text{Éq. 1.5})$$

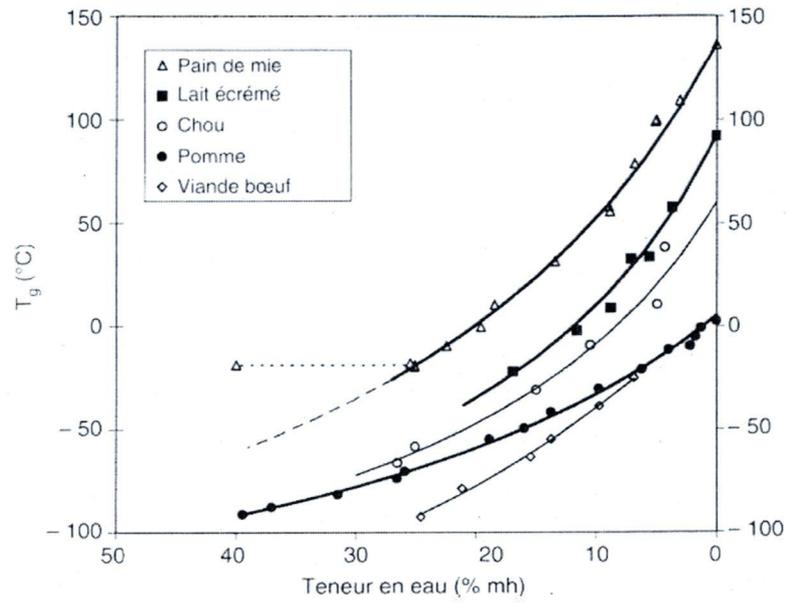


Figure 1-5 : Température de transition vitreuse de diverses denrées alimentaires

(LeMeste *et coll.*, 1996)

a.5. Études récentes sur la transition vitreuse (T_g)

Les études entreprises par différents chercheurs ont pu confirmer la dépendance de la T_g à la teneur en eau en utilisant l'équation (Eq.1-4) de Gordon-Taylor (Sà *et coll.*, 1999; Barra et Matteo, 2000, Khalloufi *et coll.*, 2000). Selon Chen et ses collaborateurs (2002), l'utilisation de l'équation de Gordon-Taylor est le meilleur moyen pour déterminer la T_g d'un mélange. Aussi, en additionnant un constituant ou un mélange ayant un T_g élevé, la T_g de la composition augmente. Ces chercheurs ont combiné l'hydroxyéthyl d'amidon et le tréhalose ayant un T_g élevé pour protéger les cellules mammifères durant la congélation et le séchage. Cette combinaison préserve la membrane de la cellule lors de la formation de l'état vitreux en évitant ainsi une transition de phase ou une cristallisation. L'expérience de Telis et Sobral (2002) sur les tomates lyophilisées confirme l'exactitude de l'équation de Gordon-Taylor. Par contre, ils évoquent que le modèle de Kwei (Eq.1-6) convient le mieux pour des produits ayant une température de transition élevée dont la teneur en eau est inférieure à 40%.

$$T_g = \frac{C_s T_{g_s} + z C_w T_{g_w}}{C_s + z C_w} + q C_s C_w \dots \dots \dots (\text{Éq.1.6})$$

D'autre part, la transition vitreuse a été utilisée comme un critère de qualité (Khalloufi, 2001). Autrement dit, elle est un atout pour la détermination des produits à haut risque d'altération lors de la lyophilisation ou du stockage. Quant à Rizollo et ses collaborateurs (2003), ils ont additionné des sucres dans les jus de bleuets pour augmenter la T_g du produit. Ce traitement permet au jus de fruit d'être lyophilisé à une température plus élevée et de diminuer ainsi le coût de la lyophilisation. Les expériences d'Imamura et ses collaborateurs (2003) sur l'effet d'addition de sucre sur la stabilité des protéines ont confirmé l'étroite relation entre la stabilité structurelle et la T_g . D'autre part, la T_g peut servir également comme indicateur pour le choix de produit à lyophiliser à une température donnée afin d'éviter le phénomène d'effondrement que l'on peut observer au cours de ce procédé (Khalloufi et Ratti, 2003). L'utilisation de la température de transition vitreuse dans cette recherche s'avère essentielle en sachant qu'elle permet d'optimiser la température de la plaque au cours du procédé de lyophilisation (Raharitsifa, 2003).

b. État chimique et physique de l'eau dans le produit lyophilisé :

Isotherme de sorption

L'isotherme de sorption est définie par la quantité d'eau retenue par l'aliment en fonction de l'activité de l'eau à l'équilibre à une température donnée.

b.1. Classification

La Figure 1-6 présente les 3 types d'isotherme de sorption rencontrés fréquemment avec les produits alimentaires. La nature de l'eau dans les aliments avec leur quantité respective pour le cas d'isotherme de sorption de type III, prise comme exemple, est également incluse dans la figure. D'abord pour le type I, à une moindre augmentation de l'activité de l'eau, il y a une hausse très rapide de la teneur en eau du produit. Ce sont des produits très hygroscopiques et présentant de l'énergie de sorption élevée. Les études effectuées par Timmermann et ses collaborateurs (2001) sur les produits alimentaires ont montré que la tomate, le son de maïs, la farine de poisson ou encore le collagène prennent l'allure de ce type.

En ce qui concerne le type II, la plupart des produits alimentaires appartiennent à ce groupe où il y a une certaine quantité d'eau sans être concentré de sels ou de sucres. Les champignons contenant 42% de polysaccharides et 10 % de fibre en base sèche (Bano et Rajarathnam, 1988) appartiennent à ce groupe. Beaucoup d'études ont été effectuées sur l'isotherme de sorption des aliments mais parmi les plus récents, il y a la poudre de blanc d'œuf (Hartley *et coll.*, 1995), le champignon (Khalloufi *et coll.*, 2000), la patate douce (Fasina, 2006), le pois chiche, la graine de lentille et le poivre vert qui appartiennent à ce groupe (Furmaniak *et coll.*, 2007).

Finalement, les sucres et les sels appartiennent au type III. À une faible activité de l'eau, l'eau peut être adsorbée uniquement à la surface du site de fixation -OH des sucres cristallins. La teneur en eau est donc faible dans cette région. La taille des cristaux détermine la quantité d'eau adsorbée. À une haute activité de l'eau, il y a la dissolution des sucres en atteignant la limite de solubilité (Ex : 0.86_{aw} pour le sucrose (Labuza, 2002)). Un accroissement d'eau adsorbée se produit ainsi dû à l'augmentation du nombre de site d'adsorption suite à la dissolution.

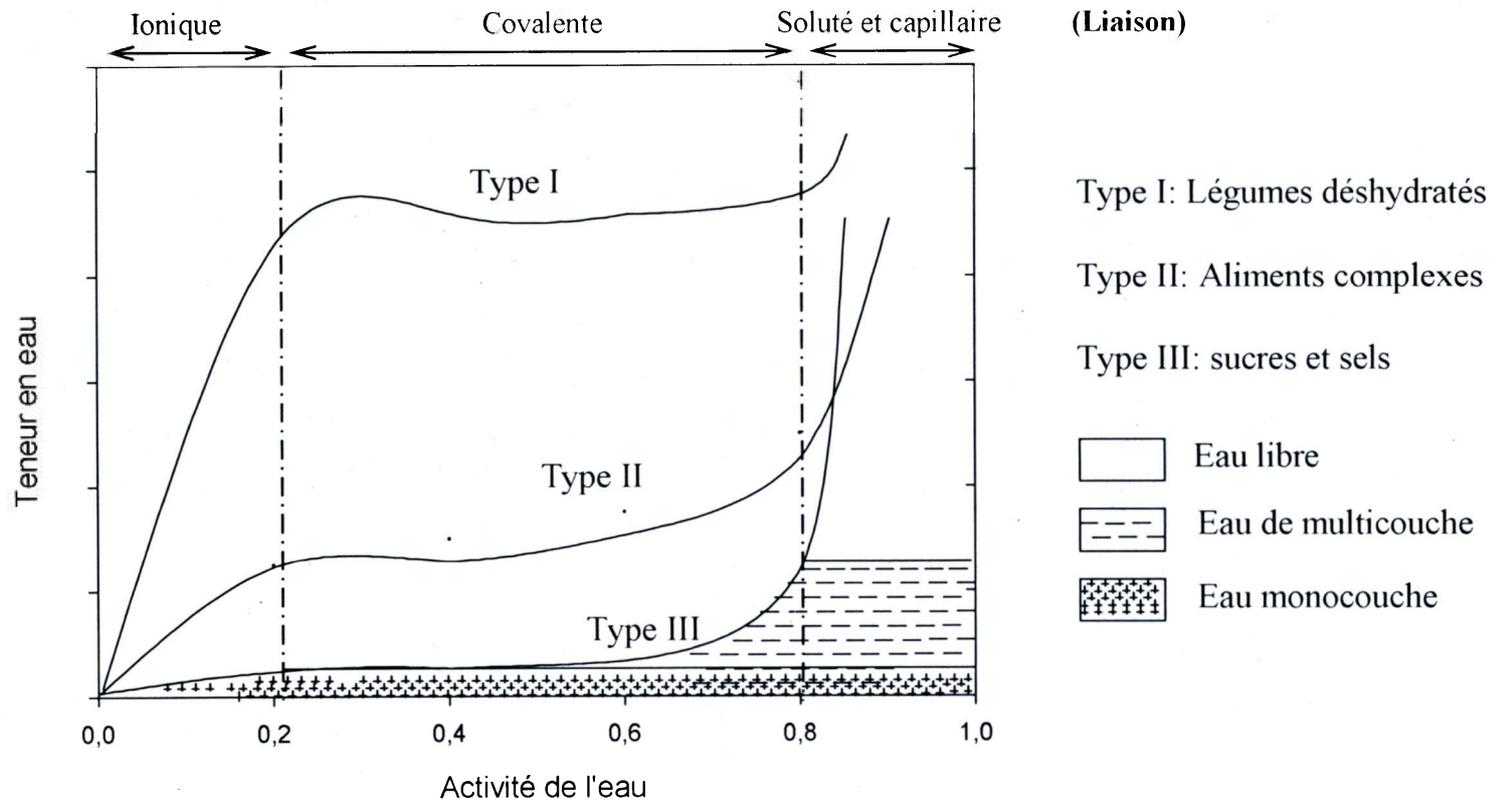


Figure 1-6 : Les différents types d'isothermes d'adsorption et les différents états de l'eau.

L'isotherme de type III est rencontré avec les poudres lyophilisées de banane (Lima et Cal-Vidal, 1983), de papaye (DeGois et Cal-Vidal, 1986), de fraise (Pääkkonen et Mattila, 1991), de mangue (Hubinger *et coll.*, 1992), de bleuets (Lim *et coll.*, 1995), d'ananas (Telis et Sobral, 2002) et les jus de fruit (Righetto and Netto, 2005; Martinelli *et coll.*, 2007). Ce sont des produits présentant une haute teneur en sucre.

b.2. État de l'eau dans les aliments

L'eau est liée dans les aliments de différentes manières dépendamment de la composition chimique ou encore de l'état physico-chimique des ingrédients (degré de dénaturation). Un aperçu de la façon dont l'eau est liée dans les aliments permet de mieux comprendre les effets de la teneur en eau sur la qualité des produits lyophilisés. La liaison de l'eau peut être classifiée en trois formes : eau monocouche, eau de multicouche et eau libre. En prenant l'exemple de la courbe d'isotherme de type III (Figure 1-6), il est possible d'estimer la quantité respective de ces 3 formes dans les aliments. L'eau monocouche est constituée essentiellement de l'eau de constitution qui est incorporée à la macromolécule. Elle est premièrement adsorbée aux sites polaires (NH_3^+ , COO^-), non congelable et fortement liée. Elle se situe à une activité de l'eau inférieure à 0.2. En ce qui concerne l'eau de multicouche, elle est localisée près des sites fortement polaires. Sa liaison avec les molécules voisines est de type hydrogène (eau-eau et eau-soluté). Finalement, l'eau libre est plus ou moins mobile, congelable et se trouve à une activité de l'eau au-delà de 0.8. Elle exerce la pression de vapeur d'eau à une température donnée et est responsable des réactions de dégradation des aliments.

c. Détérioration au cours de la lyophilisation et du stockage

Une augmentation de la température au cours de la lyophilisation permet d'accroître le gradient de température entre celle du produit et de la chambre et accélère ainsi le procédé de déshydratation. Cependant, cette augmentation de température peut avoir des impacts négatifs sur la qualité du produit aussi bien durant le procédé que tout au long du stockage. Durant le procédé, si la température du produit dépasse celle de transition vitreuse pour une teneur en eau donnée, il y a une diminution de la viscosité et une augmentation de la mobilité moléculaire. Ceux-ci pourront engendrer à leur tour un risque élevé de

détérioration et une diminution des qualités nutritionnelles (vitamines et minéraux) et des qualités organoleptiques (couleur et texture) pouvant aboutir à un effondrement du produit (Khalloufi *et coll.*, 2000). Il peut arriver que la température n'affecte pas la couleur ou la texture du produit durant la lyophilisation. Par contre, la structure poreuse du produit est affaissée. Dans le cas des fraises par exemple, la température de lyophilisation inférieure à 50 °C offre de meilleure qualité qu'à 70°C, même si la couleur et le volume du produit ne sont pas affectés durant le procédé avec cette dernière (Farenzena, 2000). Plusieurs paramètres peuvent être considérés pour juger l'efficacité du procédé et du stockage mais seulement les plus pertinents seront présentés.

Les réactions de dégradations thermiques du produit au cours de la lyophilisation dépendent de la durée de l'opération de déshydratation et de la température. L'effondrement se manifeste comme un affaissement de la structure et se produit à un intervalle de température relativement restreinte mais dépassant la T_g . La plus faible température à laquelle le phénomène est noté est appelée la température d'effondrement (Pikal *et coll.*, 1990). D'autre part, ce phénomène peut également arriver au cours du stockage dans le cas où la teneur en eau résiduelle du produit ainsi que sa température sont relativement élevés. La température de stockage des produits lyophilisés doit donc être inférieure à la T_g du produit pour maintenir sa structure rigide ainsi que sa stabilité.

Une autre détérioration qui peut arriver au cours de la lyophilisation est liée à la fusion eutectique, qui se passe dans la zone congelée du produit où un large volume de liquide est généré sans changement de température. Dans ce cas-ci, la lyophilisation se fait comme un séchage par évaporation sous-vide car une partie du produit n'est plus congelé.

c.1. Vitamine C

Un paramètre de référence pour indiquer la qualité nutritionnelle d'un produit séché est la teneur en acide ascorbique. C'est une substance à faible stabilité, sensible à la variation de température, à la teneur en eau, à l'oxygène et à la lumière causant une oxydation irréversible (Kogan et Garti, 2006; Johnston et Hale, 2005). La teneur en acide ascorbique du produit final est un indice d'évaluation sur la perte en éléments nutritifs des produits déshydratés (Lin *et coll.*, 1998). Plusieurs recherches ont été effectuées pour comparer les différents procédés de séchage en ce qui concerne le maintien de la vitamine C des produits

alimentaires. Les résultats montrent souvent la supériorité de la lyophilisation (Asami *et coll.*, 2003). La faible perte en vitamine C des produits lyophilisés est surtout attribuée à la basse température et l'utilisation du vide durant le procédé. Les études entreprises récemment sur les carottes ont attestés ces faits montrant la rétention en vitamine C plus élevée avec la lyophilisation que la déshydratation à air chaud (Yen *et coll.*, 2008). Une recherche a révélé qu'un procédé entrepris à une pression inférieure à 0.1mbar évite l'oxydation par l'air (Silva, 2005). Par ailleurs, Uddin *et coll.* (2002) ont pu observer que la perte de vitamine C des fruits au cours du procédé de lyophilisation varie suivant son état de maturation. Les fruits non mûrs présentent une plus grande perte due à l'instabilité et la sensibilité de l'acide ascorbique face à la teneur en eau qui varie suivant la maturation. Antérieurement, Lee et Labuza (1975) ont déjà remarqué un accroissement de la vitesse de dégradation de vitamine C à une teneur en eau élevée, probablement à cause de la réduction de la viscosité.

c.2. Couleur

La couleur est un facteur clé pour l'appréciation d'un produit. Une pomme subissant le brunissement diminue l'attrance à consommer le fruit. Les classes majeures de pigments responsables de la coloration des aliments sont les chlorophylles, les caroténoïdes, les anthocyanines, les bétalaïnes et les composants phénoliques. Les chercheurs ont remarqués que jamais une même plante renferme à la fois les anthocyanines et les bétalaïnes (Stafford, 1994; Steglich et Strack, 1990). La stabilité des pigments dans les aliments est influencée par plusieurs facteurs. Cela peut être en fonction de la présence ou de l'absence d'oxygène, de lumière, de substance oxydant ou réductrice, de l'activité de l'eau ou encore de la température. Le changement de couleur peut se faire soit au cours du procédé ou du stockage. Les procédés mécaniques par exemple peuvent engendrer une activation des enzymes conduisant à un brunissement ou tout simplement une décoloration. Les effets négatifs d'une température ou d'une humidité relative relativement élevée interviennent au cours de la déshydratation (Labuza et Baisier, 1992). Par contre, lors de la lyophilisation, comme le procédé se fait sous-vide, à basse température et généralement à faible activité de l'eau, cela permet de préserver les pigments et d'éviter la décoloration.

En ce qui concerne les réactions de brunissement non-enzymatiques, elles peuvent intervenir même en absence d'oxygène. Le brunissement non-enzymatique ou réaction de Maillard consiste à une réaction entre le groupement carbonyle du sucre réducteur avec le groupement amine libre des acides aminés. Cela arrive quand les aliments sont chauffés ou encore stockés (Mauron, 1981) et c'est un facteur important de brunissement des poudres de jus de fruits. Ce brunissement trouve son maximum à une activité de l'eau qui se situe entre 0.6 et 0.7. À une faible activité de l'eau (<0.6), il y a moins d'eau pour diffuser les composés réactifs tandis qu'à une forte activité de l'eau (>0.7), il y a une dilution des composés (Labuza et Baisier, 1992). Des fois, cette réaction peut être bénéfique comme dans le cas du pain donnant des couleurs brunes. Sinon, l'effet de la réaction est indésirable au niveau de la couleur des aliments et peut même entraîner une détérioration de la saveur et de solubilité (Simatos *et coll.*, 1974). Les sucres (disaccharides par exemple) permettent d'augmenter la viscosité du produit et diminuent ainsi la mobilité des pigments (Stintzing et Carle, 2004). Récemment, le tréhalose et le maltodextrine sont utilisés comme stabilisant de couleur d'un extrait lyophilisé de roselle. La poudre en question est utilisée comme colorant de jus alimentaire (Duangmal *et coll.*, 2008).

d. Réhydratation

La réhydratation est considérée comme étant la reconstitution ou le remplacement de l'eau perdue lors de la déshydratation. Les traitements effectués sur le produit avant la réhydratation peuvent apporter un changement de sa structure, une réduction des propriétés hydrophiles ou encore une perte d'intégrité cellulaire (Krokida et Maroulis, 2001). La capacité de réhydratation peut être considérée comme une mesure du dommage du produit causé par un procédé de séchage (Krokida et Marinos-Kouris, 2003). Jayaraman et collaborateurs (1990) ont pu observer une rupture cellulaire et une dislocation irréversible résultant à une perte d'intégrité au cours d'un procédé de séchage de tournesol. Cela se manifeste par un effondrement de la structure du produit avec une réduction des propriétés hydrophiles où il y a l'inhabilité d'imbiber suffisamment d'eau pour réhydrater pleinement. Dans le cas des poudres, le procédé de réhydratation peut être appelé dissolution comptant de quatre parties principales: (a) humidification, (b) submersion, (c) dispersion et (d) dissolution (Hogekamp et Schubert, 2003).

Les produits lyophilisés maintiennent leur forme et leur dimension avec leur matrice poreuse. Ces propriétés favorisent la réhydratation du produit. En ce qui concerne la capacité de réhydratation, elle peut être généralement affectée par la température de l'eau de réhydratation, la nature de la solution réhydratante ou encore la vitesse d'agitation dans le cas d'une poudre. Tout porte à croire qu'une augmentation de la température favorise la réhydratation car elle augmente l'élasticité des cellules végétales ainsi que le coefficient de diffusion de l'eau dans la matrice solide. Cependant, une élévation de la température du milieu de réhydratation peut endommager la structure du produit. C'est le cas des tissus de Brocoli (Femenia *et coll.*, 2000) où une température élevée dégrade les substances pectiques du produit et diminue sa capacité de réhydratation. Il en est de même pour les études effectuées par Meda et collaborateurs (2000) sur les fraises lyophilisées. En effet, une augmentation de la température abaisse le coefficient de réhydratation. Cela peut être relié à la fermeture des pores due à une élévation de la température du produit en dessus de la T_g . Par ailleurs, des études effectuées sur les bananes lyophilisées (Cosio, 1997) ou les fraises lyophilisées (Hammami et René, 1998) ont montré que la capacité de réhydratation des produits déshydratés peut être indépendante de ces paramètres à un certain intervalle. En ce qui concerne la réhydratation fait dans une solution de sucre ou de sel, la quantité d'eau réhydratée dépend de la concentration de la solution. En effet, une étude effectuée sur la réhydratation des cubes de pommes avec du sirop de sucre montre que la quantité d'eau absorbée par le produit diminue avec l'augmentation de la concentration du sirop (Mastrocola *et coll.*, 1998).

1.6. Études sur la modélisation de la lyophilisation

a. Modélisation du procédé de lyophilisation

Les expériences effectuées au laboratoire pour trouver les conditions optimales d'un produit donné au cours d'un procédé sont laborieuses, lentes et chères. Cela peut être remédié en faisant de la modélisation du procédé à différentes conditions. La modélisation permet de prédire par exemple la courbe de lyophilisation ainsi que la température du produit afin d'optimiser, de contrôler ou d'extrapoler le procédé à différentes conditions. Des travaux extensifs ont été faits pour étudier les phénomènes de transport durant la congélation et la sublimation (MacKenzie, 1974; Pikal, 1985; Pikal *et coll.*, 1990). Des recherches ont été entreprises en utilisant un modèle mathématique pour représenter soit le transport de vapeur d'eau dans la région poreuse (Millman *et coll.*, 1985), soit la sublimation dans un vial (Velardi et Burrese, 2008). Liapis, Bruttini et Sadikoglu (1994, 1995, 1997) ont décrit le comportement dynamique de la sublimation et de la désorption des solutés pharmaceutiques en utilisant l'équation de Darcy pour obtenir la vitesse de convection du gaz dans la région poreuse. Des simulations mathématiques au cours de la lyophilisation ont été entreprises au fil des années (Nastaj, 1991; George et Datta, 2002; Khalloufi *et coll.*, 2005). En ce qui concerne le calcul de la quantité d'eau éliminée et la quantité d'eau résiduelle, un modèle mathématique a été développé par Boss et collaborateurs (2004) basé sur les équations de la balance d'énergie et de matière. La description du changement des produits alimentaires durant l'étape de sublimation et/ou de la désorption a été étudiée par plusieurs chercheurs (Sadikoglu et Liapis, 1997; Wang et Shi, 1997; Wu *et coll.*, 2004; Tao *et coll.*, 2005; Velardi et Barresi, 2008). La plupart des modèles précédents simulent les données expérimentales de lyophilisation avec justesse, cependant, ils nécessitent des paramètres de design et des propriétés des produits très difficiles à déterminer en pratique (Khalloufi *et coll.*, 2005; Liapis *et coll.*, 1996).

Le réseau de neurones artificiels a été utilisé par différents chercheurs pour substituer la modélisation mathématique conventionnelle. Il permet de modéliser, d'optimiser et contrôler des procédés complexes (Concalves *et coll.*, 2005). Des chercheurs l'ont utilisé pour modéliser les procédés de séchage conventionnel à l'air chaud (Tomczak et Kaminski, 2001; Lertworasirikul et Tipsuwan, 2008) et pour décrire le comportement de différents

produits alimentaires au cours du séchage à l'exemple du cassava et de la mangue (Hernandez-Perez *et coll.*, 2004), des carottes (Kerdpi boon *et coll.*, 2006) ou du ginseng (Martynenko et Yang, 2006).

b. Réseau de neurones artificiels

Le réseau de neurones artificiel est un modèle mathématique basé sur le principe du neurone biologique. C'est un algorithme où les informations sont accumulées en des objets programmés qui sont capables d'apprendre à travers plusieurs itérations utilisant des données réelles ou simulées. Il peut modéliser des relations complexes non-linéaires entre les variables d'entrées et celles des sorties (Gardson, 1998).

b.1. Principes du réseau de neurones

La structure d'un neurone biologique est composée de 3 parties : les dendrites unis avec le corps cellulaire, l'axone et les synapses (Figure 1-7). L'information arrive au niveau des dendrites, stockée par le corps cellulaire, conduite le long de l'axone et transmise vers d'autres neurones par l'intermédiaire du neurotransmetteur au niveau des synapses. Les synapses s'adaptent en fonction des activations reçues et ajustent leur fonctionnement en conséquence. Analogiquement, les réseaux de neurones artificiels possèdent les mêmes principes. Ils sont formés par une série de neurones interconnectées et composés de nœuds, de connexions et de poids. La rétropropagation à multicouche est le type de réseau le plus utilisé où les neurones sont arrangés en couche d'entrée, couche cachée et couche de sortie (Figure 1-8). Chaque neurone dans la couche d'entrée est associé avec une variable indépendante (température de plaque, pression totale, épaisseur du produit et temps pourraient être comptés parmi les variables indépendantes dans le cas de la lyophilisation). Chaque neurone dans la couche cachée effectue une sommation et un transfert utilisant une fonction sigmoïdale, tangente hyperbolique ou linéaire. La forme générale est comme suit :

$$f(x_j) = \frac{1}{1 + e^{-x_j}} \dots \dots \dots (\text{Éq. 1.7})$$

où x_j est l'entrée nette et j le nombre de nœuds.

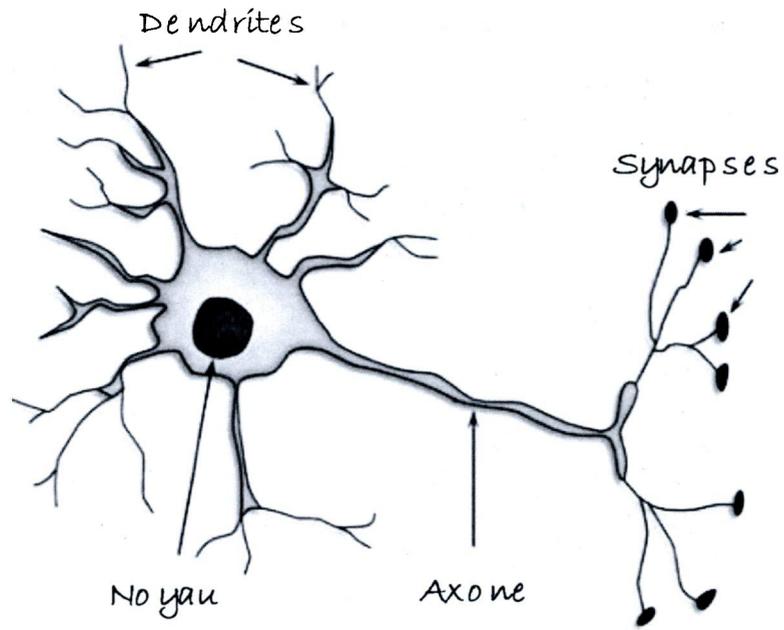


Figure 1-7 : Un neurone biologique

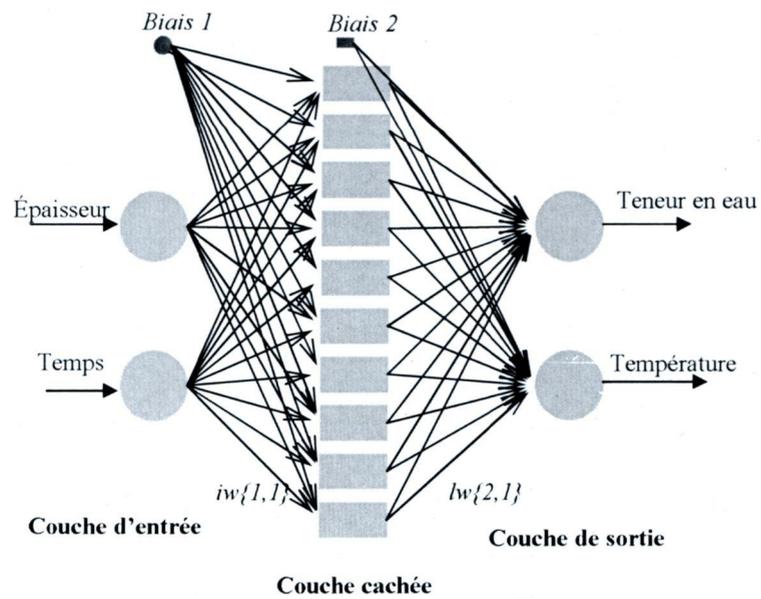


Figure 1-8 : Représentation schématique d'un réseau de neurones artificiels

Les neurones de la couche de sortie sont les valeurs données des variables dépendantes (teneur en eau et température du produit dans le cas de la lyophilisation). Entre les différentes couches, il y a les connexions et les poids. Les poids sont des coefficients du modèle qui commencent par des valeurs initiales générées au hasard et estimées ensuite par des procédures itératives. L'objectif fondamental de l'apprentissage est la classification, l'approximation de fonction ou la prévision (Liao, 2002). Il existe plusieurs types de règles d'apprentissage mais elles peuvent être regroupées en 3 catégories (Hassoun, 1995): apprentissage supervisé, non supervisé et renforcé. Le type d'apprentissage le plus commun est l'apprentissage supervisé où à chaque signal d'entrée est associé une réponse spécifique désirée. La mise à jour du poids est effectuée de manière itérative jusqu'à ce que l'erreur soit minimale. Il y a plusieurs fonctions d'entraînement mais celle de Levenberg-Marquardt est parmi les plus efficaces (Garcia-Gimeno *et coll.*, 2002).

b.2. Avantages du réseau de neurones

Il a été montré au cours de plusieurs recherches dans différents domaines et sur différents produits que les réseaux de neurones artificiels sont plus fiables et plus efficaces que les méthodes de modélisation conventionnelles (Dormier *et coll.*, 1995; Datta et Tassour, 1998; Razavi *et coll.*, 2003). Son utilisation dans le procédé de microfiltration du lait par exemple pour modéliser les transferts de matières (Grandison *et coll.*, 2000) montre que (1) le procédé peut être simulé avec exactitude, (2) la durée du calcul est réduite pour plusieurs unités de membranes et (3) les réseaux de neurones artificiels sont faciles à utiliser.

Beaucoup d'applications de réseau de neurones artificiels ont été entreprises dans le but d'optimiser des procédés ou faire des prédictions comme la prédiction du temps de congélation des produits alimentaires (Mittal et Zhang, 2002), la prédiction de la conductivité thermique des aliments en fonction de la teneur en eau, de la température et de la porosité (Sablani et Rahman, 2003), l'optimisation des procédés de traitement à haute pression des aliments (Torrecilla *et coll.*, 2005) ou la prédiction de changement des propriétés physiques des carottes séchées (Kerdpi boon *et coll.*, 2006). Aucune étude n'a été faite à notre connaissance sur l'application du réseau de neurones artificiels pour optimiser ou prédire la courbe de lyophilisation ou la température des produits alimentaires au cours du procédé.

1.7. Prétraitements avant le séchage

Généralement, le prétraitement est une action portée sur le produit précédant sa transformation et qui a pour but soit d'améliorer le produit en gardant ses propriétés bénéfiques et/ou d'améliorer (i.e. accélérer) le procédé. Certaines opérations de prétraitement déjà utilisées avant le séchage seront présentées.

a. Diminution de la teneur en eau initiale

L'abaissement de la teneur en eau initiale a pour avantage de raccourcir la durée d'un procédé coûteux comme la lyophilisation.

a.1. Déshydratation osmotique

La déshydratation osmotique est considérée comme un des prétraitements qui améliore la lyophilisation. Elle consiste à placer les produits à sécher dans une solution concentrée ayant une plus haute pression osmotique. L'eau sort ainsi du produit vers la solution tandis que le soluté (sucre ou sel) entre dans le produit. Plusieurs facteurs peuvent influencer la vitesse de l'osmose dont la concentration de la solution, la température, la surface spécifique ou le rapport solution/aliment (Lerici *et coll.*, 1985; Torreggiani et Bertolo, 2001). Dépendamment des produits, la déshydratation osmotique peut enlever jusqu'à 50% du poids initial, tel que démontré avec des pommes, par exemple, en utilisant du sucre ou du sirop dans la solution hypertonique (Farkas et Lazar, 1969; Yang *et coll.*, 1987). Le procédé rend les produits plus flexibles et moins denses (Kim et Toledo, 1987)

La déshydratation osmotique coûte beaucoup moins cher que la lyophilisation. Un abaissement de la quantité d'eau à lyophiliser par la déshydratation osmotique comme prétraitement diminue le coût de la lyophilisation. L'application de l'étape osmotique peut apporter plusieurs avantages additionnels comme une amélioration dans la stabilité de la vitamine C (avec tomates : Dermesonlouoglou *et coll.*, 2007) ou le maintien de la saveur (Krokida *et coll.*, 2001). La déshydratation osmotique joue un rôle cryoprotecteur des cellules pour des procédés requérant la congélation comme la lyophilisation (Torreggiani et Bertolo, 2001). Un excès de sucre peut conduire à un collage (Yang *et coll.*, 1987).

a.2. Addition de sucre

L'addition de sucre est une méthode développée ces dernières années pour améliorer la rétention d'arôme lors de la déshydratation. Le sucrose ou le tréhalose par exemple ont la faculté de former un état vitreux qui présente une haute viscosité et faible mobilité (Crowe *et coll.*, 1996). Cela conduit à un accroissement de la stabilité du produit. Le tréhalose présente une température de transition vitreuse élevée par rapport aux autres sucres (MacDonald et Johari, 2000). Cela prévient la perte des petits esters volatiles hydrophobes lors du séchage ou du stockage (Komes *et coll.*, 2007). Les substances volatiles sont encapsulées dans la matrice vitreuse et de faible mobilité. Une étude sur l'addition de tréhalose à la purée de poire a permis de révéler que ce sucre possède une plus grande capacité de réhydratation que le sucrose et joue un rôle lyoprotecteur (Colaco et Roser, 1994; Komes *et coll.*, 2007).

a.3. Pré-concentration

La pré-concentration est définie comme l'enlèvement de l'eau dans un aliment avant de le soumettre au procédé de séchage. L'eau peut être éliminée par évaporation, sous forme liquide par osmose inverse, ou sous-forme solide par cryoconcentration (Kessler, 1986). Dans le cas d'une pré-concentration précédant la lyophilisation, la cryo-concentration est la plus appropriée dans le sens que le prétraitement se fait aussi à basse température (Barbosa-Canovas et Vega-Mercado, 1996).

b. Modification de la matrice du produit

La modification de la matrice du produit consiste entre autre à la rendre poreuse ce qui pourra permettre d'augmenter la diffusivité de l'eau. Plusieurs recherches ont été effectuées sur le sujet pour accélérer les procédés de séchage et/ou améliorer la qualité sensorielle et nutritive des produits. Deux des plus importants traitements réalisés au cours de ces dernières années seront présentés.

b.1. Détente instantanée contrôlée

Le procédé de détente instantanée contrôlée (DIC) a été expérimenté pour la première fois dans les années 90. Le principe est similaire à celui du procédé d'expansion (puffing process) qui consiste à porter le produit à une haute température et une haute pression avant de le décompresser en abaissant la pression à celle de la pression atmosphérique (Sullivan et Craig, 1984).

Dans ce prétraitement, un produit qui se trouve initialement à la température de la pièce et à pression atmosphérique, est porté à une pression de 0.1bar durant environ 2s. À ce niveau, la structure du produit est encore dure. Il est donc nécessaire de porter le produit à une température élevée de l'ordre de 150°C avec une pression de 5bar pour le rendre viscoélastique (Louka *et coll.*, 2004). La durée de cette étape varie de 15s à 45s dépendamment du produit dans le but d'avoir un optimum d'expansion. Dans le cas où cela dure trop longtemps, il y a un risque d'effondrement de la structure et cela peut même aller jusqu'à la liquéfaction du produit (Louka et Allaf, 2002; Louka *et coll.*, 2004). Cela est suivi par l'étape la plus intense qui est la décompression vers le vide (Pression : 0.1bar) instantanée à une vitesse supérieure à 5bar/s. Cette vitesse garantit la réussite du procédé avec un maintien de la couleur et de la forme du produit qui est gonflée (Iguedjtal *et coll.*, 2008). La température du produit est descendue de 150°C à 10°C et l'étape dure environ 7 à 8s. Finalement, il y a l'étape d'injection d'air atmosphérique et de porter le produit à la température initiale de 20°C qui va durer 2 ou 3s.

Ce procédé convient aux produits thermosensibles avec un traitement thermique qui ne dure que quelques secondes (Kamal *et coll.*, 2008). Une application du procédé est la décaféinisation du café. La structure gonflée rend la caféine plus accessible et facilite ainsi son extraction (Brunner, 2005; Kamal *et coll.*, 2008). Par ailleurs, la matrice poreuse permet d'accélérer le transfert de la matière (Louka *et coll.*, 2004). Le procédé a été combiné avec le séchage à air chaud et a permis non seulement de diminuer le temps de séchage mais d'avoir des fruits et des légumes de qualité texturale nettement améliorée (Iguedjtal *et coll.*, 2008). Son application pour le procédé de lyophilisation peut être envisageable dont le plus grand avantage réside sur le court temps de traitement.

b.2.Séchage en tapis de mousse

Les études sur le séchage des mousses ont commencé dans les années 60 (Morgan *et coll.*, 1961; Hart *et coll.*, 1963). C'était une des méthodes appliquées pour sécher les jus de fruits. Son application s'est élargie au lait entier (Labelle, 1966). Les études menées par Hertzendorf et Moshy (1970) sur le séchage à l'air chaud des mousses montrent une diminution du temps de séchage même avec l'utilisation d'une plus faible température par rapport au séchage conventionnel.

Deux critères sont nécessaires pour mener à bien le procédé de séchage en tapis de mousse. D'une part, la stabilité des mousses lors de leur fabrication est essentielle pour éviter un drainage qui ralentira le procédé (Vernon-Carter *et coll.*, 2001). D'autre part, une structure ouverte des pores permet d'augmenter la diffusion lors du séchage (Sankat et Castaigne, 2004; Grabowski *et coll.*, 2006). Le moussage augmente le volume du produit liquide et apporte ainsi un changement au niveau de sa structure physique en la rendant plus poreuse.

Des recherches ont été effectuées durant les dernières décennies sur le séchage à air chaud des mousses de différents produits comme la mangue (Cooke *et coll.*, 1976; Rajkumar *et coll.*, 2005), les œufs (Muhammad *et coll.*, 1988); le lait de soya (Akintoye et Oguntunde, 1991) ou encore la banane (Sankat et Castaigne, 2004; Thuwapanichayanan *et coll.*, 2008). Il a été constaté que la vitesse de déshydratation des mousses est plus rapide dès le début du séchage. Comme elles sont moins denses et plus poreuses, ces propriétés facilitent l'évacuation de l'eau du produit à la fois par diffusion et par capillarité (Sankat et Castaigne, 2004). Généralement, lors de la lyophilisation, au fur et à mesure que le séchage avance, la teneur en eau diminue et la diffusion devient de plus en plus difficile avec une diminution de la diffusivité. Le produit devient plus dense et l'espace pour évacuer l'eau se rétrécit. Cependant, les recherches effectuées par Sankat et Castaigne (2004) sur les mousses de bananes séchées à l'air chaud ont permis de révéler un résultat intéressant. La vitesse de séchage des mousses de banane est deux fois plus rapide que celle des purées de banane pour éliminer 35% de la teneur en eau initiale. D'autre part, pour éliminer 93.5% de l'eau initiale, la vitesse de séchage des bananes avec moussage sont quatre fois plus rapides que celles sans moussage. Cela peut être expliqué par une diminution de la résistance au transfert de matière dans une matrice plus poreuse chez les mousses (Sankat et Castaigne, 2004; Rajkumar *et coll.*, 2005). D'autres chercheurs ont constaté le même phénomène avec

les mousses de mangue (Cooke *et coll.*, 1976). Quand l'eau se déplace d'un endroit à un autre à l'intérieure d'un corps humide, le phénomène de capillarité peut jouer aussi un rôle dans cette accélération.

D'autres facteurs plus universels qui peuvent influencer également la vitesse de séchage des mousses sont l'épaisseur ainsi que la température du procédé. Plus l'épaisseur augmente, plus le temps de séchage augmente. Une élévation de la température entraîne une diminution du temps de séchage. Dans le cas de la purée de banane, une augmentation de la température durant le séchage conventionnel a engendré un durcissement du produit dû à sa teneur en sucre élevée avec une diminution de la vitesse de séchage (Thuwapanichayanan *et coll.*, 2008). Cependant, lorsque la purée de banane était moussée, ce désavantage n'a pas été constaté. Sankat et Balkissoon (1994) ont trouvé le même résultat pour les fruits étoiles ou carambola.

Bref, le moussage des jus ou des purées avant le procédé de séchage à air chaud permet de diminuer le temps de séchage et d'obtenir un produit de meilleure qualité. Des poudres de tomate, de pomme, de raisin d'orange ou d'ananas d'excellente qualité sont obtenues à partir de ce procédé (Grabowski *et coll.*, 2006). Toutefois, aucune recherche n'a été effectuée pour étudier de plus près son application à la lyophilisation où le procédé coûte cher et une diminution du temps de séchage serait fortement appréciable.

Les chercheurs ont aussi remarqué que la grande surface interfaciale (air-liquide) occupée par la phase dispersée (bulle) impliquait des tensions qui rendent les mousses instables. Labelle (1966) a fait une étude pour caractériser les mousses dans le but de mieux maîtriser leur instabilité. L'étude a été portée sur la relation entre l'instabilité de la mousse et la vitesse de croissance des bulles, la viscosité de la phase continue ainsi que la vitesse de drainage. Cette étude sur la caractérisation des mousses a été poursuivie sur différents procédés de séchage des mousses à l'exemple du séchage à air chaud ou à microonde (Brygidyr *et coll.*, 1977). Selon Karim et Wai (1999), deux dangers peuvent se présenter au cours du séchage des mousses, la synérèse et l'effondrement. La synérèse résulte de la séparation du liquide sur la couche interfaciale. Elle conduit à la diminution de l'épaisseur de la couche et peut résulter éventuellement à un effondrement. La faible concentration d'agent moussant est l'une des causes majeures de la synérèse due à la diminution de la

viscosité facilitant ainsi la brisure de la surface interfaciale. La température peut également diminuer la viscosité et entraîne donc la synérèse à une certaine valeur. Par ailleurs, l'effondrement peut être dû à l'accroissement de la taille des bulles (Labelle, 1966).

Les études qui ont été entreprises jusqu'ici sont surtout orientées dans le but de trouver une meilleure stabilité des mousses en comparant différents agents moussants ou en additionnant d'autres produits susceptibles d'améliorer cette stabilité. Cependant, le contrôle de la taille des bulles peut aussi être un facteur déterminant en ce qui concerne l'accélération du procédé de séchage. Comme la conductivité thermique des mousses est proportionnelle à la densité (Cilliers et coll, 1999) et la densité est inversement proportionnelle au carré du diamètre des bulles (Bikerman, 1973), donc, plus les bulles sont grandes, plus la conductivité thermique est petite ce qui a un impact sur le transfert de chaleur.

Une action capillaire le long des interstices et une évaporation dans les bulles suivie d'une diffusion à travers la paroi favorisent le séchage à air chaud (Karim et Wai, 1999). De plus, l'eau de la phase liquide se déplace plus facilement à travers la structure de la mousse séchée qu'à travers une couche sèche d'un produit compact sans moussage. Les études effectuées par différents chercheurs ont montré que la vitesse de séchage des mousses augmente rapidement dans les dix premières minutes suivie d'une chute (Diamante et Monro, 1991; Magee et Wilkinson, 1992) à partir de laquelle la température des mousses augmente progressivement.

2. Mousses

2.1 Définition

Les mousses peuvent se définir comme étant une dispersion de bulles de gaz dans un liquide ou semi-liquide contenant un (ou des) surfactant(s) soluble(s). Les bulles de gaz sont séparées par des lamelles liquides constituant la phase continue (Figure 1-9). Constituée majoritairement d'eau, la phase continue est hydrophile tandis que les bulles de gaz qui sont dispersées dans la phase continue sont hydrophobes. La taille des bulles varie de 50µm à quelques millimètres (Morrison et Ross, 2002). Lors de la formation d'une mousse, les bulles sont mobiles et tendent à se rapprocher entre elles ayant chacun 12 voisins. Elles ont la forme de dodécaèdre (12 côtés). A l'équilibre, l'aire totale des bulles d'une mousse doit être minimale pour un volume total fixé.

2.2. Formation et stabilisation des mousses

Les agents moussants favorisent la formation des bulles tandis que les agents stabilisants atténuent la tension interfaciale en vue de rendre les mousses plus stables. Les protéines et les polysaccharides peuvent jouer le rôle d'agents moussants et d'agents stabilisants. L'application des agents pour mousser des aliments a été révisée par Murray (2007).

a. Rôle des protéines

Les protéines agissent au niveau de l'interface liquide/gaz. Elles se déroulent, se concentrent et s'étalent tout au long des parois des bulles pour diminuer la tension à l'interface air-eau entre les bulles et la lamelle liquide. Elles forment un film protecteur élastique présentant une partie hydrophobe qui se lie avec les bulles de gaz et une partie hydrophile en relation avec la lamelle liquide. Des recherches ont montré que les molécules *flexibles* pauvres en structures secondaires et tertiaires agissent efficacement comme agents moussants (Galazka *et coll.*, 1999).

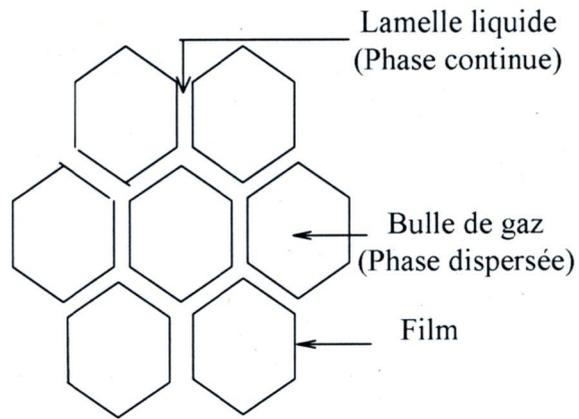


Figure 1-9 : Structure d'une mousse

Par contre, la stabilité des mousses par les protéines exige des caractéristiques protéiques différentes. Ce sont les protéines globulaires de poids moléculaire élevé et résistantes au déplissage en surface qui conviennent mieux comme agents stabilisants car le film formé doit être épais, viscoélastique, imperméable à l'air et constitué de chaînes latérales polaires (Vernon-Carter et coll, 2001). L'ovalbumine, constituant majeur et important du blanc d'œuf est flexible, s'adsorbant facilement au niveau de l'interface. Par contre, le lysozyme, un autre constituant du blanc d'œuf, est plus rigide, son adsorption prend plus de temps mais il favorise la stabilité (Lechevalier *et coll.*, 2005). Les protéines globulaires, comme la glycine, présentant une structure rigide, peuvent être traités thermiquement permettant d'avoir une interaction rapide et une augmentation de la stabilité. Le fouettement permet également de perdre la structure secondaire des protéines les rendant ainsi plus flexibles (Croguennec *et coll.*, 2007).

b. Rôle des polysaccharides

Les polysaccharides sont naturellement hydrophiles et de ce fait peu tensio-actifs. Des modifications chimiques visant l'ajout de courts groupes hydrophobes peuvent modifier leur comportement. Les polysaccharides augmentent la viscosité de la phase continue. Cela permet une stabilité de la mousse tout en évitant une augmentation de la taille des bulles. Il y a une multitude de polysaccharides qui ont été utilisés par différents chercheurs pour jouer le rôle de stabilisant et d'agent moussant comme la pectine, la gomme de xanthane, le méthylcellulose ou l'alginate (Genovese et Lozano, 2001; Vikelouda et Kiosseoglou, 2004). Le choix est fonction du produit que l'on veut mousser.

Quelques articles récents mentionnent leur utilisation pour l'obtention des mousses comme celui de Baeza et collaborateurs (2004) sur propylène glycol d'alginate ou encore celui de Arboleya et Wilde sur le méthylcellulose (2005). Ces études ont suggérés que lorsque ces polysaccharides sont suffisamment hydrophobes, leur comportement commence à ressembler à celui des protéines.

Une étude sur la stabilité et sur la densité des mousses de purée de fruit étoile a été entreprise en utilisant le méthylcellulose (méthocel) comme agent moussant et stabilisant (Karim et Wai, 1999). Ces chercheurs ont rapporté qu'une très faible concentration de méthocel conduit à une très fine épaisseur à l'interface et une possibilité d'effondrement du

produit. Par contre, une augmentation de la concentration en méthocel implique une augmentation de la stabilité de la mousse due à l'augmentation de la viscosité de la phase continue. Généralement, les polysaccharides agissent au niveau de la phase continue en augmentant leur viscosité pour ralentir le drainage.

c. Méthode de formation des mousses

Il y a deux méthodes classiques pour former les mousses : soit par injection de gaz dans la phase continue, aqueuse, le bullage ou tout simplement en la fouettant en présence d'agent moussant. Le flux d'air lors du bullage, réglable au moyen d'un débitmètre, assure l'homogénéité des bulles permettant ainsi une formation reproductible de la mousse. Par contre, le fouettage se fait par force mécanique. Il constitue la méthode la plus utilisée pour les produits alimentaires car la dispersion de la taille des bulles est plus uniforme (Lorient *et coll.*, 1988). L'incorporation d'un agent moussant favorise la formation des bulles. D'autres méthodes sont utilisées pour former les mousses mais à des utilisations plus spécifiques à l'exemple du pain ou de la bière où l'aération est due à la production de CO₂ par les levures (Brown et Hammond, 2003).

2.3. Structure des mousses

Généralement, deux sortes de structures de mousses sont facilement reconnaissables. Initialement, lors de la préparation, la mousse est de structure *sphérique* (Figure 1-10a).

Les bulles sphériques sont séparées par de mince film de liquide visqueux. Les mousses peuvent être considérées comme une dispersion temporaire de bulles dans un liquide. Avec le temps, la structure change graduellement pour devenir des cellules polyédriques séparées par des couches minces (Figure 1-10b). Les points de jonctions des interconnexions sont communément appelés *bord de Plateau*. Lors du drainage, la pression est plus faible et le film est plus mince au niveau du bord de Plateau due à sa courbature (Figure 1-11).

Alors, il y a un effet de succion capillaire du liquide du centre vers la périphérie du film. La différence de pression (Δp) aux alentours des cellules est reliée au rayon du courbature (r) du bord de Plateau par

$$\Delta p = 2\gamma/r \dots\dots\dots (\text{Éq.1.11})$$

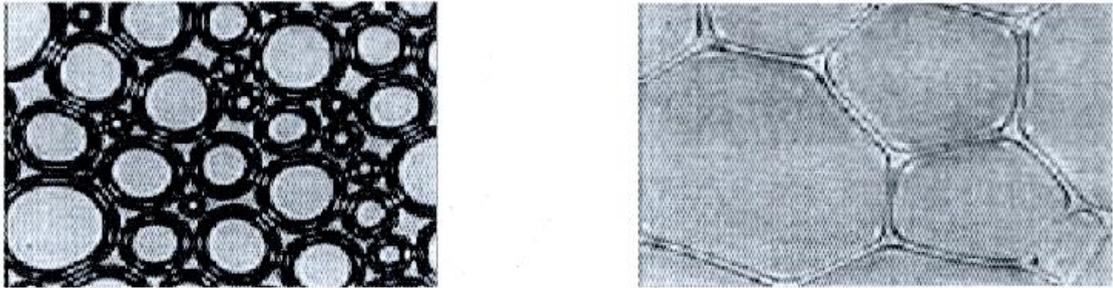


Figure 1-10 : (a) Structure sphérique et (b) structure polyédrique des mousses

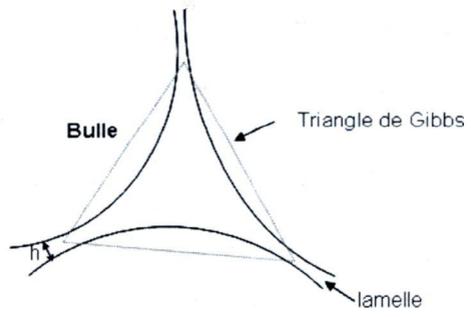


Figure 1-11 : Bord de plateau

2.4. Propriétés des mousses

Les mousses ont plusieurs propriétés intéressantes qui les rendent utiles dans beaucoup d'applications industrielles. Pour utiliser efficacement les mousses, il est important d'avoir un certain contrôle sur leur stabilité. La compréhension de ces mécanismes est donc désirable.

a. Stabilité thermodynamique

Une mousse composée de gaz insoluble dans un liquide pur est thermodynamiquement instable. Pour assurer la stabilité thermodynamique de la mousse, les composants qui agissent comme stabilisants doivent avoir une certaine propriété spécifique. Leur activité de surface, définie comme étant la capacité à diminuer la tension de surface du solvant, est d'une grande importance pour assurer la stabilité.

La perte d'énergie libre se traduit par l'habilité du soluté à maintenir une stabilité au niveau de la surface tandis que le vieillissement est dû à l'effet de la gravité, la diffusion de gaz ainsi que la viscosité de la phase continue. Dans le cas où la perte d'énergie libre est plus importante que le gain qui se traduit par le transfert du soluté de la surface vers la phase liquide dû au vieillissement de la mousse, la coalescence n'a pas lieu et la mousse est thermodynamiquement stable.

b. Instabilité des mousses

La manifestation la plus commune de l'instabilité (Morrison et Ross, 2002) est le drainage, causé initialement par la force de gravité. Comme la phase liquide est plus dense que le gaz, il y a, par force gravitationnelle, un écoulement du liquide. Éventuellement, les bulles deviennent polyédriques et la différence de pression dans le film mince peut l'amincir encore plus en conduisant à sa rupture. Cependant, la force résultant de l'effet Gibbs-Marangoni (paragraphe c) peut restaurer ou prévenir cet amincissement. La gravité est donc la principale force conductrice du drainage et peut être opposée par le gradient de tension de surface le long de l'interface eau-air. Par ailleurs, les mousses deviennent sèches en surface si elles sont exposées longtemps à l'air sans protection. Cela entraîne une perte d'élasticité du film entourant les bulles. Ainsi, dès que les bulles subissent une force

quelconque, cela entraîne leur fusion et une diminution du site d'interaction entre les agents stabilisants et la lamelle liquide (Dickinson et Rodriguez, 1999).

c. Effet de Gibbs-Marangoni

Le phénomène est identifié pour la première fois par le physicien James Thomson en 1855 mais l'effet est décrit par Marangoni et Gibbs. La Figure 1-12 montre une représentation graphique de deux bulles de taille et de pression différente ainsi que l'effet de Gibbs-Marangoni dû à la différence de pression entre la lamelle et le bord. Quand deux bulles se rapprochent, les liquides qui se trouvent dans la région de la lamelle se drainent vers le bord à cause de la différence de pression. La concentration en surfactant à la surface des bulles au niveau du bord est plus grande que celle au niveau de la lamelle à cause de l'effet d'entraînement. À cause de l'existence de tension interfaciale au niveau de la surface des bulles, les surfactants se déplacent de la région de faible tension de surface vers la région de haute tension de surface où le film (lamelle) est plus mince. Cela engendre un mouvement opposé du liquide qui ne se draine pas vers la direction opposée au liquide drainé (effet Marangoni). Une augmentation de l'épaisseur de la lamelle implique un éloignement des bulles. Ce mécanisme est de ce fait un autostabilisant (Pugh, 1996). Cependant, il ne fonctionne plus une fois que la situation est en équilibre. Autrement dit, une fois que les agents tensio-actifs sont tous répartis sur la surface des gouttelettes, l'effet de Gibbs-Marangoni n'aura plus lieu. Son efficacité dépend de l'élasticité du film entre les deux gouttelettes (Morrison, 2002).

d. Diffusion de gaz

L'instabilité des mousses peut aussi être causée par le phénomène de diffusion des gaz. La Figure 1-12 illustre ce phénomène. En présence d'une différence de pression entre deux bulles, il y a un transfert de gaz partant de la petite bulle (bulle 2) ayant une grande pression vers la grosse bulle (bulle 1, à petite pression). La pression à l'intérieur des bulles est inversement proportionnelle au rayon, tel que définie par :

$$P_1 = P_{ext.} + \frac{2\sigma_s}{R_1} \dots \dots \dots (\text{Éq. 1.12})$$

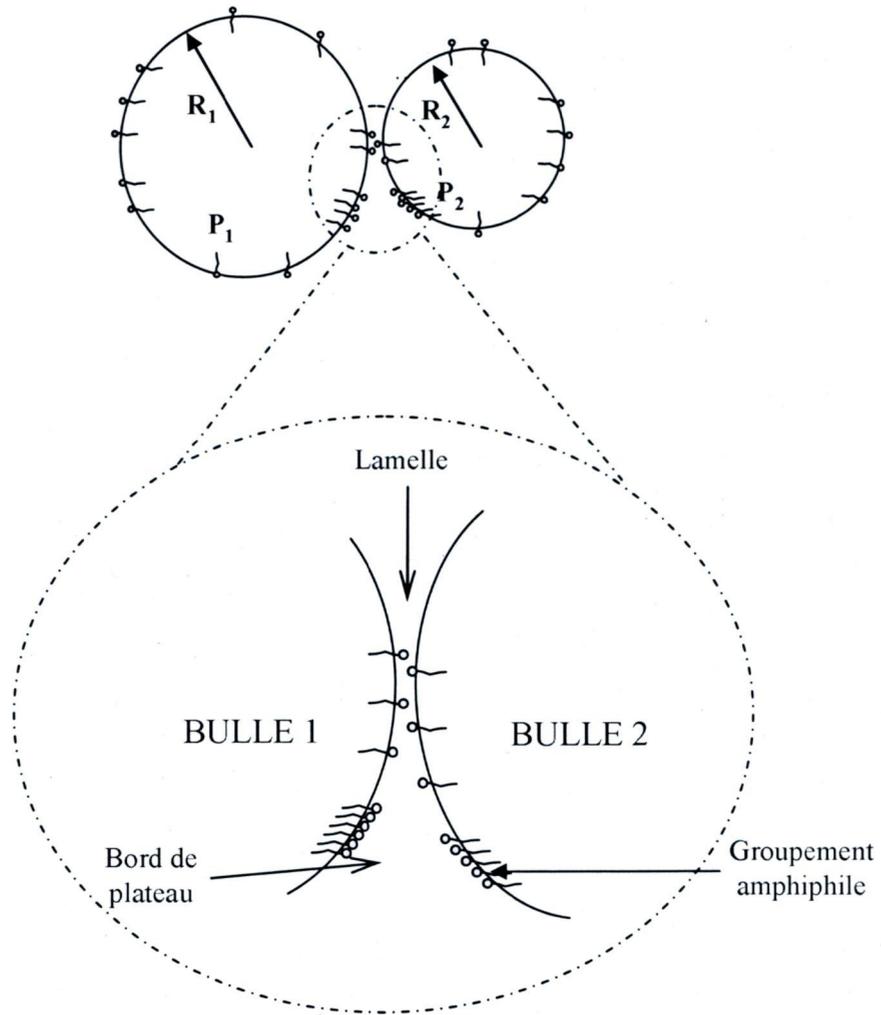


Figure 1-12 : Diffusion de gaz ($P_2 > P_1$) de la bulle 2 vers la bulle 1 et effet de Gibbs-Marangoni

Le transfert de gaz se fait par diffusion à travers le film, conduisant ultérieurement à une disparition des petites bulles au dépend des grosses bulles. Plus la différence de pression est grande, plus le transfert est rapide. Ce phénomène est connu sous le nom de maturation d'Ostwald, sa force motrice est la pression de Laplace. D'autre part, la diffusion de gaz augmente grandement quand la solubilité du gaz dans le milieu liquide s'accroît. Ainsi, les mousses faites avec injection de gaz carbonique sont moins stables que celles avec de l'azote (Bhakta et Ruckenstein, 1997).

Labaffi et ses collaborateurs (2007) ont décrit une méthode pour le suivi de la taille des bulles donnant ainsi une information sur la formation et la stabilité des mousses. Beaucoup d'études ont été effectuées ces dernières années sur la stabilité des mousses mais elles sont peu détaillées notamment sur le phénomène de la diffusion des gaz. Ettelaie et ses collaborateurs (2003) ont fait une étude sur une paire de bulle isolée et ont montré que la plus petite ou la plus grosse bulle peut croître ou rétrécir dépendamment de la taille relative des bulles, leur séparation et l'élasticité de l'interface. Cette étude a été poursuivie par Jang *et coll.* (2006) et ils ont observé qu'il y a également un échange de gaz entre les différentes couches où le gaz passe de la région basse vers la surface. De telles études permettent de mieux comprendre les effets de la redistribution des gaz au niveau des mousses. Murray et collaborateurs (2006) ont développé une méthode qui permet d'évaluer la coalescence par application d'une chute de pression. En réduisant la pression de 101.3 à 49.65 kPa, la surface relative des bulles augmente de 1.6. Les résultats présentent une belle corrélation avec les mesures sur la stabilité des mousses dans les mêmes conditions mais la détermination se fait à un temps plus rapide.

e. Viscosité de la phase continue et de la surface

La vitesse de drainage des mousses peut diminuer en augmentant la viscosité de la phase continue. Cela peut se faire en ajoutant du polysaccharide par exemple dans la phase liquide. Le drainage est ralenti et la largeur de la lamelle se stabilise relativement au alentour de $1\mu\text{m}$ (Vikelouda et Kiosseoglou, 2004). Une autre alternative pour diminuer le drainage est l'augmentation de la viscosité de la surface. Habituellement, cela se fait par addition de protéines adsorbées à l'interface air-eau. De ce fait, il diminue la tension interfaciale et retarde la coalescence en formant des membranes protectrices.

2.5. Évaluation des propriétés moussantes

La **capacité** moussante et la **stabilité** sont les deux principales caractéristiques des mousses. La capacité moussante est définie comme étant la potentialité de la phase continue à inclure de l'air. Elle peut être évaluée par le foisonnement (Eq.1-8) et/ou le pouvoir moussant (Eq.1-9).

$$\% \text{ foisonnement} = \frac{V_f - V_i}{V_i} \times 100 \dots\dots\dots (\text{Éq.1.8})$$

$$\text{Pouvoir moussant} = \frac{V_{\text{gaz}}}{V_{\text{liquide}}} \times 100 \dots\dots\dots (\text{Éq.1.9})$$

La stabilité des mousses est définie comme étant la capacité à maintenir les bulles en évitant le drainage. Elle peut être déterminée par la mesure du volume de liquide drainé (Kim et Kinsella, 1995) ou par l'indice de stabilité qui est défini par:

$$\text{Indice de stabilité} = \frac{V_i \times \Delta t}{\Delta V} \dots\dots\dots (\text{Éq.1.10})$$

où ΔV est le changement de volume par drainage après un temps Δt (Vernon-Carter *et coll.*, 2001).

Par ailleurs, il a été présenté dans des études antérieures (Labelle, 1966; Labaffi *et coll.*, 2007) que plus la taille des bulles augmente, plus les mousses deviennent instables. La mesure de la taille des bulles est donc une autre façon de signaler l'état de stabilité des mousses.

2.6. Interfaces

Tel que mentionné auparavant, les mousses sont thermodynamiquement instables. Elles sont constituées de grand volume de gaz dispersé dans la phase continue. Le gaz peut rester comme une fine dispersion pour un certain temps avant de passer à la coalescence ou ultimement à la séparation de phases. Le temps de stabilité dépend fortement des caractéristiques de l'interface séparant la phase dispersée à la phase continue. La compréhension des interactions au niveau de l'interface est complexe et laisse bon nombres de phénomènes inexpliqués (Aveyard *et coll.*, 2003). Dû au grand volume de la phase dispersée, les mousses présentent une grande surface interfaciale entre les bulles de gaz et

le liquide. Or, la force d'attraction du liquide est différente de celle des bulles créant ainsi une tension entre les deux phases que l'on appelle tension interfaciale. Ce fait rend les mousses instables. Si l'on regarde ce qui se passe au niveau des molécules, on peut décrire les phénomènes par différentes interactions ou forces intermoléculaires. La différence de pression ΔP aux alentours des bulles est le résultat de la pression de succion au niveau de l'arête de Plateau et de la pression de disjonction dans le film :

$$\Delta P = \frac{2\sigma_s}{r} - \Pi \dots\dots\dots (\text{Éq.1.13})$$

Au niveau de l'interface liquide-gaz (Figure 1-13), il y a une tension de surface due à la différence de pression entre la bulle et le milieu externe. En ce qui concerne la vitesse d'augmentation de la taille des bulles, elle est inversement proportionnelle à la viscosité de la phase continue telle que décrite par l'équation de Stokes :

$$V = \frac{g \cdot \rho_l \cdot d^2}{18 \cdot \mu} \dots\dots\dots (\text{Éq.1.14})$$

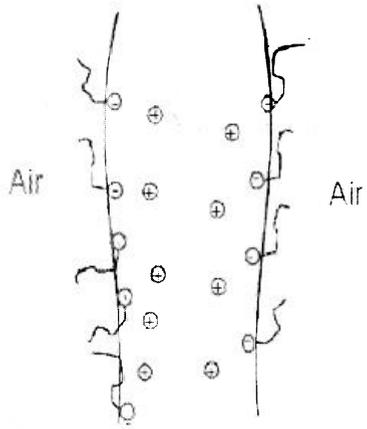


Figure 1-13 : Interface gaz-liquide

2.7. Rhéologie des mousses

a. Comportement rhéologique des mousses

La rhéologie des mousses est assez complexe car contrairement aux liquides, les mousses ont deux phases : liquide et gaz. Elles ont un comportement viscoélastique et non-newtonien (Durian, 1995) ce qui confère encore plus de difficulté à leur étude rhéologique (Steffe, 1996). Dans certains cas simples, les propriétés rhéologiques des mousses peuvent être décrites par le modèle de Herschel-Bulkley (Denkov *et coll.*, 2005):

$$\tau = \tau_0 + k_v \cdot \dot{\gamma}^n \dots\dots\dots (\text{Éq.1.15})$$

Quand $n=1$, il s'agit d'un comportement de Bingham. Une autre caractéristique qui permet de connaître le comportement rhéologique des mousses est le rapport entre le module visqueux et le module élastique (Steffe, 1996):

$$\text{tg} \delta = \frac{G''}{G'} \dots\dots\dots (\text{Éq.1.16})$$

où $\text{tg} \delta$ est égale à zéro pour un comportement élastique idéal.

L'étude de la rhéologie des mousses est importante pour comprendre leur stabilité. Plusieurs chercheurs estiment que non seulement le module élastique (test dynamique) est important pour la stabilité des mousses mais le seuil de contrainte (test transitoire) également (Izmailova *et coll.*, 1999; Wilde, 2000). La rhéologie de cisaillement est particulièrement sensible au changement de force de l'interaction moléculaire à l'intérieur des films (Ridout *et coll.*, 2004), et peut même aider à prédire la stabilité à long terme des mousses (Martin *et coll.*, 2002).

Wang et Narsimhan (2006) ont montré l'importance de la géométrie du bord de Plateau et de la rhéologie non-Newtonien pour le drainage des mousses stabilisées par des protéines et/ou polysaccharides. L'étude sur l'établissement d'une relation entre la rhéologie du film protéique et la stabilité des mousses par Xu et ses collaborateurs (2003) révèle que plus le film est élastique, plus la mousse est stable.

b. Mesures rhéologiques des mousses

En ce qui concerne la géométrie, une géométrie spéciale aux mousses, telle que la géométrie des vannes, est la plus appropriée (Pernell *et coll.*, 2000). Cependant, la géométrie Couette et celle de plaque-plaque en analyse oscillatoire sont aussi convenables. L'utilisation de papier sablé collé aux plaques s'avère nécessaire pour éviter un glissement de l'échantillon lors de l'analyse (Khan *et coll.*, 1988). Au cours de la mesure rhéologique, il est essentiel de minimiser le drainage ainsi que le changement de structure afin que les résultats reflètent la réalité et soient reproductibles (Vernon-Carter *et coll.*, 2001). Il est également important de déterminer la zone de viscoélasticité linéaire. Cette zone correspond à une proportion directe entre la déformation et la contrainte.

Narsimhan (1991) a établi les équations de drainage des mousses en utilisant un état quasi-stationnaire pour simuler le phénomène. Sinon, les études effectuées sur la modélisation des mousses portent essentiellement sur la structure et les propriétés mécaniques des réseaux colloïdaux (Ettelaie, 2003), adsorption compétitive (Pugnaloni *et coll.*, 2004), diffusion des gaz et dispersion des bulles (Murray, 2007).

c. Rhéologie de l'interface

La rhéologie interfaciale définit la relation entre la contrainte, la déformation et la vitesse de cisaillement au niveau de l'interface en terme de module élastique (G') et visqueux (G''). La mesure peut se faire soit par cisaillement soit par dilatation. Cependant, la méthode par cisaillement a été trouvée plus sensible aux interactions intermoléculaires (Freer *et coll.*, 2005). La détermination de G' et G'' se fait à l'intérieure de la zone de viscoélasticité linéaire (Rao, 1999).

L'interaction des macromolécules adsorbées à l'interface engendre un film fortement élastique mesuré par G' . Le comportement élastique à l'interface air-eau est donc un paramètre clé pour la stabilité des mousses car il mesure la capacité des couches à résister à une déformation (Stubenrauch et Rippner, 2006). Selon certains chercheurs, G' est relié à la stabilité des mousses tandis que G'' est plutôt relié à la capacité moussante (Maldonado-Valderama *et coll.*, 2008).

2.8. Problématique, hypothèses et objectifs

a. Problématique

L'un des procédés de séchage les plus répandus dans le domaine pharmaceutique et des nutraceutiques est la lyophilisation, une technique de conservation basée sur le séchage sous vide d'un produit congelé. Le plus grand avantage de ce procédé est l'excellente qualité du produit fini ainsi qu'une durée de vie élevée (Genin and René, 1995). Ces qualités sont dues à l'absence d'eau liquide pendant le procédé ainsi qu'à l'utilisation de basse température. La lyophilisation permet donc d'obtenir des composés bioactifs en poudre (molécules actives, probiotiques, prébiotiques, extraits de plantes,...) de haute qualité et de longue conservation.

La qualité des produits secs est tributaire des conditions du procédé. En effet, l'évolution des températures à l'intérieur du produit pendant le procédé ainsi que le temps d'exposition à ces températures déterminent les modifications biochimiques et physico-chimiques se traduisant par une détérioration de la qualité. Cela conduit, en principe, à privilégier les séchoirs à basse température ou à temps de séjour réduit. La maximisation de la qualité des produits lyophilisés nécessite des conditions d'opération douces qui, en provoquant des temps de procédé longs, rendent le coût énergétique de l'opération extrêmement dispendieux. Une augmentation de la température de lyophilisation au-delà des limites thermiques appropriées pour chaque produit aurait des effets néfastes sur leur qualité et pourrait même conduire à un effondrement de la matrice du produit durant le procédé. D'autres techniques de déshydratation moins coûteuses, tel que le séchage à l'air chaud, endommagent les attributs du produit fini par l'utilisation de températures d'opération plus élevées, dévalorisant ainsi les produits à haute valeur ajoutée (Ratti, 2001).

Le séchage en tapis de mousse (séchage par moussage) est un procédé développé depuis de nombreuses années où les systèmes liquides et semi-liquides sont fouettés pour former des

mousses stables, subséquentement déshydratées à l'air chaud. Cette approche a été appliquée avec succès à des jus de fruits (Hertzenndorf et Moshy, 1970; Karim et Wai, 1999; Vernon-Carter et al., 2001), aux œufs (Satyanarayana Rao et Murali, 1989) et à la pâte de tomate (Lovrić et al., 1970). Les avantages de ce procédé sont l'utilisation de basses températures, le court temps de séjour et les coûts énergétiques réduits. Ces avantages sont apparemment dus à l'augmentation de la surface d'échange qui favorise le transfert de matière (Brygidyr et al., 1977) par l'incorporation d'air ou de gaz dans le liquide, ce qui accélère la vitesse avec laquelle se produit la perte d'eau. Par contre, ce procédé a le désavantage de produire des mousses de faible stabilité et d'entraîner, par la présence d'air, un effet isolant face au transfert de chaleur (Hertzenndorf et Moshy, 1970).

Malgré son potentiel, le moussage des produits alimentaires liquides avant la lyophilisation n'a pas fait l'objet de recherches intensives à l'exception de rares applications (Nussinovitch et Gershon, 1997; Glenn et Irving, 1995). Cependant, les possibilités d'obtenir un produit de qualité, comparable à la lyophilisation conventionnelle, en temps réduit sont extrêmement prometteuses. D'une part, la lyophilisation opérant à des niveaux de vide modérés serait contrôlée par le transfert de matière. Cela éviterait le problème lié à l'effet isolant de l'air dépendamment de la microstructure des mousses formées. Dans le cas d'un pore ouvert, le transfert de matière se fait plus facilement. D'autre part, les agents moussants ayant des propriétés chimiques spécifiques et une haute température de transition vitreuse joueraient un rôle important sur la structure des milieux à lyophiliser, en formant un réseau plus solide qui préviendrait l'effondrement de la matrice («collapse»), un problème de qualité couramment rencontré en lyophilisation (Ratti, 2001). Le succès de l'application du concept de lyophilisation par moussage dépendra aussi bien de la réduction du temps d'opération par l'optimisation des variables impliquées, que de la capacité de préserver la qualité finale du produit comparativement à celle obtenue par lyophilisation conventionnelle.

L'instabilité est une caractéristique inhérente aux mousses. Le drainage de la phase continue et l'agrandissement permanent du volume des bulles sont parmi les mécanismes qui contribuent le plus à la déstabilisation de ce type de système (Dickinson et Stainsby,

1987). Des surfactants de faible poids moléculaire et des biopolymères de haut poids moléculaires solubles dans l'eau ont été suggérés pour contourner les inconvénients reliés au manque de structure des mousses et de contrôler ainsi leur texture et leur stabilité (Dickinson et Pawlowsky, 1996). La procédure utilisée pour former les mousses pourrait aussi avoir une influence sur la microstructure en permettant la formation d'un réseau interne plus stable. Ainsi, l'obtention des mousses par addition d'agent moussant (Vernon-Carter et al., 2001) à des conditions d'opération diverses, pourrait être envisagée pour contrôler la dimension des bulles d'air et le réseautage interne. La formation des pores ouverts durant le moussage est sûrement souhaitable afin de faciliter le séchage postérieur des mousses. Le problème de la stabilité des mousses est, en plus, étroitement relié au comportement rhéologique (Romero-Tehuitzil et al., 1999). Ainsi, bien qu'elles soient constituées uniquement de fluides, les mousses se comportent comme des solides viscoélastiques. Lorsqu'on les soumet à des contraintes élevées, elles s'écoulent comme des fluides non-newtoniens. La solidification qui intervient lors du retour vers le régime semi-solide suite à une mise en écoulement transitoire est accompagnée d'une relaxation très lente du module viscoélastique qui rappelle les dynamiques « vitreuses » observées dans beaucoup de systèmes désordonnés. L'influence que la rhéologie des mousses aurait dans des traitements postérieurs, tel que le séchage ou la lyophilisation, n'est pas encore élucidée. Cependant, une meilleure maîtrise du comportement rhéologique complexe des mousses pourrait certainement aider au choix et à l'optimisation de la méthode de moussage la plus appropriée pour obtenir une stabilité désirée et de mieux contrôler la qualité des produits pendant le procédé.

Les contraintes les plus importantes lors de la lyophilisation pour optimiser l'utilisation de l'énergie sont d'une part la difficulté de définir la qualité du produit en termes quantitatifs mais aussi le manque de modèles appropriés pour faire une description réaliste des phénomènes. Le moussage des suspensions avant la lyophilisation générera une microstructure particulière (pores, capillaires, etc.), changeant grandement la cinétique de perte d'eau pendant le procédé. L'analyse exhaustive des mécanismes de transferts de chaleur et de matière pendant la lyophilisation des mousses conjointement avec la

modélisation mathématique du nouveau procédé, sont donc des aspects primordiaux à développer pour faciliter des calculs d'optimisation.

Une étude approfondie des paramètres incluant la transition vitreuse des produits et l'effet de la composition et du comportement rhéologique des mousses, permettrait la compréhension et la quantification des phénomènes qui serviront à mieux contrôler la stabilité des mousses ainsi qu'à minimiser la détérioration de leur qualité pendant la lyophilisation. La réduction du temps de déshydratation par la technique du moussage pourrait donc être envisagée comme une solution ingénieuse pour résoudre le problème de temps associé au procédé de lyophilisation et d'obtenir ensuite des produits nutraceutiques d'excellente qualité à faibles coûts.

b. Hypothèses

La caractérisation des mousses et l'optimisation des paramètres du moussage (concentration et choix des agents moussants et stabilisants, rhéologie, fraction d'air, masse volumique) permettent l'obtention d'une mousse stable au cours de la lyophilisation.

Le moussage des produits liquides ou semi-liquides permet d'accélérer le procédé de lyophilisation engendrant des mousses lyophilisés de meilleure qualité structurale, sensorielle, nutritionnelle, et plus stables pendant le stockage.

c. Objectifs

c.1. Objectif principal

L'objectif principal de cette étude est la réduction du temps de lyophilisation des produits alimentaires par l'utilisation du moussage comme prétraitement.

c.2.Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de ce projet sont de :

- 1) Étudier la formation de mousses d'un produit modèle (jus de pomme) par addition d'agents moussants ou stabilisants (protéine ou polysaccharide). Une attention particulière sera portée à l'effet du temps de moussage et de la concentration des agents sur la stabilité et la qualité des mousses.
- 2) Analyser l'effet du moussage sur la réduction du temps de lyophilisation en variant l'épaisseur de l'échantillon.
- 3) Modéliser la lyophilisation des produits moussés par les réseaux des neurones artificiels.
- 4) Optimiser l'épaisseur de l'échantillon pour l'accélération de la capacité de production.
- 5) Étudier la qualité finale des produits moussés lyophilisés et l'évolution de la stabilité des produits secs durant l'entreposage.

Chapitre 2: Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose

Narindra Raharitsifa¹, Diego B. Genovese² and Cristina Ratti¹

1 Département des sols et de génie agroalimentaire, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec G1K 7P4, Canada

2 Planta Piloto de Ingeniería Química, Camino "La Carrindanga" Km 7, CC 717, (8000) Bahía Blanca, Argentina.

Ce chapitre a fait l'objet d'une publication scientifique :

Journal : *Journal of Food Science*

Volume : 71

Numéro : 3

Pages : 142-151

Résumé

La stabilité intrinsèque et les propriétés rhéologiques des mousses de jus de pommes sont étudiées. Les mousses sont préparées à partir du jus de pomme clarifié en additionnant différentes concentrations de deux agents moussants de nature différente : une protéine (blanc d'œuf à 0.5%, 1%, 2% et 3% p/p) et un polysaccharide (méthylcellulose à 0.1%, 0.2%, 0.5%, 1% et 2%), et à différents temps de fouettement (3, 5 et 7mn). De façon générale, les mousses faites avec du blanc d'œuf étaient moins stables mais présentaient un degré de solidité plus élevé (structure plus forte), une plus grande capacité moussante, et un plus petit diamètre moyen de bulle que les mousses faites avec du méthylcellulose. La stabilité des mousses augmentait avec la croissance de la concentration d'agent moussant. Un accroissement du temps de fouettement agrandissait la stabilité des mousses uniquement faites avec du blanc d'œuf. Les paramètres de stabilité (drainage maximal et demi-temps de drainage) étaient corrélés avec les paramètres rhéologiques de la phase continue (indice de consistance et viscosité apparente à $30s^{-1}$, respectivement). Les corrélations ($R^2=0.766$ et 0.951 , respectivement) étaient considérées acceptables puisqu'elles étaient indépendantes du temps de fouettement et de la nature et de la concentration de l'agent moussant. Ces résultats coïncidaient avec ceux de la rhéologie des mousses obtenues suite à des tests dynamique et celui de la vanne, cependant ce dernier était plus sensible. Les concentrations optimales pour obtenir les mousses les plus solides (0.2% méthylcellulose et 2-3% de blanc d'œuf, respectivement) étaient les mêmes concentrations requises pour la capacité moussante maximale. En basant sur cette observation et les modèles antérieurs, une expression empirique était proposée pour prédire le degré de solidité (en termes d'angle de phase inverse et de seuil de contrainte) en fonction des propriétés structurales des mousses (volume de la fraction d'air et la taille moyenne des bulles). Le modèle satisfait les résultats expérimentaux ($R^2=0.848$ et 0.975 , respectivement) indépendamment du temps de fouettement, de la nature et de la concentration de l'agent moussant.

Mots clés : mousses, stabilité, rhéologie, bulles, phase continue.

Abstract

Intrinsic stability and rheological properties of apple juice foams for foam mat drying were studied. Foams were prepared from clarified apple juice by adding various concentrations of 2 foaming agents of different nature: a protein (egg white at 0.5%, 1%, 2%, and 3% w/w) and a polysaccharide (methylcellulose at 0.1%, 0.2%, 0.5%, 1%, and 2% w/w), and whipping at different times (3, 5, and 7 min). In general, egg white foams were less stable but showed a higher degree of solidity (stronger structures), higher foaming capacity, and smaller bubble average diameter than methylcellulose foams. Foam stability increased with increasing concentrations of either methylcellulose or egg white. Increasing whipping times increased the stability of egg white foams only. Stability parameters (maximum drainage and drainage half-time) were correlated in terms of rheological parameters of the continuous phase (consistency index and apparent viscosity at 30/s, respectively). The correlations ($R^2 = 0.766$ and 0.951 , respectively) were considered acceptable because they were independent of whipping time and foaming agent nature and concentration. Results on foam rheology obtained by dynamic and vane tests were in agreement, but the latter method was more sensitive. Optimal concentrations to obtain the most solid foams (0.2% methylcellulose and 2% to 3% egg white, respectively) were the same concentrations required for maximum foaming capacity. Based on this observation and previous models, an empirical expression was proposed to predict the degree of solidity (in terms of inverse phase angle and yield stress) only as a function of foam structural properties (air volume fraction and average bubble size). The model proved to be satisfactory to fit experimental results ($R^2 = 0.848$ and 0.975 , respectively), independently of whipping time, foaming agent nature and concentration.

Keywords: foams, stability, rheology, bubbles, continuous phase

1. Introduction

Foam mat drying involves drying a thin layer of foamed liquid or pureed materials, followed by disintegration of the dried mat to yield a powder. This technique was already applied to dry fruit juices (Hertzendorf and Moshy 1970; Karim and Wai 1999; Vernon-Carter et al. 2001), eggs (Satyanarayana-Rao and Murali, 1989), and tomato paste (Lovria et al. 1970). Because of the porous structure of the foamed materials, mass transfer is enhanced leading to shorter dehydration times and consequently, a better quality of the dried products (Brygidyr et al. 1977). Although a simple and promising technology, the intrinsic instability of foams has been pointed out as an important problem to be solved before dehydration (Hertzendorf and Moshy 1970; Karim and Wai 1999; Vernon-Carter et al. 2001). In addition, foam rheology and structure could help us understand the mechanisms of heat and mass transfer during foam-mat drying. Thus, these aspects of foam characterization deserve to be studied in-depth to properly optimize this process.

Food foams can be considered as biphasic systems in which a gas bubble phase is dispersed in a continuous liquid phase (Herzhaft, 1999; Pernel et al., 2000; Vernon-Carter et al., 2001; Thakur et al., 2003). When the volume fraction of gas is high, bubbles are distorted in the form of polyhedra separated by thin liquid films. Three adjacent films intersect in a channel called the Plateau border, and the continuous phase is interconnected through a network of Plateau borders (Narsimhan and Ruckenstein, 1986; Narsimhan, 1991; Wang and Narsimhan, 2004). Foams are dispersions with a large gas-liquid interface under tension. The manufacture of foams requires an energy input (highpressure homogenization or whipping) for the expansion of these interfaces. On the other hand, because energy is released under relaxation, foams are inherently unstable (Dickinson and Stainsby, 1987; Karim and Wai, 1999). The instability process starts with the drainage of the continuous phase through the thin films between the bubbles. As a result, the foam lamellae thins favoring the mass transfer of gas across it, which leads to the growth of large bubbles at the expense of smaller ones (disproportionation or Ostwald ripening). This process continues with bubble coalescence (the thin film between 2 bubbles collapses, and the 2 bubbles merge to form 1 larger bubble), ending in phase separation.

Foam stability is influenced by the physical and rheological properties of the interface and the continuous phase. Foaming capacity and foam stability are enhanced by the adsorption of surface-active molecules (natural or added) at the interface. These surface-active agents form a densely packed layer or film around the bubbles, reducing surface tension and instability (Carp et al., 1997; Karim and Wai, 1999; Sagis et al., 2001; Vernon-Carter et al., 2001; Thakur et al., 2003). Foams also can be made with macromolecules other than proteins, but only a few polysaccharides, such as modified cellulose derivatives or acetylated pectin are sufficiently active for practical purposes (Dickinson and Stainsby, 1987).

The properties of a clarified juice that may affect protein adsorption to the gas-liquid interface are pH, ionic strength, and sugar content. Foegeding and others (2006) reviewed the main factors determining protein surface activity. Adsorption is generally most rapid at pH values near the protein isoelectric point as electrostatic repulsion is minimized. Accordingly, small amounts of multivalent cations can increase the adsorption of negatively charged proteins via specific electrostatic bridging interactions. The adsorption of ovalbumin was found to decrease in the presence of sucrose, suggesting that ovalbumin participated in hydrogen bonding with the sucrose molecule, increasing its hydrophilicity and hence decreasing its surface activity.

Foaming agents contribute to improve the structure and to control the texture and stability of food foams by modifying the rheological properties of the continuous phase and the interfacial regions where they are adsorbed. Rheological characterization of foams is therefore of primary importance. However, this characterization is a difficult issue, due to the complexity of foam structure. Multiple factors influence the rheology of foams, including air phase volume, liquid phase viscosity, interfacial tension and viscosity, bubble size, size distribution, and shape (Herzhaft, 1999; Pernell et al., 2000; Vernon-Carter et al., 2001; Davis et al., 2004). It should be noted that after foam-mat drying, the properties of the rehydrated juice powder could be greatly affected by the foaming additives. For instance, the addition of food stabilizers like xanthan gum and carboxy-methylcellulose dramatically changed the rheological behavior of cloudy apple juice (Genovese and Lozano, 2001). Then, the rheological properties of the reconstituted juice and foam's continuous phase might be strongly associated, but this is beyond the scope of this work.

Foams behave as elastic solids at small strains and flow like viscous liquids at large strains (Höhler et al., 1999; Vernon-Carter et al., 2001). Furthermore, it has been shown that foams exhibit yield stress (Pernell et al., 2000; Kampf et al., 2003). Yield stress is the minimum stress required to initiate flow (the transition stress from solid-like to liquid-like behavior), and is related to the strength of the network structures of the material (Genovese and Rao, 2003). Furthermore, it has been claimed that foam yield stress represents the energy required to pass from 1 stable bubble network to another (Khan et al. 1988). Yield stress of foams may be measured by the vane method, which is particularly tolerant to the presence of relatively large bubbles and depletion effects. Overall, the vane geometry has 2 main advantages compared with parallel plates: negligible foam compression during loading (because of its small vertical projected area), and minimization of wall slip effects (produced by foam collapse) (Pernell et al., 2000; Genovese and Rao, 2003; Davis et al., 2004).

The objectives of this work were to (1) analyze the effect of using 2 foaming agents of different nature (polysaccharide and protein) at different concentrations and whipping times, on the stability and physical properties of apple juice foams, (2) predict foam stability in terms of the rheological behavior of the continuous phase, and (3) predict foam rheological behavior in terms of their structural properties (air volume fraction, bubble size, and size distribution).

2. Materials and Methods

2.1 Foam Preparation

To prepare fruit juice foams, single-strength clarified apple juice (Del Monte, Nabisco, Ont., Canada) with pH 3.5 was bought in a local market. Methylcellulose (Methocel 65HG, Fluka BioChemika 64670, Buchs Sg, Switzerland) and egg white (Newly Weds, Qué., Canada) powders were used as foaming and stabilizing agents. Proper amounts of apple juice and foaming agent were weighed to give final concentrations C of 0.1%, 0.2%, 0.5%, 1%, and 2% (w/w) methylcellulose (MC), and 0.5%, 1%, 2%, and 3% (w/w) egg white (EW). To obtain the foam, the juice was whipped with a kitchen mixer at 3000 rpm while the foaming agent was slowly poured into it, at room temperature. Three different whipping times (3, 5, and 7 min) were applied for each concentration. Each sample will be further

identified in this work by its concentration, foaming agent, and whipping time. For instance, 05MC3 means 0.5% methylcellulose–3 min whipping, or 1EW7 means 1% egg white–7 min whipping.

Continuous Phase Preparation

The foams continuous phase was emulated by dissolving each foaming agent in the juice, avoiding foam formation. With that purpose, the right amounts of foaming agent and juice were weighed. The powder was placed in a vessel, small amounts of the juice were gradually added, and the slurry was carefully milled with a mortar until no lumps were observed. Then the rest of the juice was added and gently agitated to homogenize. The resulting solution was subjected to ultrasound under vacuum (10 min) to remove undesired bubbles that could be formed during preparation.

2.2. Drainage

A Buchner funnel was filled to the top with 560 mL of each foam. Liquid drained by gravity from the foam was collected in a 250-mL graduated cylinder. The volume of liquid drained V [mL] was measured directly from the graduated cylinder as a function of time during 120 min. The maximum volume of liquid drained V_{max} (final or equilibrium value) was estimated by letting the foam drain overnight and measuring the volume of liquid drained after approximately 20 h.

2.3. Rheology of the Continuous Phase

Flow curves of the continuous phase were obtained by applying a continuous-ramp shear rate in the range 0.02 to 80/s. Measurements were performed in a strain-controlled rheometer (Rheometric Scientific ARES, Piscataway, N.J., U.S.A.) using a Couette geometry ($D_{cup} = 34$ mm, $D_{bob} = 32$ mm, $L_{bob} = 34$ mm). Measurements were done at 20 °C, using the most sensitive transducer.

2.4. Rheology of Foams

a. Oscillatory Rheological Tests:

Dynamic rheological data of foams were obtained in the linear viscoelastic range, using a stress-controlled rheometer (Rheometric Scientific SR-5000) with a geometry of parallel plates (40-mm diameter, 2.5-mm gap). Frequency sweeps of the elastic modulus G' and the viscous modulus G'' were obtained at 20 °C. The gap was chosen to be approximately 10 times higher than the average bubble size. Furthermore, a preliminary study showed that at lower gaps, mechanical spectra was affected by plate-plate separation. Same or very similar gaps were used by other authors (Khan et al. 1988; Thakur et al. 2003) for rheological measurements of foams with parallel plates geometry.

b. Yield Stress Tests:

Immediately after preparation, part of the foam was gently transferred to a rotating cylinder cup (≈ 38 mL) attached to a strain-controlled rheometer (Rheometric Scientific). Special care was taken during foam transferring to avoid structure damage and voids. A 4-bladed vane (diameter $[D] = 35.72 \pm 0.02$ mm, height $[H] = 11.97 \pm 0.01$ mm) attached to the rheometer transducer, was completely immersed in the foam. The cup was then rotated at a low constant speed ($N = 0.0955$ rpm) for 2 min, while the resulting torque produced on the vane-shaft was measured. Yield stress σ_0 was obtained at the point of maximum torque T_m , where the sample flows (Rao 1999):

$$\sigma_0 = T_m / \left(\frac{\pi D^3}{2} \left(\frac{H}{D} + \frac{1}{3} \right) \right) \dots \dots \dots (\text{Eq. 2.1})$$

The procedure was repeated twice by refilling the cup with the original foam, 5 and 10 min after the 1st measurement, respectively. It was found that the time elapsed between measurements had a significant effect on the yield stress measured, which was attributed to foam destabilization and weakening. Consequently, the 2nd and 3rd measurements could not be considered replications of the 1st, but instead used to study the effect of “aging time” on the yield stress of foams.

2.5. Air Volume Fraction

First, foam density ρ_F was determined using the method described by Labelle (1966). Each foam was transferred into a 170 mL (80 mm \times 40 mm) brand-crystallizing dish and weighed. Foam transferring was carried out very carefully to avoid destroying its structure or trapping air voids while filling the dish up to 170 mL. Second, the volume fraction of air in each foam sample was calculated with the expression:

$$\phi = 1 - \rho_F / \rho_L \dots\dots\dots(\text{Eq.2.2})$$

where ρ_L is the liquid density (g/cm^3). Eq. 2-2 is valid if air density is neglected compared with liquid density ρ_L . In this work, juice density was determined to be $\rho_L = 1.065 \text{ g}/\text{cm}^3$.

2.6. Bubble size, size distribution, and shape

Image analysis of foams was performed using a fluorescence microscope Olympus BX51 (Carsen Group Inc., Ont., Canada) with UIS2 optics, which can deliver bright images. A bright-field objective (4X) with U-RSL S plate adapter (phase ring in position 0) and LBD filter was used. Each sample was prepared by placing a suitable amount of fresh foam on a clean glass slide, which was gently pressed down by a cover-slip. An area of $1030\mu\text{m} \times 1300\mu\text{m}$ of the cover portion was observed and photographed with a digital camera (CCD) mounted on the microscopy. Image ProPlus imaging software (Media Cybernetics, Silver Spring, Md., U.S.A.) was used to count bubbles and to estimate bubble size and shape parameters. The number of bubbles measured for each size distribution varied with the type and concentration of foaming agent as well as the whipping time, and ranged from 51 to 332 bubbles. To analyze the effect of aging time (Γ), each sample was left to stand in the microscope and subjected to 2 additional measurements, 10 and 20 min after the 1st one, respectively.

2.7. Data analysis

All measurements were done at least in duplicate samples, and triplicated when the coefficient of variation was higher than 10%. Nonlinear regression analyses were performed using SigmaPlot software package (Version 8.02, Systat Software Inc.,

Richmond, Calif., U.S.A.). Data of each foaming agent were subjected to a statistical analysis of variance (ANOVA) using an Excel algorithm, with a significance level of 5%. When necessary, means were compared by the Least Square Difference (LSD) *t*-test.

3. Results and Discussion

3.1. Drainage stability

One way to determine the stability of a foam is to measure the rate at which the liquid drains from it (Kampf et al., 2003). The liquid in high- ϕ foams is distributed between thin films and Plateau borders. Because of the radius of curvature of a Plateau border, the pressure inside it is less than that in thin films by capillary pressure. This difference, known as Plateau border suction, leads to drainage of liquid from thin films to the neighboring Plateau border. Finally, the liquid in the Plateau border drains under the action of gravity (Narsimhan and Ruckenstein, 1986; Narsimhan, 1991; Wang and Narsimhan, 2004).

Curves of volume of liquid drained as a function of time $V(t)$ followed a sigmoidal shape and were fitted with the equation ($R^2 > 0.980$):

$$V = \frac{V_{max} t^m}{t_{1/2}^m + t^m} \dots \dots \dots (\text{Eq.2.3})$$

where V_{max} is the maximum volume of drained liquid (determined experimentally), m describes the sigmoidal character of the curve, and $t_{1/2}$ is the time required to reach $V_{max}/2$ (drainage half time) (Carp et al., 1997). Figure 2-1 a and b shows the experimental drainage curves of 5min whipped EW and MC foams, respectively, fitted with Eq.2-3. As expected, drainage decreased at increasing concentrations of both foaming agents. However, the shape of the curves was somewhat different. In the case of EW foams, rate of drainage was initially rapid and slowed down at long times, which was characterized by m values close to unity (≈ 1.25). MC foams followed the same trend at low concentrations ($C \leq 0.5\%$). As MC concentration was increased, the shape of the drainage curves became more sigmoidal, and m values increased up to ≈ 2.8 . This behaviour difference could be related to the different foam stabilization mechanisms of EW and MC, as explained later. In addition, the effect of increasing whipping time was to increase m : from 1.14 to 1.35 in EW foams, and from 1.27 to 1.73 in MC foams (averaged at all concentrations). Final foam stability is

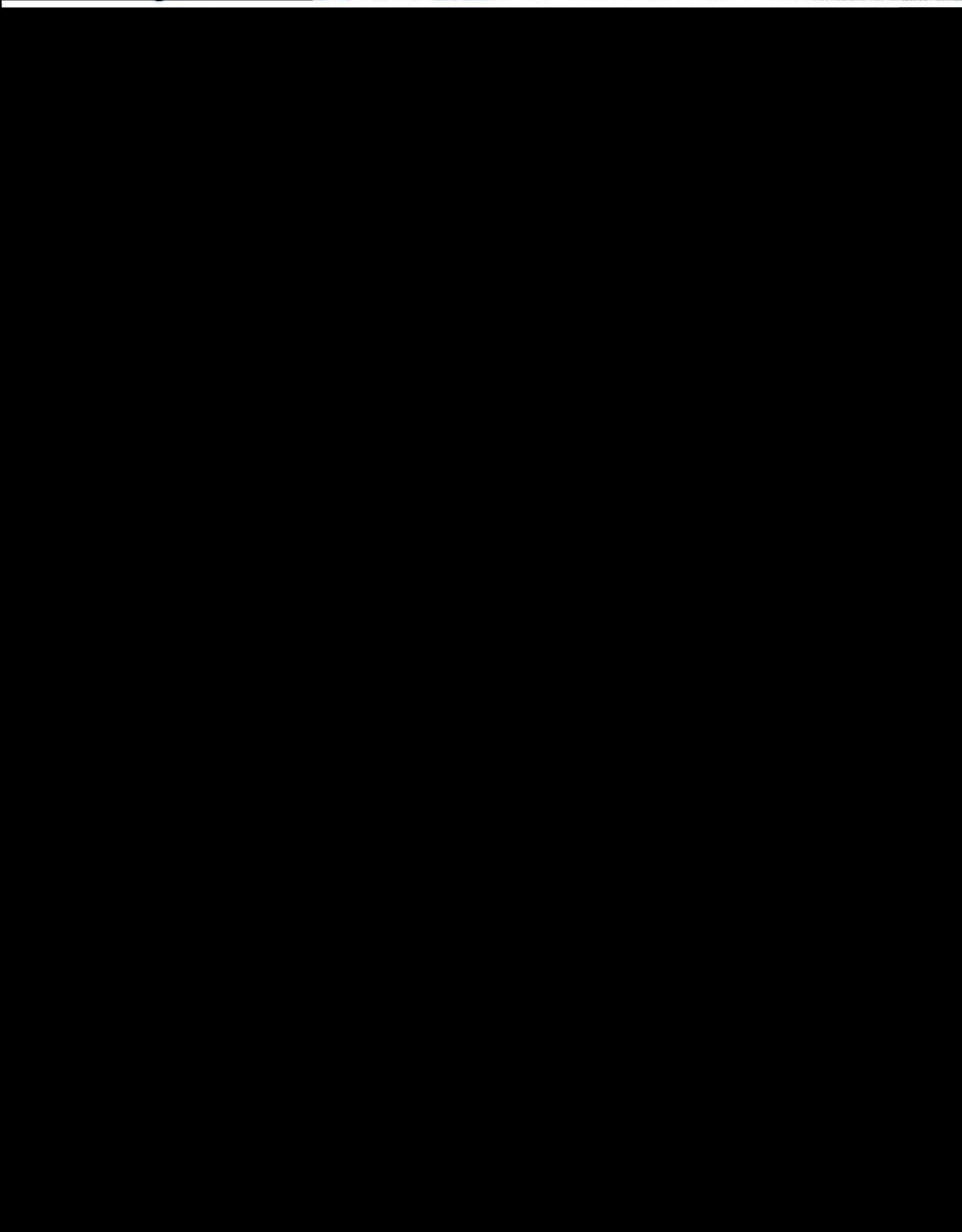
expected to increase as the maximum volume of drained liquid V_{max} decreases. Consequently, final stability was estimated from maximum drainage, defined as $MD = V_{max} / V_{foam}$, where V_{foam} is the initial volume of the foam (560 ml).

Values of MD were represented as a function of the concentration of foaming agent (C %), at different whipping times (θ) (Figure 2-2). In general, MC foams showed lower MD values (higher final stability) than EW foams. MC foams showed a highly significant decrease of MD at increasing C , and a significant effect of θ although its trend was not clear.

On the other hand, EW foams showed highly significant interactions between the effects of C and θ , meaning that curves followed different trends. However, it can be observed (Figure 2-2) a general decrease of MD at increasing C , and also at increasing θ .

Drainage half time $t_{1/2}$ is expected to increase as the drainage rate decrease. Values of $t_{1/2}$ obtained from Eq.2-3 were plotted as a function of concentration of foaming agent, at different whipping times (Figure 2-3). In general, MC foams showed higher $t_{1/2}$ values (lower drainage rates) than egg white foams. Both MC and EW foams showed a highly significantly increase of $t_{1/2}$ at increasing C . Similar results were found in soy protein foams (Carp et al. 1997). On the other hand, increasing θ produced a highly significant increase on EW foams $t_{1/2}$, but had no significant effect on MC foams $t_{1/2}$.

Overall, increasing concentrations of the foaming agent reduced drainage (increased the stability) of apple juice foams. This may be attributed to an increase in the viscosity and/or yield stress of the continuous phase, and/or to an increase in the thickness and strength of the adsorbed films at the air-water interface (Dickinson and Stainsby 1987; Carp et al. 1997; Karim and Wai 1999; Vernon-Carter et al. 2001). In this sense, the improved stability of EW foams at increasing whipping times and concentrations may be attributed in part to more protein denaturation and adsorption at the interface, respectively. In spite of this, MC foams were more stable (underwent less drainage) than EW foams, suggesting that foams stability was governed by the rheology of the liquid phase.



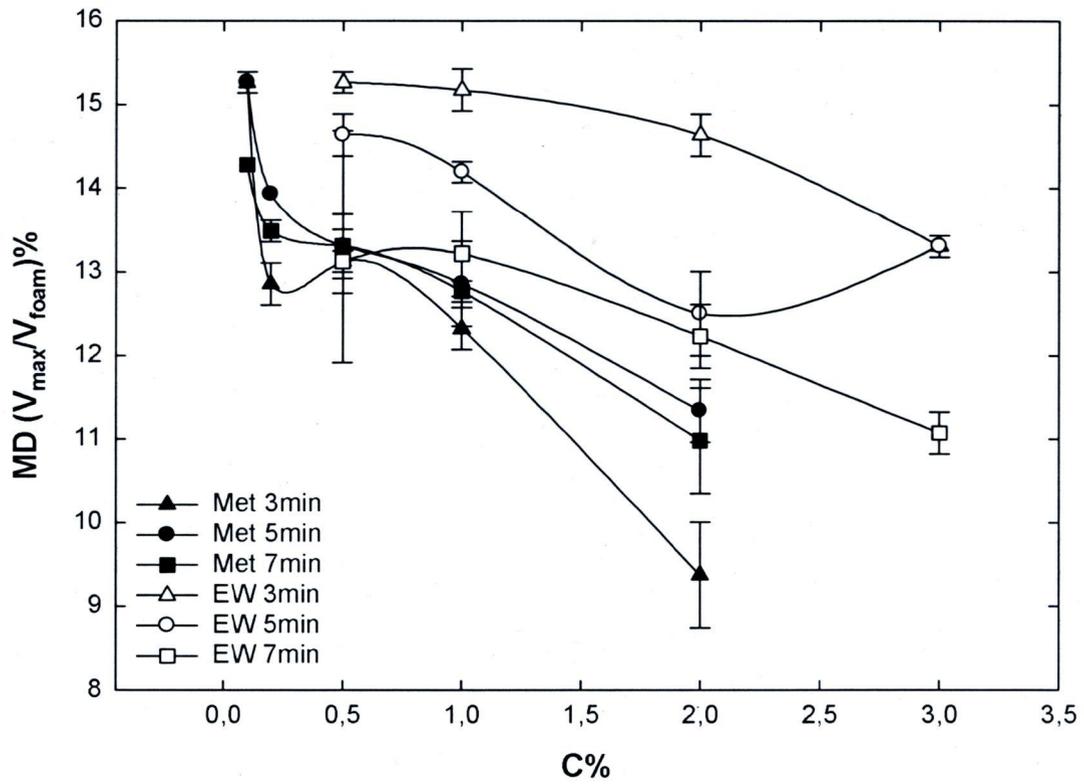


Figure 2-2: Effect of whipping time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the maximum drainage (after 1 day) of apple juice foams.

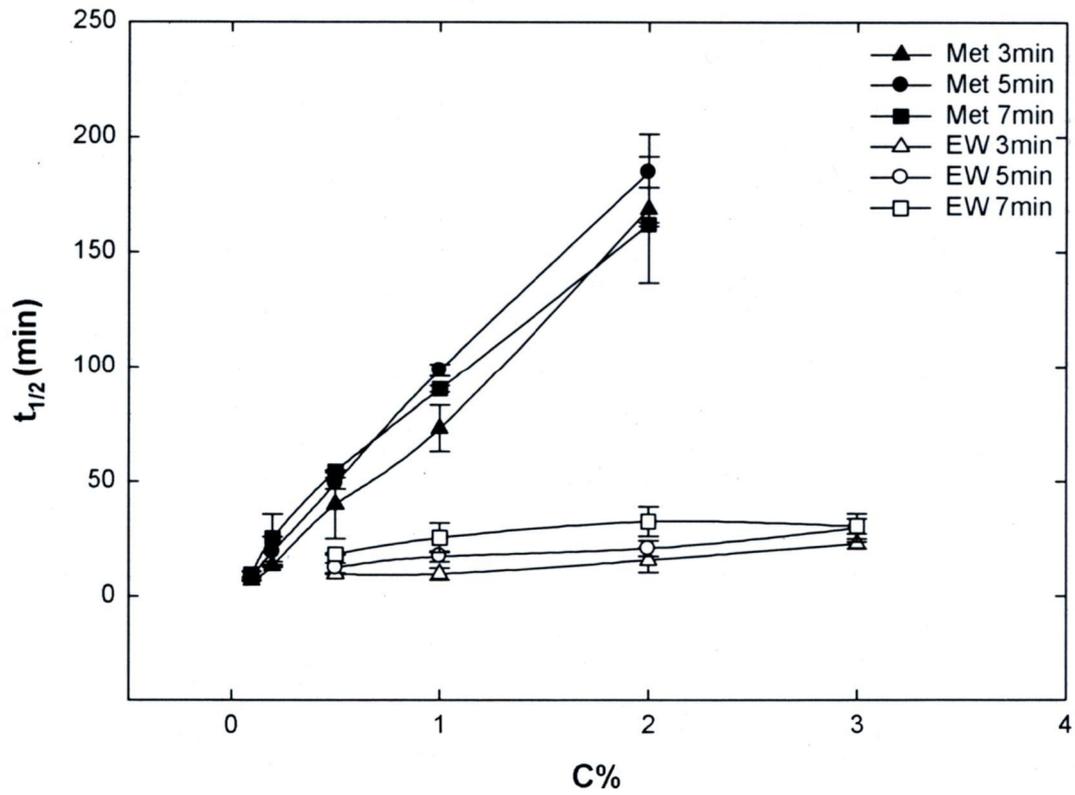


Figure 2-3: Effect of whipping time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the drainage half time of apple juice foams

Flow curves of the continuous phase of all foams followed shear thinning behaviour (no yield stress was observed), and were fitted with the power law model ($R^2 \geq 0.984$):

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \dots\dots\dots(\text{Eq.2.4})$$

where σ is the shear stress, K is the consistency index, $\dot{\gamma}$ is the shear rate, and n is the flow behaviour index. It was not possible to obtain flow curves of the 2% MC solution, because the bubbles formed in the bulk of the highly viscous liquid could not be removed. For the other solutions, calculated values of K and n are listed in Table 2-1.

Values of K showed a highly significant increase at increasing either EW or MC concentrations, in agreement with Carp, Bartholomai and Pilosof (1997). On the other hand, values of n showed a highly significant decrease at increasing EW concentrations, but followed the opposite trend for MC. Values of K and n of MC solutions were higher than values of EW solutions at the same concentrations (0.5% and 1%), probably because MC has a higher molecular weight (300-500 kDa) (Keary 2001) than EW (50-150 kDa) (Handa et al. 2001).

Values of maximum drainage MD (averaged at the three whipping times) of all foams showed a common trend to decrease with K of the continuous phase (Figure 2-4), and were fitted with the equation $MD\% = 12.0 + 4.52/100K$ ($R^2 = 0.766$). This correlation was considered to be acceptable since it is independent of preparation conditions (whipping time, and foaming agent nature and concentration). The equilibrium liquid holdup (ϵ_{eq}) is related to MD by the expression $\epsilon_{eq} = 1 - \phi_0 - MD$, where ϕ_0 is the initial air volume fraction. The parameter ϵ_{eq} has been modeled (Narsimhan 1991) to be independent of liquid and surface viscosities, which somehow contradicts our results. This discrepancy may be attributed to the fact that Narsimhan's model was developed for ideal dodecahedral bubbles of the same size, while foams studied here showed a different bubble geometry (see Figure 2-9 and 2-10). In addition, Carp et al. (1997) found a linear decrease of $\log k$ against $\log K$ (being $k = m/V_{\max} t_{1/2}$, the specific rate constant of drainage), with different slopes for two different foams. However, this correlation was not appropriate for the foams studied here.

Table 2-1 : Effect of foaming agent and concentration on the consistency index $K * 100$ [Pa.sⁿ] and the flow behaviour index n [-] of the continuous phase of apple juice foams.
Calculated by fitting the power law model (Eq.2-4) to the flow curves.

	Methylcellulose C%					Egg White C%			
	0.1	0.2	0.5	1	2	0.5	1	2	3
K*100	1.75	2.12	2.65	8.39	-	2.06	2.72	4.33	6.60
n	0.674	0.645	0.740	0.892	-	0.546	0.524	0.444	0.378

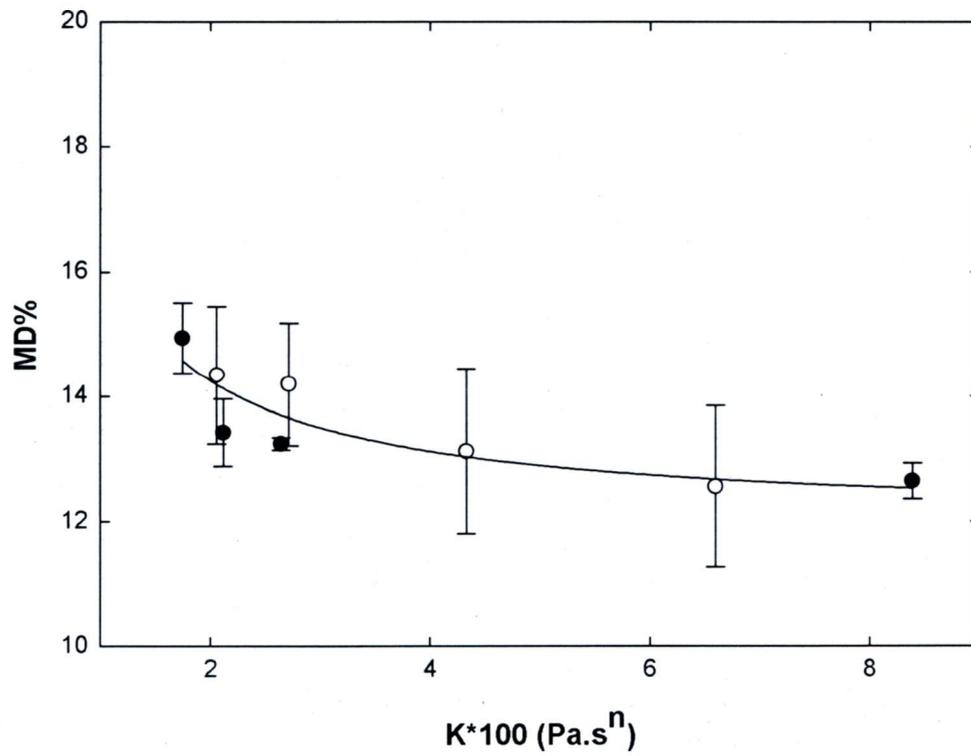


Figure 2-4: Foam maximum drainage as a function of continuous phase consistency index for different foaming agents: (●) methylcellulose, and (○) egg white. Error bars represent the standard deviation at the three whipping times.

On the other hand, drainage rate (or drainage velocity) has been established to decrease with increases in the liquid viscosity (Narsimhan 1991; Davis and Foegeding 2004). Foegeding et al. (2006) proposed a correlation of the type:

$$t_{1/2} = t_0 + u \cdot \ln(\eta_a) \dots\dots\dots(\text{Eq.2.5})$$

where η_a was the apparent viscosity at a shear rate of 8.5 s^{-1} (claimed to be chosen within the relevant range of shear rates for liquid drainage and the sensitivity of the rheometer), and t_0 and u are fitting parameters (Davis and Foegeding 2004).

In this work, apparent viscosity was determined from Eq.2-4 as $\eta_a = K\dot{\gamma}^{n-1}$, and calculated at different shear rates within the experimental range (10 to 70 s^{-1}). Figure 2-5 shows that all foams followed satisfactorily the relationship proposed in Eq.2-5, apparently in a common curve. The best correlation ($t_0 = 35.2 \text{ min}$, $u = 30.7 \text{ min}/\ln(\text{Pa}\cdot\text{s})$, $R^2 = 0.951$) was obtained with η_a at a shear rate of 30 s^{-1} . The shear rate at the wall of a Plateau border ($\dot{\gamma}_w$) has been modeled (Wang and Narsimhan 2004) to depend on K , n , and Plateau border radius and drainage driving force.

3.2. Rheology

a. Dynamic Rheology

The viscoelasticity of the foams was analyzed in terms of the phase angle, $\delta = \arctan(G''/G')$, which varies from 0 for Hookean solids to $\pi/2$ for Newtonian liquids (Steffe 1996). All foams showed a decrease of δ with frequency ω , which was mainly produced by an increase of the elastic modulus G' with ω (not shown), while the viscous modulus G'' remained almost constant. In this context, MC foams followed a behaviour somewhere between a concentrated solution and a gel, while EW foams behaved almost like gels. These results are in agreement with previous studies (Khan et al. 1988; Thakur et al. 2003).

For a better comparison between foams, the phase angle at 1 Hz ($\delta_{1\text{Hz}}$) was represented as a function of concentration of foaming agent ($C \%$), at different whipping times (θ) (Figure 2-6).

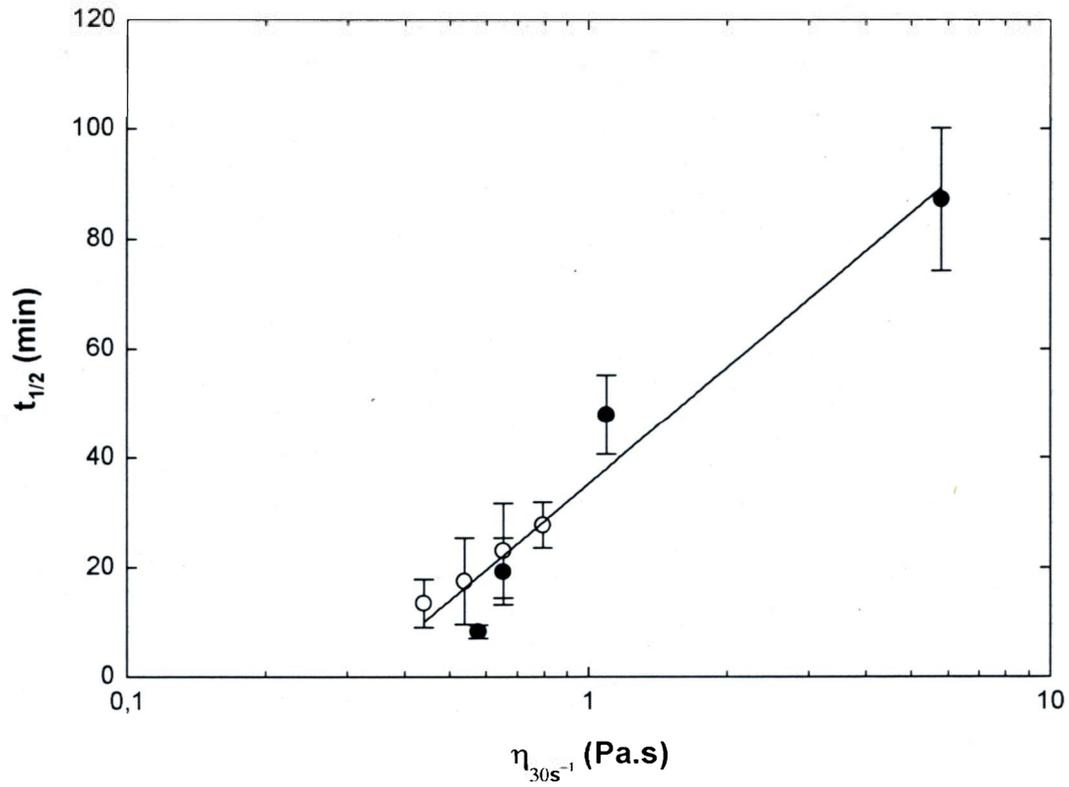


Figure 2-5: Prediction of foam drainage half time with continuous phase apparent viscosity (at $30s^{-1}$) for different foaming agents: (●) methylcellulose, and (○) egg white. Error bars represent the standard deviation at the three whipping times.

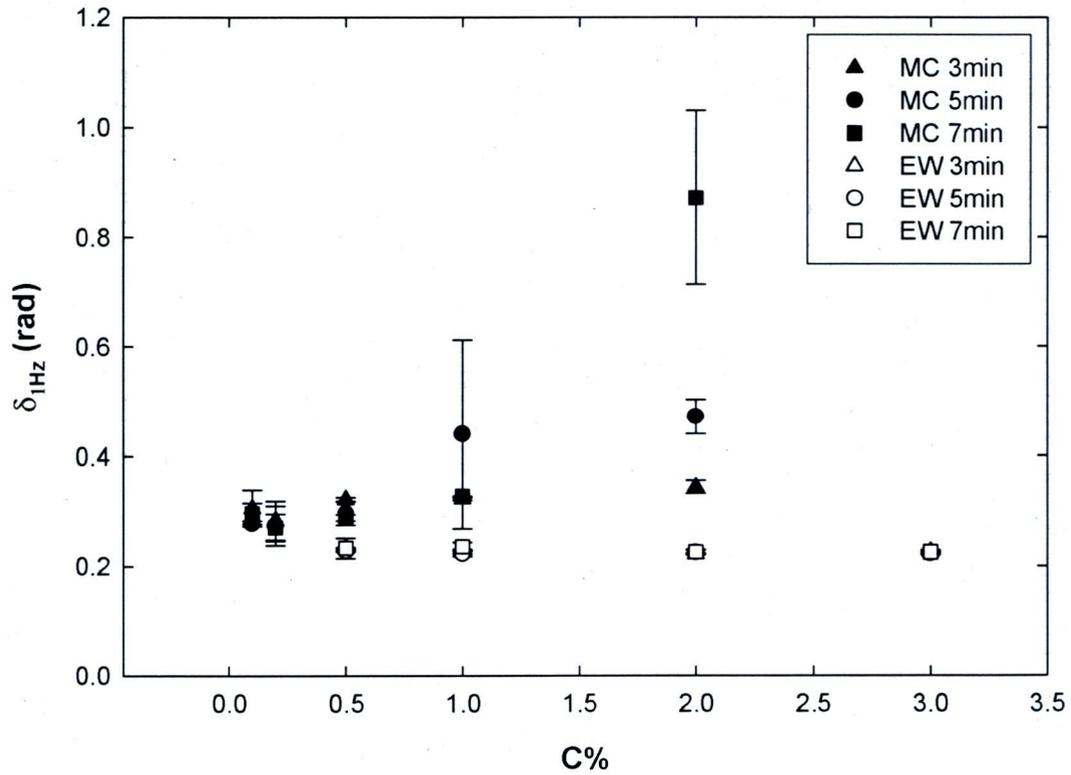


Figure 2-6 : Effect of whipping time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the phase angle (at 1 Hz) of apple juice foams.

It can be observed that EW foams showed lower δ_{1Hz} values (higher degree of solidity) than MC foams. EW foams did not show significant variations of δ_{1Hz} with C and θ , giving a global average of $\delta_{1Hz} = 0.227 \pm 0.007$ rad. On the other hand, MC foams showed a general increase of δ_{1Hz} with C , and a highly significant interaction between C and θ .

At this point, it is worth to determine the optimal concentration C^* of foaming agent that gives the most solid foam (minimum value of phase angle, δ_{Min}). For EW foams, δ_{Min} (averaged at the three whipping times) was obtained at $C^* = 2\%$, although there were no significant differences with the values obtained at the other C (as previously mentioned).

For MC foams, δ_{Min} was obtained at $C^* = 0.2\%$, independently of θ . Phase angle values of MC foams averaged at the three whipping times showed no significant differences between δ_{Min} and the values obtained at the neighbour concentrations (0.1% and 0.5%). These results will be later compared with the ones obtained by yield stress measurements.

b. Vane Yield Stress

The effect of foaming agent concentration (C %) and ageing time (T) on the yield stress (σ_0) of foams prepared by 5min of whipping is represented in Figure 2-7. It should be noted that no yield stress could be detected on 2% MC foams. In general, EW foams showed higher σ_0 values (stronger structures) than MC foams, in agreement with results obtained by oscillatory tests (Figure 2-6). Significant and highly significant interactions between the effects of C and T were found in EW and MC foams, respectively. Nevertheless, it was found that σ_0 values (averaged at all concentrations) decreased with increasing T in both EW and MC foams, suggesting structure weakening produced by destabilization. Furthermore, this effect was less pronounced in MC foams, in agreement with their higher stability showed during drainage measurements. Pernell, Foegeding and Daubert (2000) also observed that the vane yield stress of protein foams decreased over the time necessary to take 3 measurements.

The optimal concentration C^* of foaming agent to obtain the foam with the strongest structure was determined at the maximum yield stress value (σ_{0-Max}).

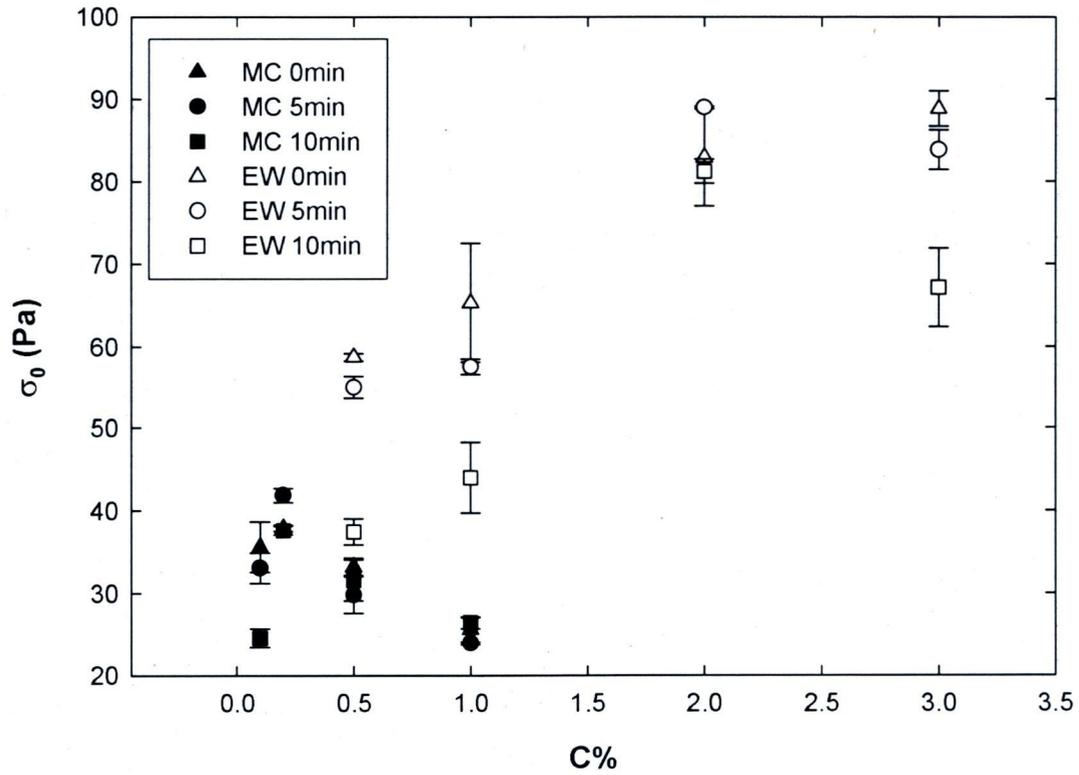


Figure 2-7: Effect of ageing time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the yield stress of 5min whipped apple juice foams.

For MC foams, $\sigma_{\theta-Max}$ was obtained at $C^* = 0.2\%$, independently of Γ . In the case of EW foams, C^* depended on Γ considered: 3% EW gave the strongest foam initially, but 2% gave the strongest foam after 5 and 10 min. This anomaly was produced by an increase in the yield stress of the 2% EW foam during the first 5 min, which was attributed to some systematic experimental error. Yield stress values of each foaming agent were separately averaged at the three ageing times to analyze the effect of C . For MC foams, it was found that yield stress at 0.2% was significantly higher than the values at other C . In the case of EW foams, there were no significant differences between the yield stresses at 2% and 3%, but these values were significantly higher than the yield stresses at other C .

Overall, results obtained with the vane method were in agreement with the ones obtained by dynamic rheology. However, the vane method found significant differences between C^* and the other concentrations, which was not possible with dynamic rheology. This means that vane yield stress is a more sensitive method to determine C^* .

The different rheological behaviour of EW and MC foams will be explained in terms of their structural properties (air volume fraction and bubble size) later in this work.

3.3. Air Volume Fraction

The volume fraction of gas is a measure of foam quality (Herzhaft 1999). Air volume fraction ϕ was represented as a function of concentration of foaming agent (C %), at different whipping times (θ) (Figure 2-8). It can be observed that MC foams showed a general decrease of ϕ at $C > 0.5\%$, with a highly significant interaction between C and θ . In that range ($C > 0.5\%$), air volume fractions of EW foams were higher than those of MC foams, suggesting higher foaming capacity. Although statistical analysis of EW foams indicated that the effect of C on ϕ was highly significant, it was negligible compared to the effect observed in MC foams (Figure 2-8). On the other hand, the effect of θ on ϕ was not significant in EW foams.

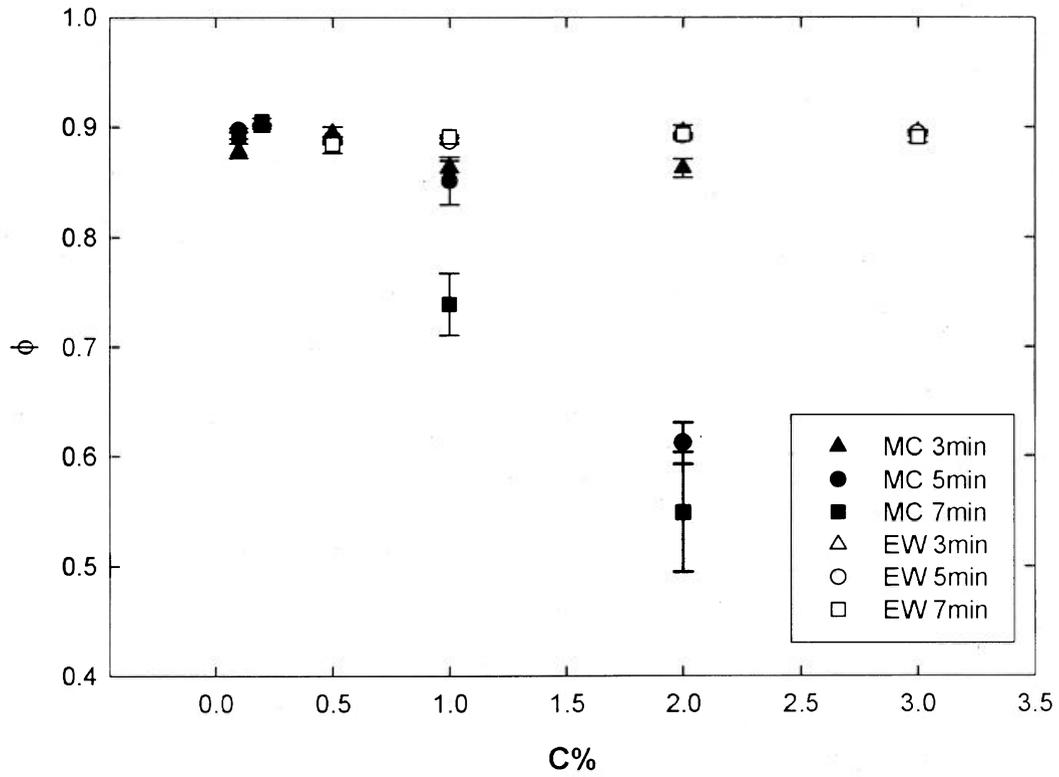


Figure 2-8: Effect of whipping time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the air volume fraction of apple juice foams.

Density follows exactly the opposite trend than air volume fraction (see 2-2). Karim and Wai (1999) found that the density of starfruit puree foams decreased with MC concentrations lower than 0.4% due to a reduction in surface and interfacial tension, but increased at concentrations higher than 0.4% due to an increase in the viscosity of the liquid phase, which would prevent the trapping of air during mixing. Brygidyr, Rzepecka and McConnell (1977) found that density of tomato paste foams decreased with whipping time up to a minimum, and increased thereafter probably due to destruction of the foam structure (overbeating). They also found a non-significant decrease of density at concentrations of foaming agent higher than 1%.

The optimal concentration C^* of foaming agent to achieve maximum foaming was determined at the maximum value of air volume fraction (ϕ_{Max}).

For EW foams, ϕ_{Max} (averaged at the three whipping times) was obtained at $C^* = 2\%$, and was significantly different than the values obtained at the other C , except 3%. For MC foams, ϕ_{Max} was obtained at $C^* = 0.2\%$, independently of whipping time. Air volume fractions of MC foams averaged at the three whipping times showed no significant differences between ϕ_{Max} and the values obtained at the neighbour concentrations (0.1% and 0.5%). These optimal concentrations values are equivalent to those determined (by dynamic rheology and vane yield stress) for the foams having the strongest structures. The effect of air volume fraction on the strength of foams structure will be analyzed later in this work.

When air volume fraction of foams exceeds that of the close-packed-spheres configuration (ϕ_0) the spherical bubbles are deformed against their neighbours, and as ϕ approaches unity the bubbles acquire an increasingly pronounced polyhedral shape. These are called “dry” foams ($\phi > \phi_0$), as opposed to “wet” foams ($\phi < \phi_0$) where the liquid phase volume fraction is high (Princen and Kiss, 1989; Carp, Bartholomai and Pilosof, 1997; Herzhaft, 1999; Davis, Foegeding and Hansen, 2004). All the foams studied in this work except 1MC7, 2MC5, and 2MC7, had air volume fractions (Figure 2-8) higher than ϕ_0 of monodisperse systems (≈ 0.74) and unimodal polydisperse systems (≈ 0.72). This means that only three formulations of MC at high concentrations and high whipping times (1MC7, 2MC5, 2MC7) formed wet foams. All the other formulations of MC and EW in all cases formed dry foams. The effect of air volume fraction on bubble shape is analyzed in next section.

3.4. Bubble Shape, Size, and Size Distribution

The shape of bubbles below and above the close-packing air volume fraction (ϕ_0) was visualized in microscopy images of wet and dry foams, respectively. Figure 2-9 shows two foams prepared with the same whipping time but different MC concentrations. At the highest concentration (2MC7) a wet foam was obtained ($\phi < \phi_0$), which showed spherical bubbles (Figure 2-9a). At the lowest concentration (02MC7) a dry foam was obtained ($\phi > \phi_0$), where crowding produced deformation of bubbles giving them a more polyhedral shape (Figure 2-9b).

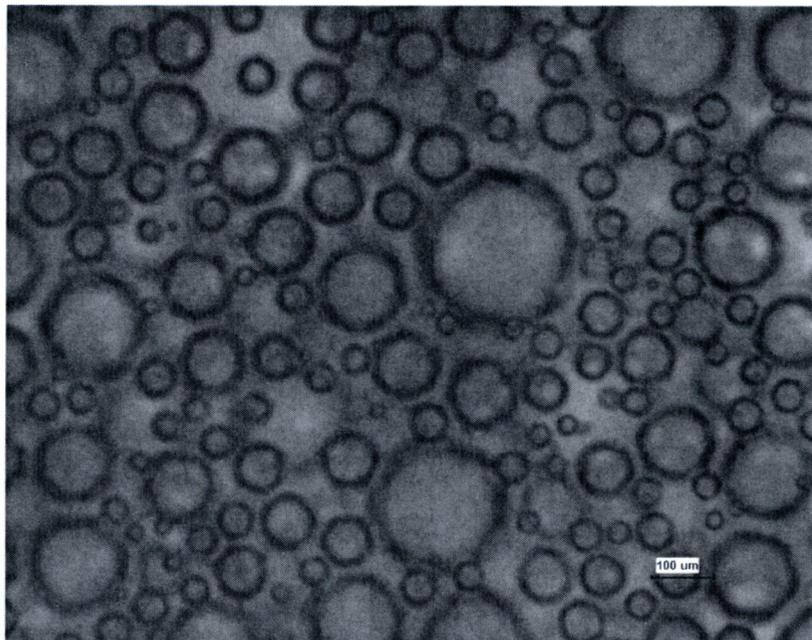
This last effect was always observed in EW foams since all of them were dry foams, as shown in Figure 2-10a for sample 2EW7. It should be noted that foam 1MC7, which was near the close-packing volume fraction ($\phi \approx 0.74$), did not show bubble deformation (Figure 2-10b).

To determine a characteristic bubble diameter of each foam, it was considered that foam rheology is affected by the Sauter mean bubble diameter D_{32} (Princen and Kiss, 1989; Thakur, Vial and Djelveh, 2003; Davis et al. 2004) or surface basis average diameter, which for spherical bubbles is as follows:

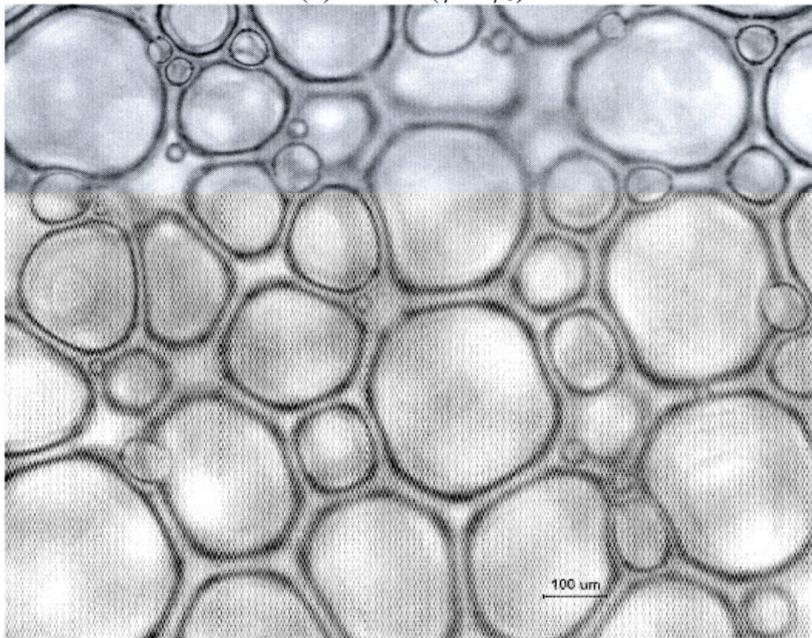
$$D_{32} = \frac{\sum d_i^3}{\sum d_i^2} = 6 \frac{\sum V_i}{\sum S_i} \dots \dots \dots (\text{Eq. 2.6})$$

where d_i , V_i , and S_i are the diameter, volume, and surface area of each bubble, respectively, and i varies from 1 to the number of bubbles observed.

In this work, the Sauter diameter was calculated from the bubble size distribution on surface basis, considering that bubbles were approximately spherical. Bubbles found in both MC and EW foams were in the range 0 – 450 μm . This range was divided in 50 μm intervals ($D_j - D_{j-1}$, $j=1$ to 9).

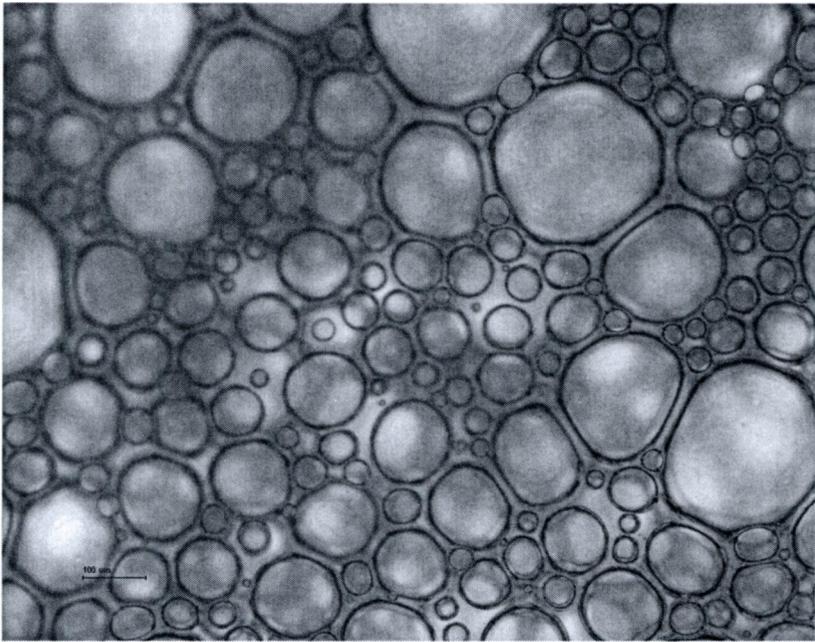


(a) 2MC7 ($\phi < \phi_0$)

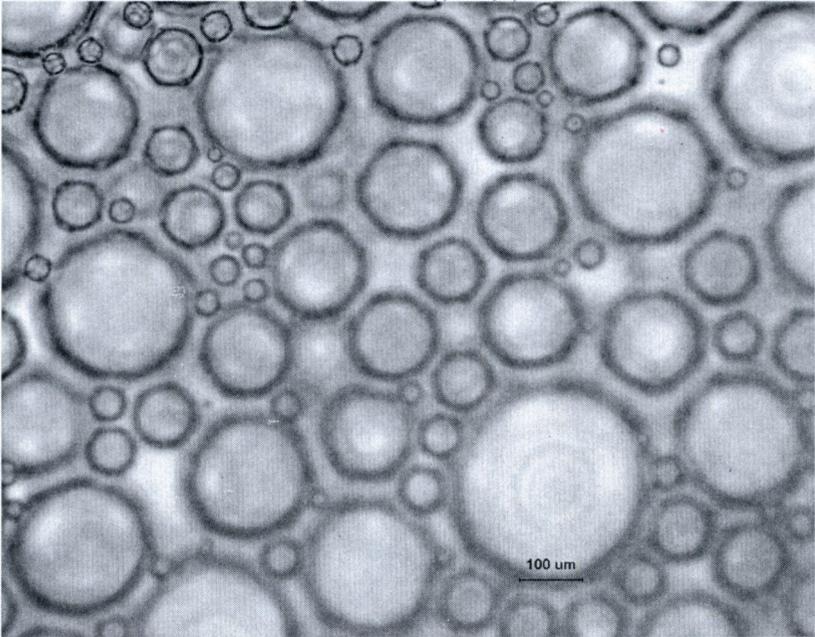


(b) 02MC7 ($\phi > \phi_0$)

Figure 2-9: Effect of air volume fraction on bubble shape of 7min whipped apple juice foams at different methylcellulose concentrations: (a) 2% (w/w), and (b) 0.2% (w/w).



(a) 2EW7 ($\phi > \phi_0$)



(b) 1MC7 ($\phi \approx \phi_0$)

Figure 2-10: Effect of air volume fraction on bubble shape of 7min whipped apple juice foams prepared with: (a) 2% egg white, and (b) 1% methylcellulose.

The average diameter of each interval was calculated as follows:

$$\bar{D}_j = \frac{D_{j-1} + D_j}{2} \dots\dots\dots (\text{Eq. 2.7})$$

The surface fraction of bubbles in each interval was determined as:

$$s_j = \frac{\sum_{D_{j-1}}^{D_j} d_i^2}{\sum d_i^2} \dots\dots\dots (\text{Eq. 2.8})$$

Finally, the surface basis average diameter was calculated as follows:

$$D_{32} = \sum s_j \bar{D}_j \dots\dots\dots (\text{Eq. 2.9})$$

Values of D_{32} were represented as a function of concentration of foaming agent (C %), at different whipping times (θ) (Figure 2-11). In general, bubble sizes of MC foams (except at 2%) were higher than those of EW foams. In MC foams, values of D_{32} showed a highly significant variation with C (increased up to 0.2% and decreased thereafter), and a highly significant decrease with θ .

In EW foams, values of D_{32} showed a significant decrease with C and with θ . Karim and Wai (1999) found that bubble average diameter (number basis) increased at concentrations up to 0.4%, and decreased thereafter. Kampf and others (2003) reported that bubble size progressively decreased with whipping time, but Brygidyr, Rzepecka and McConnell (1977) found that after reaching a minimum the size increased again due to overbeating. Thakur, Vial and Djelveh (2003) explained that the minimum bubble diameter corresponds to an equilibrium between viscous forces that tend to disrupt bubbles, and interfacial forces that oppose to bubble break-up.

Polydispersity p of bubble size distributions was characterized by their standard deviation:

$$p = \sqrt{\sum s_j (D_j - D_{32})^2} \dots\dots\dots (\text{Eq. 2.10})$$

For both MC and EW foams, calculated values of p ranged approximately from 50 to 95 μm (Table 2.2), and showed an average decrease at increasing C . In contrast, Karim and Wai reported that bubble size distributions were more spread (higher p values) and approached a normal distribution at increasing concentrations of MC.

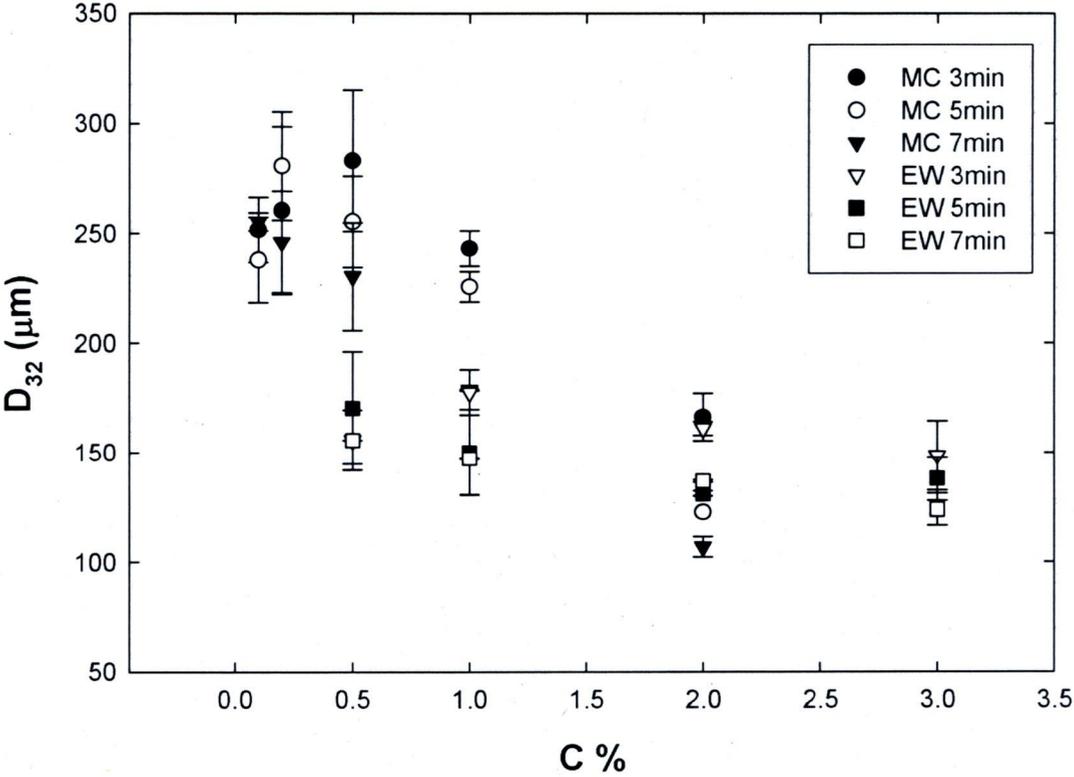


Figure 2-11: Effect of whipping time and concentration of methylcellulose (MC) and egg white (EW) on the mean (Sauter) bubble diameter of apple juice foams.

On the other hand, increasing θ produced an average increase of p in EW foams, but had no effect on MC foams. In contrast, Kampf and others (2003) found that longer whipping times narrowed the bubble size distribution (lower p values).

Nevertheless, it has been claimed (Herzhaft, 1999) that foam texture is given by gas bubbles size distribution. The global average p of EW foams (69.1 μm) was slightly lower than in MC foams (74.2 μm), which may have contributed to the stronger structure of the formers. The effect of bubble size and size distribution on the strength of foams structure will be analyzed in next section.

Finally, all foams showed an “approximately linear” increase of the average bubble size during the first 20 min of observation (not shown). Bubble coalescence was observed only in 3 of 69 micrographs analyzed, and even in those 3 cases it was an isolated phenomenon. Consequently, bubble size growth was attributed to the Ostwald ripening (disproportionation) effect: pressure inside little bubbles is greater than pressure inside big bubbles, then gas diffuse from small bubbles to large bubbles, changing distribution of sizes (Herzhaft, 1999; Sagis et al. 2001).

Disproportionation effect is clearly visualized in Figure 2-12 (sample 05EW5), where it can be observed how small particles became smaller and large particles became larger after 20 min of ageing. In order to quantitatively compare this effect between the different foams, experimental values were fitted with the equation:

$$D_{32}/D_{32}^0 = 1 + k\Gamma \dots\dots\dots(\text{Eq.2.11})$$

where Γ is the ageing time after the first measurement, D_{32} is the Sauter mean bubble diameter at any Γ (between 0 and 20 min), D_{32}^0 is the initial value (at $\Gamma=0$), and k is the kinetic constant of bubble size growth. All calculated values of k were positive (confirming the increase of bubble size in all foams), and ranged approximately from 5×10^{-3} to $2 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$ in EW foams, and from 1×10^{-3} to $2 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$ in MC foams, with an exceptionally high value for sample 2M7 (Table 2-3). Values of k did not show clear trends with C nor θ . However, the average k value of MC foams ($8.84 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$) was lower than the value of EW foams ($9.80 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$), confirming that MC foams were more stable, as previously observed from drainage results.

Table 2-2 : Polydispersity p (μm) of bubble size distributions of apple juice foams. Effect of whipping time (θ) and foaming agent concentration ($C\%$).

Calculated values from Eq.2-10.

θ [min]	Methylcellulose $C\%$					Egg White $C\%$			
	0.1	0.2	0.5	1	2	0.5	1	2	3
3	77.7	71.3	72.7	80.4	67.7	55.4	65.8	79.8	59.5
5	82.7	90.9	80.0	73.8	49.5	81.4	80.6	61.6	54.6
7	94.6	73.5	74.7	69.0	54.5	79.8	90.5	69.1	50.7

It should be noted that some experimental error was introduced by convective movement of the bubbles, not only in the horizontal plane but also between adjacent layers. Höhler, Cohen-Addad and Asnacios (1999) reported that bubble radius of shaving foams followed a parabolic growth with ageing time (1 hr), and attributed it to the Ostwald effect since bubble coalescence was negligible during that interval.

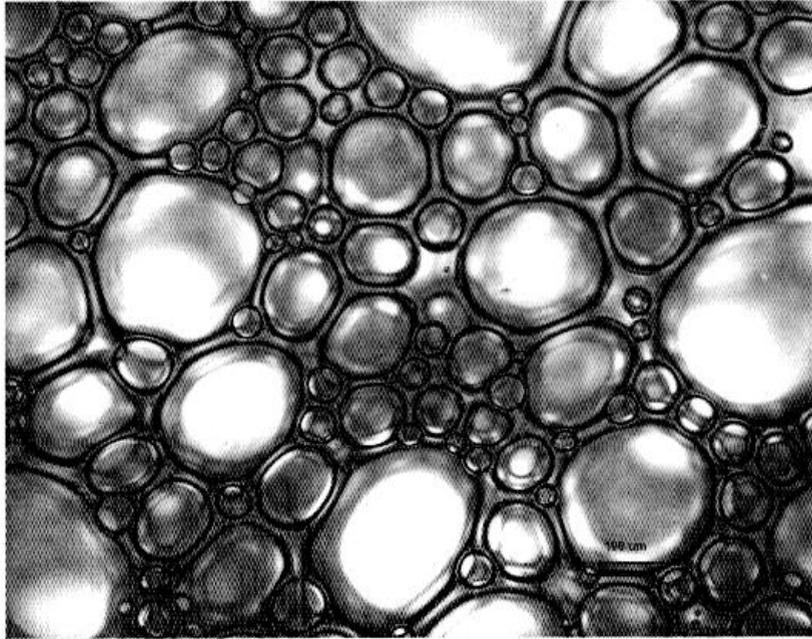
Predictive Model

Because of bubble crowding, when foams with $\phi > \phi_0$ are subjected to shear deformation at vanishingly small rates, they behave as purely elastic solids (characterized by a static shear modulus, G) up to a yield stress σ_0 above which flow is initiated. Several models have been established for the dependence of G and σ_0 on the relevant physical parameters, that is volume fraction ϕ , interfacial tension τ , and the surface basis or Sauter mean bubble diameter D_{32} (Princen and Kiss, 1989; Höhler, Cohen-Addad and Asnacios, 1999; Davis et al. 2004).

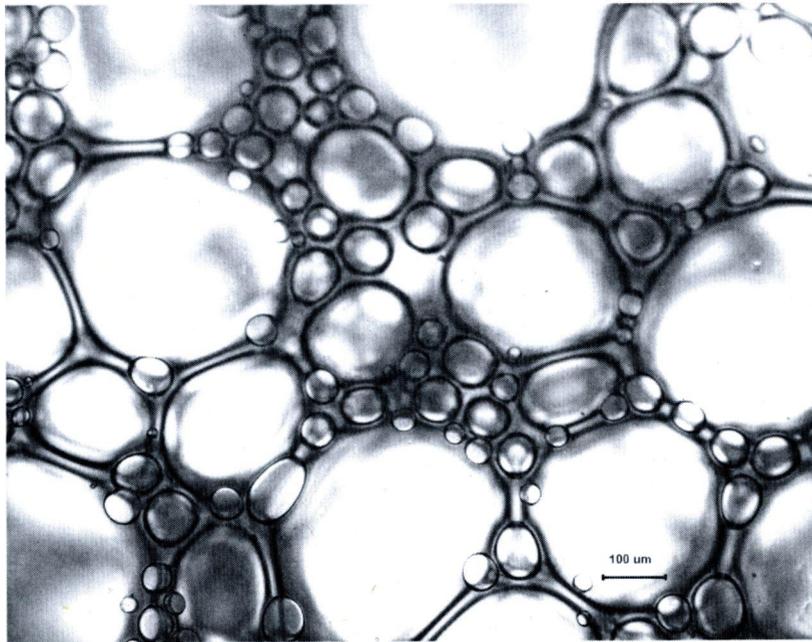
Based on those models, a simple expression was proposed in this work to predict the degree of solidity DS (either as the inverse phase angle δ^{-1} , or as the yield stress σ_0) of apple juice foams as a function of ϕ and D_{32} :

$$DS = a \frac{\phi^b}{D_{32}^c} \dots \dots \dots (\text{Eq. 2.12})$$

where a , b , and c are fitting parameters. Parameter a is expected to include the effect of interfacial tension (not determined in this work).



(a) 05EW5, $\Gamma = 0$ min



(b) 05EW5, $\Gamma = 20$ min

Figure 2-12: Ostwald ripening effect on bubble size distribution of 5min whipped apple juice foam prepared with 0.5% EW, at different ageing times: (a) 0 min, (b) 20 min.

Table 2-3: Kinetic constant of bubble size growth $k \cdot 100$ [min⁻¹] in apple juice foams.Effect of whipping time (θ) and foaming agent concentration (C%).

Calculated from fitting Eq.2-11.

θ [min]	Methylcellulose C%					Egg White C%			
	0.1	0.2	0.5	1	2	0.5	1	2	3
3	0.56	0.51	1.73	0.40	0.13	0.96	0.45	1.49	1.26
5	1.61	0.98	0.68	0.27	1.07	1.90	0.80	1.52	0.65
7	0.06	0.18	0.40	0.89	3.82	0.99	0.80	0.47	0.48

Values of $\delta^{-1}(\phi, D_{32})$ of all the foams (27 experimental points including both foaming agents) were correlated with Eq.2-12 (Figure 2-13). Resulting regression parameters were: $a=2.48$, $b=2.53$, and $c=0.445$ ($R^2=0.848$). This fit is considered to be satisfactory since Eq.2-12 only depends on the structural properties of the foams, and it is independent of preparation conditions (whipping time, and foaming agent nature and concentration). It should be noted that the effect of bubble size polydispersity on δ^{-1} was found to be not significant. The same correlation (Eq.2-12) was applied to $\sigma_0(\phi, D_{32})$ values of the foams whipped during 5 min (Figure 2-14). Resulting regression parameters were: $a=18.9$, $b=10.9$, and $c=1.37$ ($R^2=0.975$). It should be pointed out that this regression could have been better than the previous one because only 8 experimental points were fitted.

Nevertheless, both parameters showed the same trend: solidity of the foams increased at increasing air volume fractions and at decreasing bubble sizes. Khan, Schnepfer and Armstrong (1988) explained that yield stress increased at increasing air volume fractions because foam bubbles become more polyhedral in structure, and consequently larger stresses are required for the bubbles to hop past one another. However, they reported that the ratio $G'G''$ does not change with ϕ in the range 0.92-0.97.

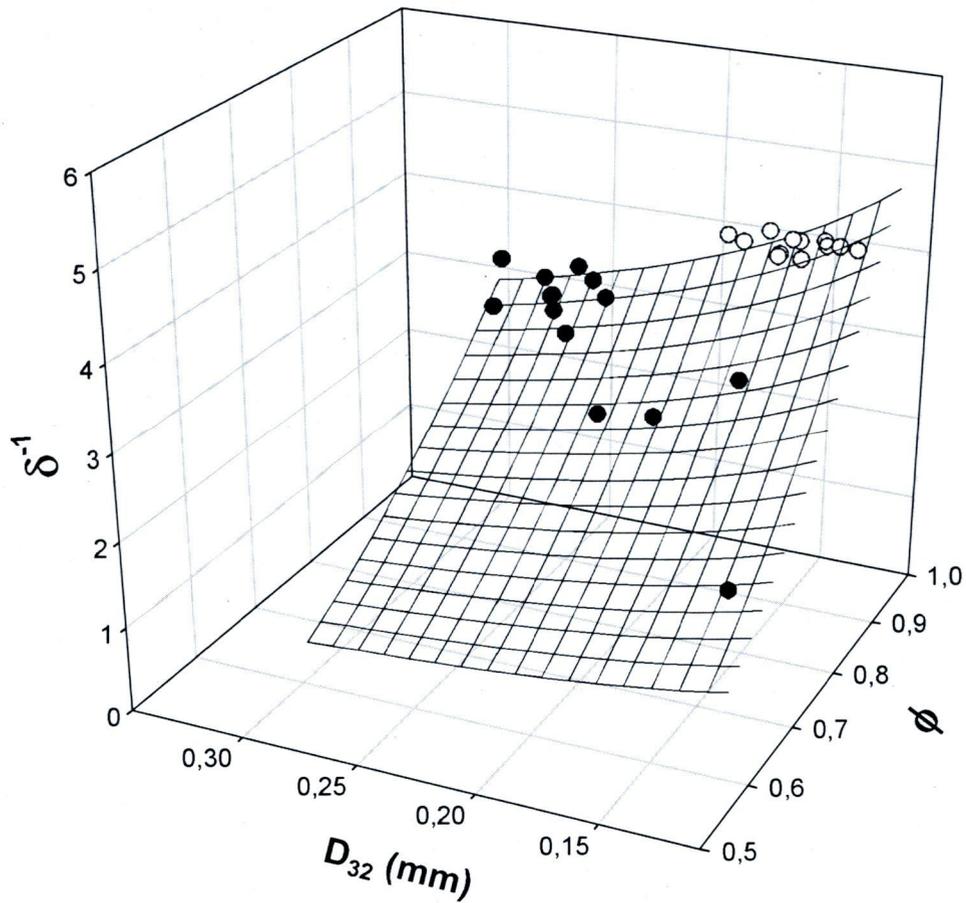


Figure 2-13: Prediction of apple juice foams degree of solidity (inverse phase angle) with their structural parameters (air volume fraction and bubble mean diameter) for different foaming agents: (●) methylcellulose, and (○) egg white.

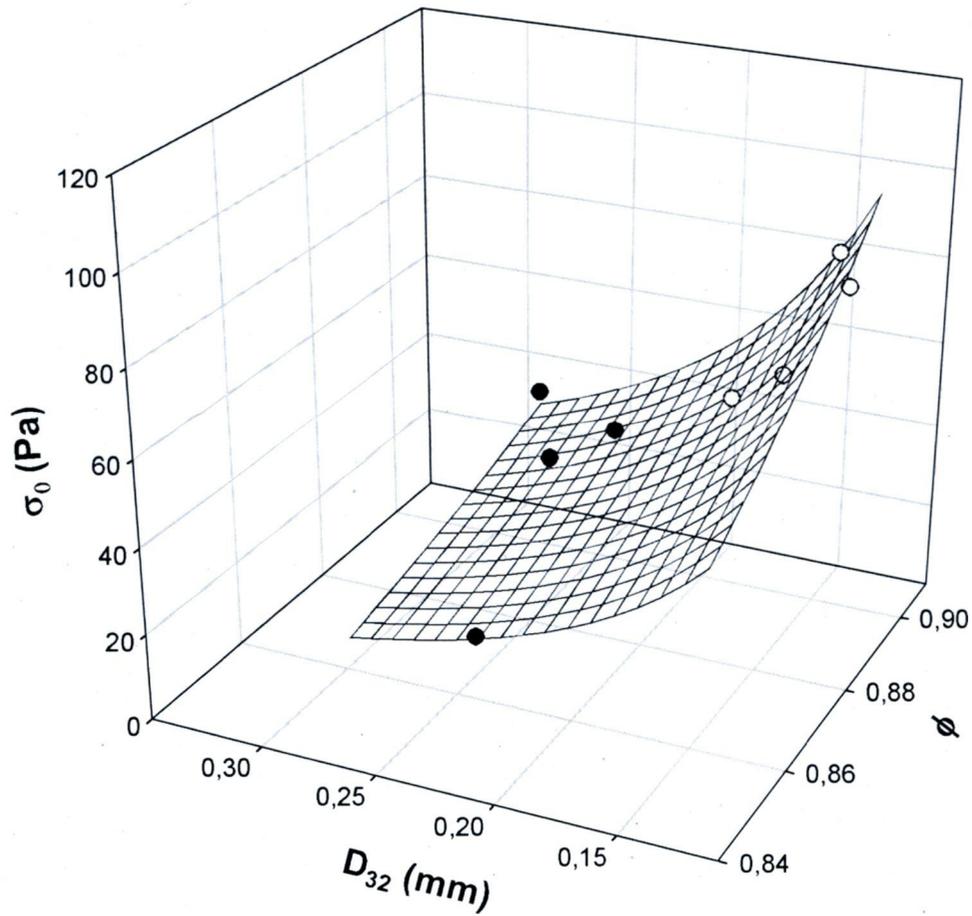


Figure 2-14: Prediction of apple juice foams degree of solidity (yield stress) with their structural parameters (air volume fraction and bubble mean diameter) for different foaming agents: (●) methylcellulose, and (○) egg white.

4. Conclusions

In general, EW foams were less stable, but showed higher degree of solidity (stronger structures), higher foaming capacity, and smaller bubbles than MC foams. Foam stability increased with concentration of foaming agent, and was governed by the rheology of the continuous phase. Foams rheology results obtained by the vane method were equivalent, but more sensitive than those obtained by traditional dynamic rheology giving more emphasis concerning the solidity. Foams with the highest degree of solidity were 0.2% MC and 2-3% EW, respectively. It was demonstrated that the degree of solidity of the foams could be predicted from its structural properties (air volume fraction and average bubble size), independently of its formulation and preparation method.

Chapitre 3: Foam-mat freeze-drying of apple juice. Part

1: Experimental data and ANN simulations

Narindra Raharitsifa² et Cristina Ratti¹

¹Département des sols et de génie agroalimentaire, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec G1K 7P4, Canada

²Département des Sciences des Aliments et de Nutrition, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec G1K 7P4, Canada

Institute of Nutraceuticals and Functional Foods (INAF),
Université Laval, Pavillon Comtois – FSAA,
Québec, Canada G1K 7P4

Résumé

La lyophilisation du jus de pomme avec ou sans moussage était étudié pour évaluer s'il y a une diminution du temps du procédé suite au moussage. Les mousses étaient préparées en fouettant le jus de pomme avec addition de méthylcellulose ou de blanc d'œuf à différentes concentrations comme agents moussants et stabilisants. Des échantillons de jus de pomme avec et sans moussage à épaisseurs différentes et à poids initiaux différents étaient congelés à -40°C et ensuite lyophilisés à 20°C pendant 48h sous-vide. La perte de poids des échantillons et la température étaient suivies à différents temps le long du procédé. Un modèle mathématique basé sur le réseau de neurones artificiels (RNA) était développé pour représenter les courbes de la cinétique et de la température des produits durant la lyophilisation. Le moussage réduisait le temps du procédé quand la comparaison a été faite à une épaisseur égale. Cependant, la faible densité des mousses diminuait le poids de charge au séchoir. Malheureusement, l'optimisation du procédé ne permettait pas la détermination d'une épaisseur minimale pratique des mousses pour accroître en même temps la vitesse de séchage et la capacité de production.

Mots clés : Mousse, lyophilisation, modélisation RNA, méthylcellulose, blanc d'œuf.

Abstract –

Freeze-drying of foamed and non-foamed apple juice was studied in order to assess if there is a reduction in process time due to foaming. Foams were prepared by whipping apple juice with methylcellulose or egg albumin at different concentrations. Foamed and non-foamed juice samples having different thickness and different initial weight were frozen at -40°C and then freeze-dried at 20°C during 48 hours under vacuum. Sample weight loss and temperature were followed at different process times. A mathematical model based on artificial neural networks (ANN) was developed to represent foam kinetics and temperature curves during freeze-drying. Foaming reduced process time if the comparison was done at equal sample thickness. However, lower density of foamed materials decreases weight load to the dryer. Unfortunately, the optimization of the process did not permit the determination of a practical minimal foam sample thickness to enhance both drying rate and dryer throughput.

Keywords: Foam, freeze-drying, ANN modeling, methylcellulose, egg white.

1. Introduction

Freeze-drying is usually used to manufacture dehydrated products with excellent final quality due to the low temperatures required in the process and the direct passage of water from solid to vapour states. Organoleptic quality and rehydration capacity decrease significantly during most of dehydration process (Nijhuis et al., 1998). In freeze-drying process, however, structure and shape are maintained; the original flavour and aroma are retained, as well as vitamins and minerals (Ratti, 1994, 2001). Freeze-dried products present higher solubility, longer shelf life, higher reduction in weight and the possibility to perform rehydration at any level. The process is largely used to dry thermal sensitive products such as antibiotics, bacteria, pharmaceutical products, food ingredients or those with high value-added such as coffee, herbs or nutraceuticals (Wolff and Gibert, 1988; Palmfeldt et al., 2003). However, the energy consumption to maintain vacuum during the long processing times involved in freeze-drying is highly expensive, which constitutes the main disadvantage of this technique. Researchers in the food area such as Sharma and Arora (1995) found that the decrease in sample thickness helps reducing the sublimation time and the exposure time of the dry layer to higher temperatures. Thickness is thus an important parameter to control the process.

On the other hand, some researchers successfully used foaming to decrease processing times during conventional hot-air drying of liquids and pastes (Morgan et al., 1961; Karim and Wai, 1999). In this technique called 'foam-mat drying', a liquid is whipped to form stable foam, and then dehydrated by thermal means. The larger surface area exposed to the drying air seemed to be the cause of moisture removal acceleration (Brygidyr et al., 1977). Other researchers, however, pointed out capillarity as the main moisture movement within the product during foam-mat drying (Sankat and Castaigne, 2004). Many studies concerning physical and organoleptic characteristics were undertaken on the application of this process to mango (Cooke et al., 1976); tamarind juice (Vernon-Cardé et al., 2001), starfruit puree (Karim and Wai, 1999); whole egg (Muhammad et al., 1988; Satyanarayana and Murali, 1988) or ripe bananas (Sankat and Castaigne, 2004). Other studies were done concerning the application of foaming to the food industry (Prud'homme and Khan, 1996;

Piazza et al., 2008). No work has, however, focused on the study of foaming application prior to freeze-drying.

The present work brings into play foam-mat with freeze-drying process to study the possibility of acceleration of drying kinetics. Drying rate and heating rate are the two main factors to be managed during foam-mat freeze-drying. When the drying progresses too rapidly, the dried product can be blown out by the escaping water vapour. Moreover, a too high heating rate may generate melting or collapse of the product (Bellows and King, 1973; Roos, 1995). These phenomena produce physical and structural changes giving an unattractive product which is difficult to reconstitute. It is thus gainful to develop a mathematical model to predict the moisture content and the temperature during the foam-mat freeze drying at diverse conditions in order to improve the drying rate but avoiding long manipulations.

Artificial neural networks (ANN) are non-linear set of equations inspired on a simplified model of the human brain function. It has the capability to self-adapt in order to relate complex non-linear relationships between input and output variables. It has been successfully used in different areas such as drying (Huang and Mujumdar, 1993), prediction of shrimp growth (Yu et al., 2006) or for food processes optimization (Mittal et Zhang, 2002; Torrecilla et al., 2005).

The present work proposes to study the application of foaming prior to the freeze-drying process in order to accelerate drying kinetics. The objectives are (a) to study experimentally freeze-drying of foamed and non-foamed apple juice, (b) to develop a model by ANN to predict the moisture content and temperature during freeze-drying, and (c) to determine the optimum thickness to accelerate the process throughput.

2. Materials and methods

2.1 Materials

Clarified apple juice (Del Monte, Nabisco, Ont., Canada) having pH 3.5 was purchased from a local supermarket and stored at -4°C until use. Foaming and stabilizing agents used

to form foams out of apple juice were egg white powder (Newly Weds, QC, Canada) and methylcellulose (Methocel 65HG, Fluka BioChemika 64670, Buchs Sg, Switzerland).

2.2 Foam preparation

Proper amounts of apple juice and foaming agent were weighed to give final concentrations of 1% (w/w) methylcellulose (MC) and 3% (w/w) egg white (EW). These concentrations have been previously found to be appropriate in order to form stable foams of apple juice (Raharitsifa et al., 2006).

2.3 Freeze-drying

Foams were poured carefully with a spatula into beakers (68 x 88mm, VWR) at four thickness levels (1, 4, 6 and 8cm). Non-foamed apple juice was used as control. Foamed and non-foamed juice samples were first frozen at -40°C and then freeze-dried at 20°C during 48h under vacuum (VIRTIS, Unitop 400l Gardinier, New-York, USA). The drying was performed at a pressure of less than 4Pa. Temperature of the product was followed as a function of time with a thermocouple (MVP Probes, Omega) carefully placed before freezing at 1 mm from the sample bottom.

2.4 Moisture content

Moisture content (dry basis) data were obtained by weighing the samples after 1, 3, 5, 7, 9, 12, 18, 24 and 48h of freeze-drying at 20°C, in a balance (Mettler AE 200, Grefensee, Zürich) with 0.0001g accuracy. Samples were then transferred to a vacuum oven at 50°C for 48h to obtain the dried weight (AOAC, 1990). Drying curves were expressed in terms of the dimensionless relative moisture content (X/X_o):

$$X/X_o = \frac{W(t) - W_d}{W_i - W_d} \dots\dots\dots(\text{Éq.3.1})$$

where $W(t)$ is the moisture content at time t , W_d is the dried weight and W_i , the initial weight.

2.5 Neural network modeling

The neural network was built on equations of the type of Eqn. (2) for both moisture content and product temperature:

$$Y = f_2(LW_{2,1}(f_1(IW_{1,1}p + b_1)) + b_2) \dots\dots\dots(\text{Eq.3.2})$$

where p is a column vector containing the input variables (thickness and time); Y is the network response containing the output variables (moisture content and temperature); $IW_{1,1}$ is the weight matrix between the input layer and the hidden layer; $LW_{2,1}$ is the weight matrix between the hidden layer and the output layer; b_1 is the bias of the hidden layer; b_2 is the bias of the output layer; f_1 refers to the logarithmic transfer function and f_2 , to the linear transfer function.

Matlab 7.3.0 software with the Neural Network Toolbox 4 (The Mathworks, Inc., Natick, MA, USA) was used for ANN modeling of product water content and temperature. A hyperbolic tangent was chosen as the transfer function for the hidden layer with 10 hidden neurons. One hidden layer is sufficient to approximate any continuous non-linear function. In addition, a linear transfer function was employed in the output layer. The back-propagation network training function was that of Levenberg-Marquardt. Experimental data at 1, 4 and 6 cm thickness was used for the training. Supervised training was ended when the mean square error, which compared the target-value to an estimated output, was less than 0.0001.

In order to assess the prediction capabilities of the ANN model, moisture content curves for 8cm-thickness foam and juice were done.

2.6. Statistics

Experimental measurements were done at least in duplicate, and triplicated when the coefficient of variation was higher than 10%. Data were subjected to statistical analysis by the general linear model (GLM) procedure of SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) and a least significant difference (LSD) test with a confidence interval of 95% was used to compare the means.

3. Results and Discussion

3.1 Moisture content

Product thickness, as well as the freeze-dryer heating plate temperature and total pressure, are variables that should be controlled in the freeze-drying process. Thus, samples at equal thickness are compared to assess drying rates. Figure 3-1 shows the freeze-drying curves of 4cm thickness foamed and non-foamed apple juice. Foamed juice freeze-drying rate is much faster than non-foamed juice at 4cm thickness. For instance, the time to reach $X/X_0=0.1$ for the non-foamed juice, MC and EW foamed apple juice (at 4cm thickness) was 41h, 12h and 8h respectively, showing that not only foaming but also the foaming agent has an impact on drying rate. The reason why EW foamed apple juice freeze-dries faster than the MC one could be explained by the fact that to achieve efficient heat and mass transfer in drying, small bubble size has an advantage in terms of having large surface to volume ratio (Moy, 1971). Hertzendorf and Moshy (1970) stated in their microflake process research that drying time was found to be proportional to the square root of the bubble size. In our case, previous research showed that 3%EW foamed apple juice presents smaller bubble size than those with 1%MC (Raharitsifa et al., 2006) thus sustaining the faster drying rate found experimentally. On the other hand, the strong interaction between water and methylcellulose (Hatakeyama et al., 2000) can also contribute to slow down its drying rate.

Unfortunately, the lower density of foamed materials as compared to non-foamed ones (0.159, 0.113 and 1.065g/cm³ for 1%MC and 3%EW foams and juice, respectively, Raharitsifa et al., 2006) decreases the weight load of the dryer undermining the potential economical benefits of foaming prior to freeze-drying. It is thus desirable to explore the possibility of finding conditions for which foamed juice has not only higher drying rate but also a higher drying throughput than non-foamed juice. In the case of foam-mat drying (hot air) process many authors have reported that, at the same thickness, foam exhibited shorter drying time in comparison to non-foamed mango pulp (Rajkumar et al., 2007), tamarind pulp (Vernon-Carter et al., 2001) or juice (Hertzendorf and Moshy, 1970).

However, not in many of these cases, the dryer throughput was actually increased. As said previously, product thickness is an important variable during freeze-drying. Figures 3-2, 3-3 and 3-4 show the drying curves of foamed (MC and EW) and non-foamed apple juice samples, respectively, at different thickness during freeze-drying. As can be seen, thickness has a significant impact ($p < 0.01$) on both foamed and non-foamed juice freeze-drying curves.

However, the effect of thickness is more pronounced for the non-foamed samples (juice). For instance, the time for a non-foamed sample having 4cm thickness to reach $X/X_0 = 0.1$ is 4 times higher than that for 1cm, but just 2 times higher if the product is foamed. Thickness could be thus a good optimization variable to increase drying rate as well as dryer throughput.

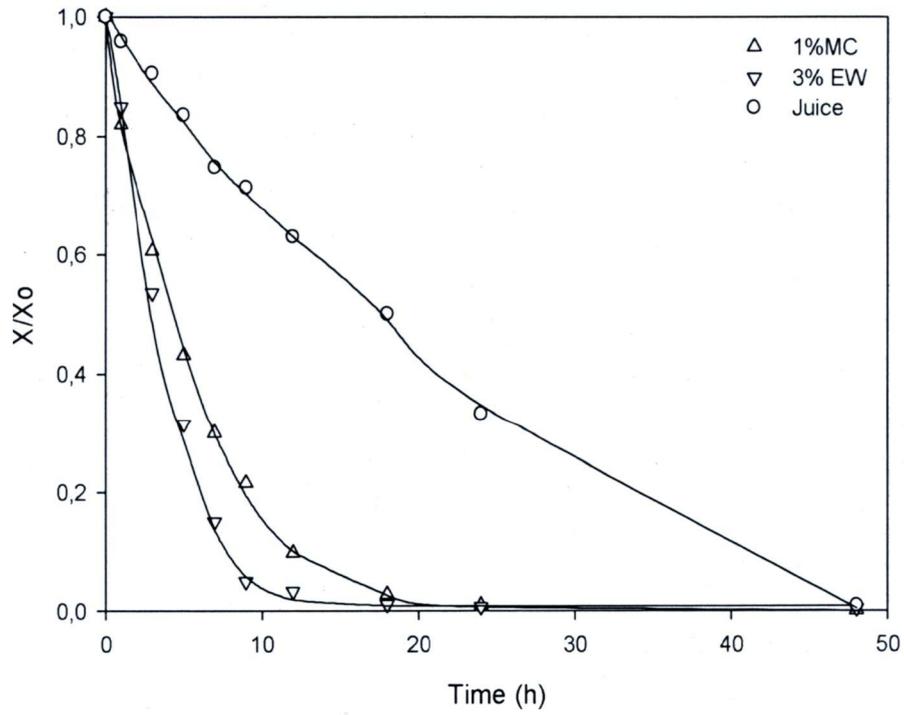


Figure 3-1: Freeze-drying curve of non-foamed and foamed apple juice at 4cm thickness.

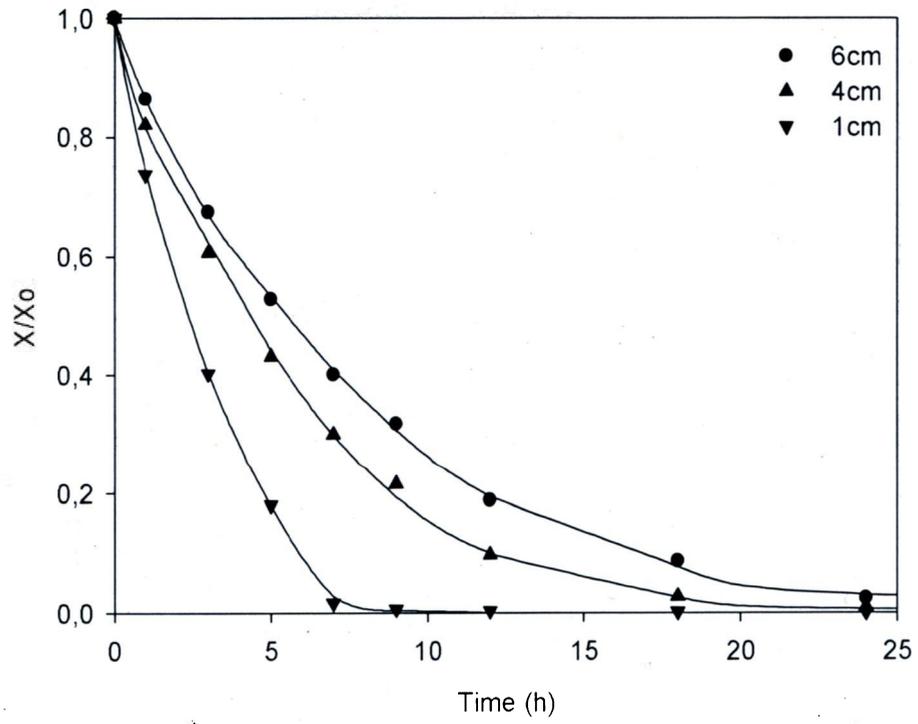


Figure 3-2: Freeze-drying curve of 1%MC foamed apple juice at different thickness.

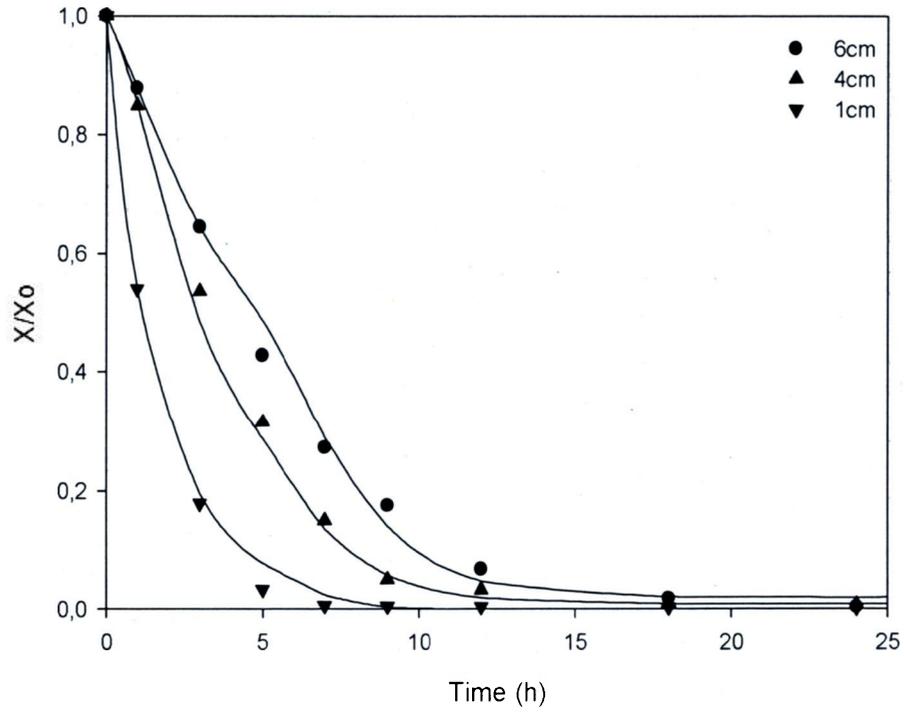


Figure 3-3: Moisture content of 3%EW foamed apple juice at different thickness.

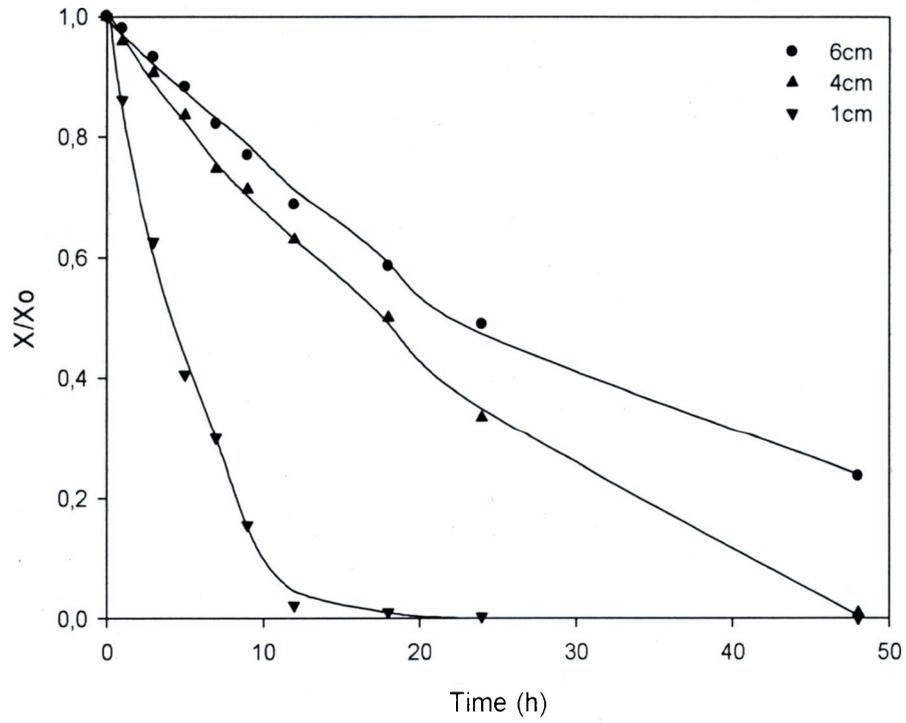


Figure 3-4: Moisture content of non-foamed juice at different thickness.

Figures 3-5, 3-6 and 3-7 show the product temperature during freeze-drying of foamed (MC and EW) and non-foamed apple juice samples, respectively. The predicted curves were plotted on the same figure. The shapes of the curves look similar to the ones obtained for most of the products during the freeze-drying process (Sagara and Ichiba, 1994). The initial temperature of both the heating plate and product after freezing was -40°C . As the temperature of the heating plate increases to reach 20°C , product temperature increases with a delay corresponding to the sublimation time. The duration of the sublimation step had a good correlation with the foam thickness (for example 1h for 1cm; 5h for 4cm and 8h for 6cm, for 3%EW foam in Figure 3-6). After all the ice sublimated, the temperature increased gradually to reach the heating plate temperature.

A simplified energy balance for the frozen region can be estimated by supposing a lumped parameter approach due to the higher thermal conductivity of frozen materials:

$$m_i C_{pi} \frac{\partial T}{\partial t} = Q_{input} - \Delta H_s N_w \dots\dots\dots (\text{Eq.3.3})$$

where m_i and C_{pi} , are the mass and the specific heat of frozen material, respectively; Q_{input} is the heat that gets into the frozen control volume by conduction, ΔH_s is the sublimation heat and N_w , the water flux due to sublimation. In (3.3), when all the heat received in the control volume is used for sublimation, then $\partial T / \partial t = 0$ and consequently, T is constant. In this case, neither heat nor mass transfer can be considered as the controlling step. EW foamed apple juice samples at 4cm thickness (Figure 3-6) and non-foamed juice at 1cm thickness (Figure 3-7) presented this behaviour. On the other hand, the process can be considered to be mass transfer limited when N_w value is small, thus the derivative $\partial T / \partial t$ in (3.3) is positive. It is the case of juice samples at 4 and 6cm thickness for which temperature curves are above -40°C (initial temperature). Thus, in most cases, juice freeze-drying seems to be mass-transfer controlled. To end, limited heat transfer occurs in a situation where the derivative in (3.3) is negative. It is the case for EW foamed juice at 6-cm thickness (Figure 3-6) and MC at 4 and 6-cm thickness (Figure 3-5).

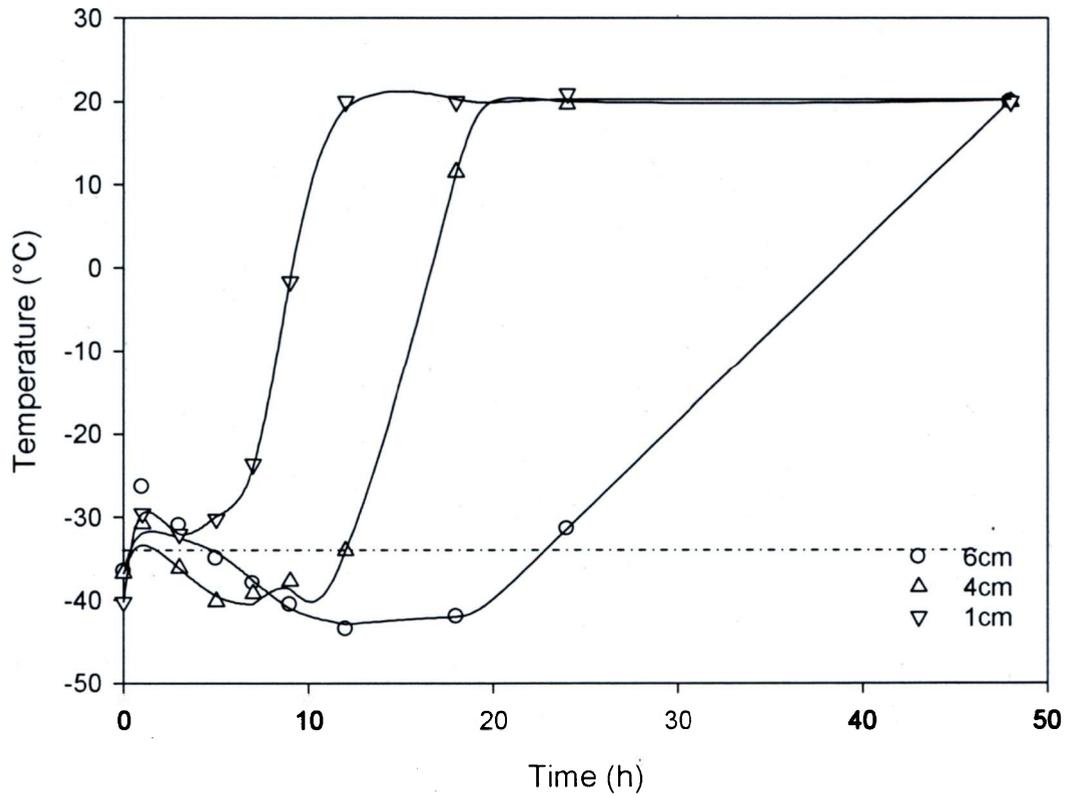


Figure 3-5: Experimental and ANN predicted temperature values during freeze-drying of 1% MC foamed apple juice at different thickness

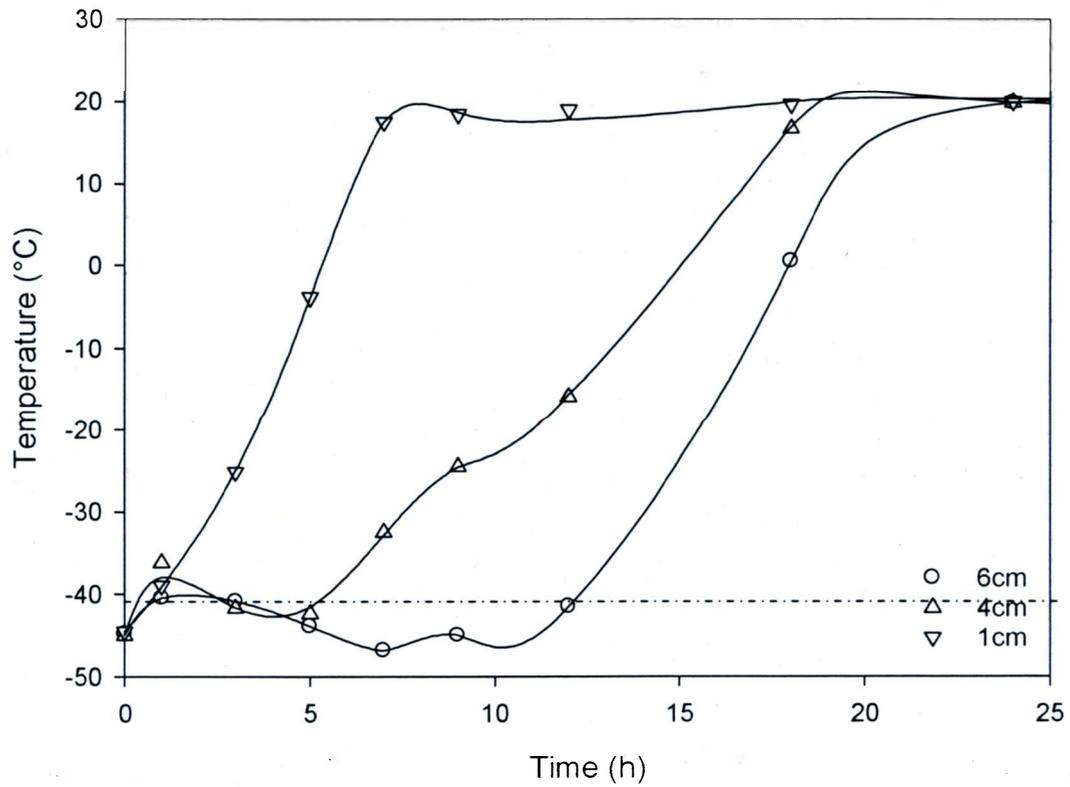


Figure 3-6: Experimental and ANN predicted temperature value during freeze-drying of 3%EW foamed apple juice at different thickness

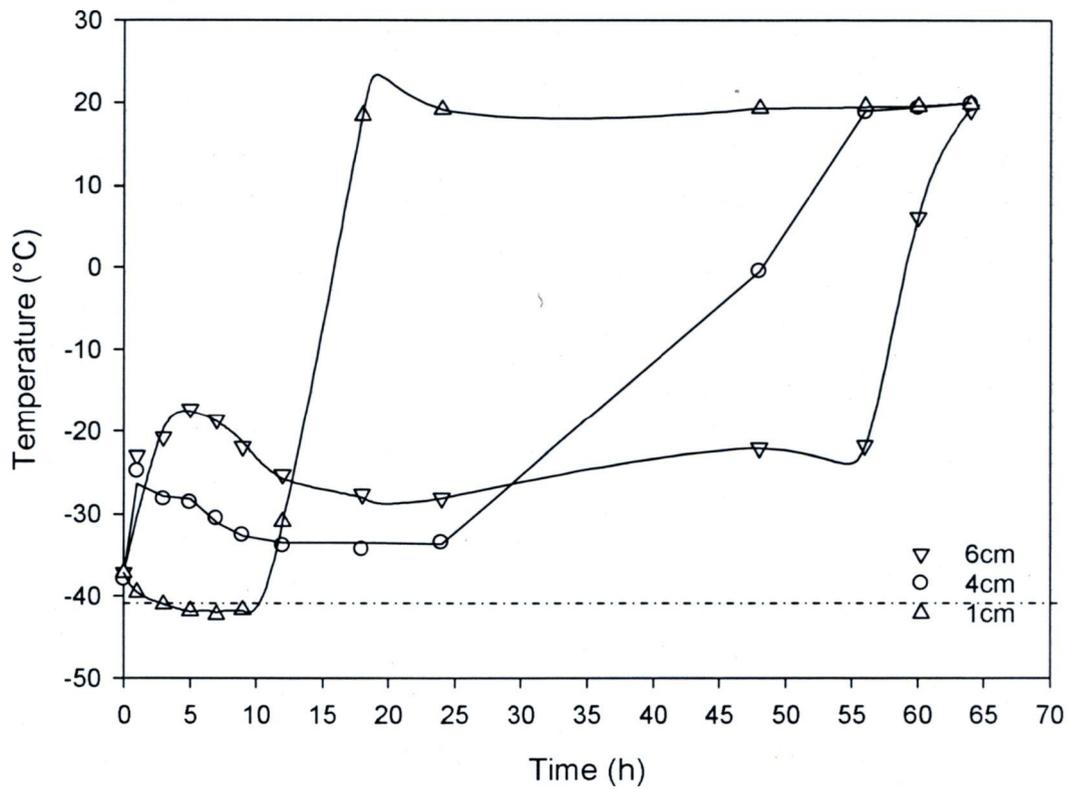


Figure 3-7: Experimental and ANN predicted temperature value during juice freeze-drying at different thickness

Low thermal conductivity of foams (0.026 W/m°C from Shamaeva et al., 1987) compared to that of juice (2.214 W/m°C from Mattea et al., 1986) makes foamed systems to be heat-transfer controlled during freeze-drying. To confirm this, freeze-drying curves (Figures 3-2, 3-3, 3-4) and temperature curves (Figures 3-5, 3-6, 3-7) showed that in the case of foams, time to reach low water contents was smaller than the time to attain the final temperature, and the contrary for the juice samples.

In summary, thickness is an important parameter in freeze-drying having different degrees of impact depending on the state (foamed or non-foamed) of the material. Thus, there could be a thickness for which foamed juice may present not only higher drying rate but also higher dryer throughput than non-foamed during freeze-drying. The determination of such optimal thickness must accomplish the following relationship:

$$\frac{t_{non-foamed}}{t_{foamed}} \geq \frac{\rho_{non-foamed}}{\rho_{foamed}} \dots\dots\dots (\text{Eq. 3.4})$$

where $t_{non-foamed}$ and t_{foamed} , are the freeze-drying times of non-foamed and foamed materials, respectively, and $\rho_{non-foamed}$ and ρ_{foamed} , the density of non-foamed and foamed materials.

3.2 Modelling and optimization

Artificial Neural Networks (ANN) was used to simulate moisture content and temperature during the process. The network structure associated with the present ANN model is presented in Figure 3-8. In Figures 3-1 through 3-7, experimental data is marked with symbols while the ANN predictions, with solid lines. As can be seen, the ANN values agreed closely to experimental data for all products at all the thicknesses. As an example, Figure 3-9 shows the excellent correlation for 1%MC foamed apple juice at 6cm thickness, for which $R^2=0.9996$. The R^2 values for the other food systems were always higher or equal to 0.9990. Figure 3-10 shows the prediction of the ANN model when compared to data that was not used for the training (i.e. juice and 1%MC foams having 8cm thickness).

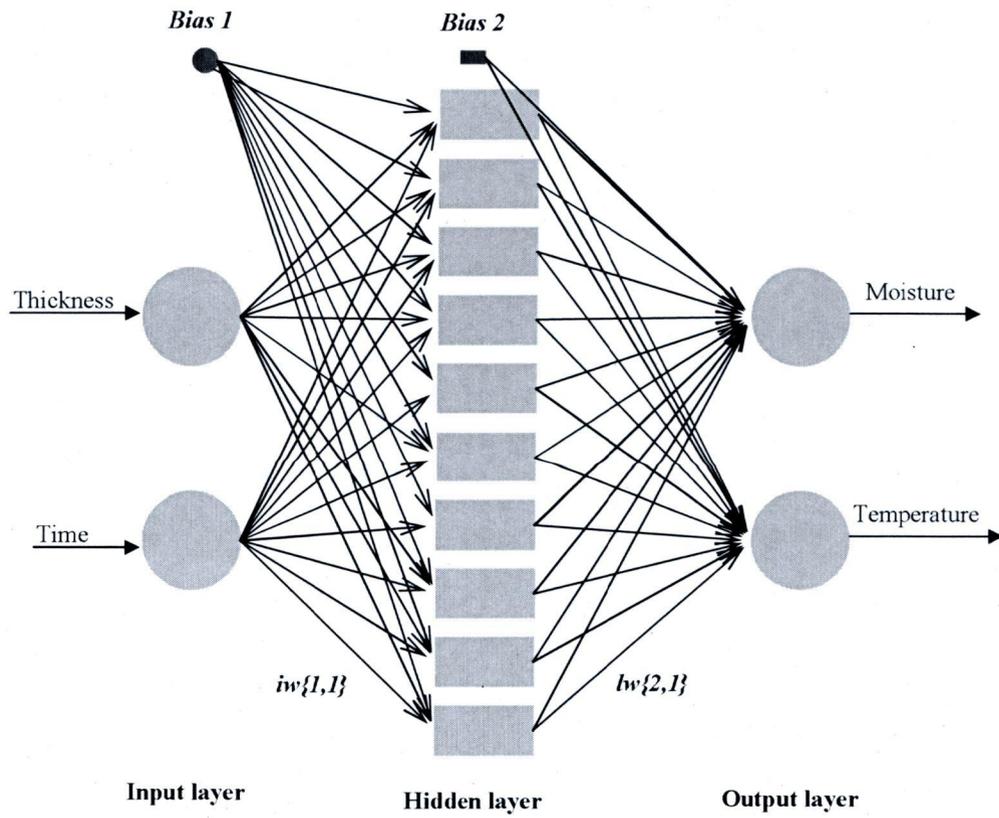


Figure 3-8: Structure of Artificial Neural Network (2/10/2)

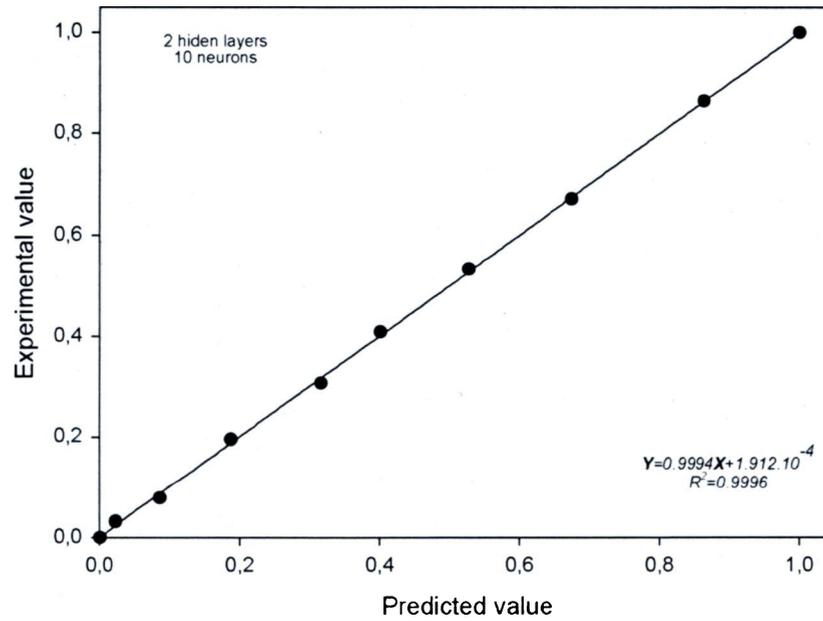


Figure 3-9: Correlation between moisture content experimental and predicted value of 1%MC foamed apple juice at 6cm

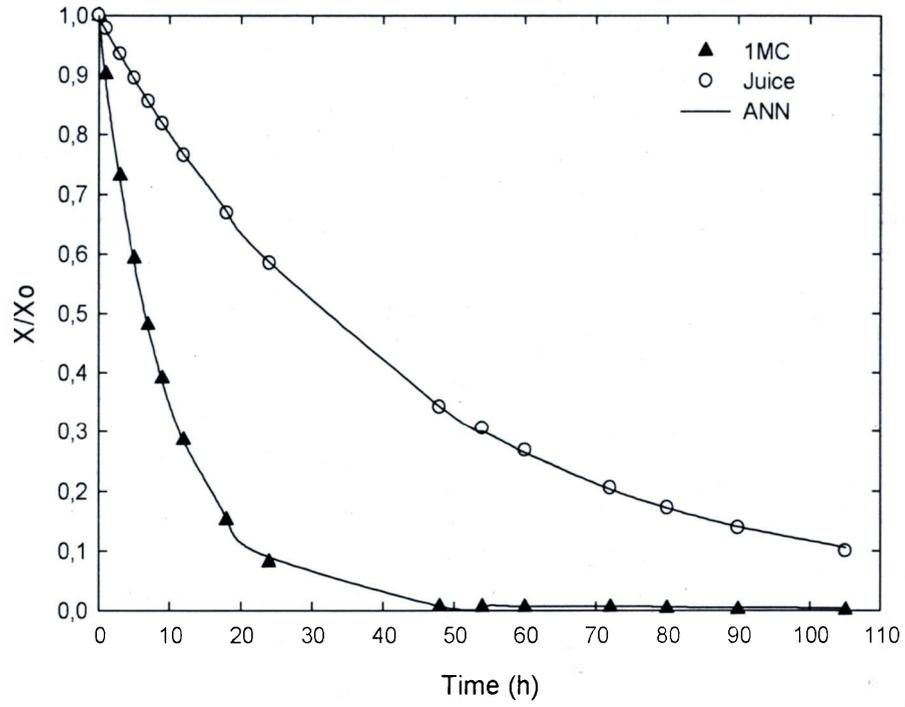


Figure 3-10: Comparison of MC foamed apple juice and non-foamed juice freeze-drying curve at 8cm thickness.

The comparison showed an excellent agreement confirming what some researchers found concerning the superiority of ANN to predict drying process (Yu et al., 2006; Goni et al., 2007) and demonstrating the capability of the ANN to learn and simulate with an excellent accuracy a physical problem from experimental data, without solving any complex numerical model.

The ANN model was then used to predict drying times for foamed and non-foamed juice samples in order to find the minimal thickness required to satisfy (4). On one hand, the density relationship between non-foamed and foamed samples was found to be 6.60 and 9.29 for 1%MC and 3%EW, respectively (Raharitsifa et al., 2006). On the other hand, Table 3-1 shows the results of the ratio of drying times for non-foamed to foamed samples from the ANN predictions. As can be seen, as the sample thickness increases, the ratio also increases. However, up to 8 cm thickness the ratio was never bigger than the density ratio, as required for process optimization. Thus, minimal thicknesses would probably be too big for a practical increase of the dryer throughput, both for foams made with MC and EW at the tested concentrations.

4. Conclusions

Foaming reduced freeze-drying time if the comparison was done at equal sample thicknesses. However, lower density of foamed materials decreases mass load to the dryer. This study revealed that foam-mat freeze-drying is limited by heat transfer while juice one is controlled by mass transfer. It was shown that the insulation property, characteristic of foams, was more significant than its increased surface area during freeze-drying process. Artificial neural networks can be used to obtain excellent predictions of moisture content and temperature during the freeze-drying process. No practical minimal thickness could be found for 1%MC or 3%EW foams in order to increase dryer throughput.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support of Fonds Québécois de la Recherche sur la Nature et les Technologies (FQRNT, Québec, Canada), as well as Olivier Quirion-Blais and Monica Araya for their valuable assistance during this study.

Table 3-1 : Thickness optimization for 1%MC and 3%EW foams from ANN predictions

Thickness (cm)	$t_{non-foamed} / t_{foamed}$	
	1%MC	3%EW
1	1.819	3.156
4	3.858	5.535
6	4.344	6.100
8	4.671	6.328

Chapitre 4: Foam-mat freeze-drying of apple juice. Part 2: Stability of powders during storage

Narindra Raharitsifa², Joseph Makhlouf² et Cristina Ratti¹

¹Département des sols et de génie agroalimentaire, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec G1K 7P4, Canada

²Département des Sciences des Aliments et de Nutrition, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec G1K 7P4, Canada

Institute of Nutraceuticals and Functional Foods (INAF),
Université Laval, Pavillon Comtois – FSAA,
Québec, Canada G1K 7P4

Résumé

Les isothermes de sorption et la température de la transition vitreuse sont deux paramètres nécessaires pour déterminer la stabilité des poudres durant le stockage. Les isothermes de sorption à différentes températures (5, 20 et 35°C) et la température de transition vitreuse en fonction de la teneur en eau étaient évaluées pour les poudres de jus de pomme avec (3% blanc d'œuf et 1% méthylcellulose) et sans moussage après lyophilisation en utilisant respectivement la méthode gravimétrique statique et la calorimétrie différentielle à balayage. Les isothermes à l'équilibre étaient ajustés avec l'équation de Guggenheim-Anderson-deBoer (GAB) tandis que la température de transition vitreuse avec le modèle de Gordon-Taylor. Après une lyophilisation à 20°C pendant 48h sous-vide, les produits secs étaient stockés à différentes températures (5 et 20°C) et en présence d'air ou sous-vide. Les propriétés nutritionnelles, physiques et structurelles étaient évaluées avant et à la fin du procédé de lyophilisation ainsi qu'après le stockage en déterminant la teneur en vitamine C, la solubilité, la couleur et la microstructure. Le jus de pomme sans moussage retenait plus de vitamine C et était plus soluble que ceux avec moussage après la lyophilisation. Cependant, les poudres de jus avec moussage présentaient une plus grande stabilité durant le stockage à 20°C qui concordait avec leur température de transition vitreuse plus grande. Le jus de pomme lyophilisé stocké à cette température (20°C) s'effondrait montrant une diminution de la solubilité et un changement de couleur important.

Mots clés : Stabilité, poudre de jus de fruit, lyophilisation par moussage, isotherme, transition vitreuse, qualité.

Abstract –

Sorption isotherms and glass transition temperature are two necessary parameters to determine the stability of powders during storage. Sorption isotherms at different temperatures (5, 20 and 35°C) and glass transition temperature as a function of water content were evaluated for foamed (3% egg white and 1% methylcellulose) and non-foamed freeze-dried apple juice powder by using respectively the static gravimetric method and differential scanning calorimetry. The equilibrium isotherms were fitted to the Guggenheim-Anderson-deBoer (GAB) equation while the glass transition temperature, to the Gordon-Taylor model. After freeze-drying at 20°C during 48 hours under vacuum, the dry products were stored at different temperatures (5 and 20°C) under regular ambient conditions or vacuum. The nutritional, physical and structural properties were assessed before and at the end of the freeze-drying process and after storage by determining vitamin C content, solubility, colour and microstructure. Freeze-dried non-foamed juice retained more vitamin C and was more soluble than foamed products after freeze-drying. However, foam-mat juice powders presented the highest stability during storage at 20°C, which agreed with their higher values of glass transition temperature. Freeze-dried juice stored at these conditions collapsed showing a decrease in solubility and a marked colour change.

Keywords: Stability, apple juice powders, foam-mat freeze-drying, isotherm, glass transition, quality.

1. Introduction

Freeze-drying is a common method for producing stable food products, with the highest quality and long shelf life. This process is largely used to dry thermal sensitive products such as antibiotics, bacteria, pharmaceutical products, food ingredients or those with high value-added such as coffee, herbs or nutraceuticals (Wolff and Gilbert, 1988; Palmfeldt et al., 2003). However, the energy consumption to maintain vacuum during the long processing times involved in freeze-drying is highly expensive, which constitutes the main disadvantage of this technique. Foaming prior to freeze-drying has been recently proposed in order to reduce dehydration time of apple juice (Raharitsifa et al., 2008), or egg white (Muthukumaran et al., 2007). However, quality changes happening during and after freeze-drying of foamed materials have not been reported so far, even if the fact that the different structure and higher porosity of these materials could cause increased deterioration in terms of oxidation, aroma release, rehumidification, etc. Glass transition temperature as well as sorption isotherms are important parameters which could help in the determination of the optimal process and storage conditions of these powders.

Sorption isotherms relate equilibrium moisture content to water activity at a given temperature, and are of particular importance in the determination of freeze-drying end point which ensures economic viability and microbiological safety (McLaughlin and Magee, 1998), in selecting appropriate packaging material (Gal, 1987), in describing the hygroscopic properties and stability during storage. In addition, the net isosteric heat of sorption (q_{st}), which is usually obtained from sorption experimental data, can be used to estimate the energy requirements of a dehydration process and provides information on the state of water in food products (Ratti et al., 1989). The moisture content level at which the q_{st} reaches the latent heat of vaporization of water is considered by some researchers as an indication of the bound water in the product (Wang and Brennan, 1991). Due to the complex composition and structure of foods, mathematical prediction of sorption behaviour is difficult. The Guggenheim, Anderson and de Boer (GAB) isotherm equation has been widely used in to describe the sorption behaviour of foods such as meat products (Lind and Rask, 1991), vegetables (Kiranoudis et al., 1993), agar-agar and derivatives (Iglesias and

Bueno, 1999), and fruits (Kaymak-Ertekin and Gedik, 2004; Moraga et al., 2006). The GAB equation is an extension of the two-parameter (M_o , C) Brunauer, Emmett and Teller (BET) model, taking into account the multilayer region through the introduction of a third parameter, k (Perez-Alonso et al., 2006). GAB model has been recommended as the fundamental equation for the characterization of the water sorption of food materials in a wide range of water activities (Wolf et al., 1985) as well as by the European project group COST 90 (Cooperation in Scientific and Technical Research) on physical properties of foods.

Glass transition temperature, T_g , is considered a complementary parameter to determine stability of foods during storage (Del Valle et al., 1998; Sablani et al., 2007). In fact, if the storage temperature is above the glass transition temperature of the product, important changes in the state of the materials may accelerate the mechanisms of physico-chemical deterioration in foods with the risk of decreasing their shelf-life (Slade and Levine, 1991; Roos et al., 1996). T_g has been reported in relation to quality changes of sugars (Ahmed et al., 2005; Foster et al., 2006; Haque and Roos, 2006; Jovanovic et al., 2006), freeze-dried fruits (Shishegarha and Ratti, 1999; Sà et al., 1999; Telis and Sobral, 2002; Marques et al., 2007), garlic (Ratti et al., 2007; Madamba et al., 1996; Rahman et al., 2005), etc. Gordon-Taylor model was found to be useful in the prediction of the T_g as a function of water content (Roos, 1995).

From the above considerations, the main goal of this work was to characterize the quality after freeze-drying as well as the stability during storage of freeze-dried foamed apple juice, and to compare it to non-foamed samples, with the following objectives (a) to evaluate the quality changes (nutritional, physical, organoleptic and structural qualities) after freeze-drying and storage, (b) to determine their sorption isotherm and the net isosteric heat of sorption, and (c) to obtain their glass transition temperature and therefore the critical water activity and critical water content.

2. Materials and methods

2.1. Materials

Clarified apple juice (Del Monte, Nabisco, ON, Canada) having pH 3.5 was purchased from the local supermarket and stored at 4°C until use. The foaming and stabilizing agents used to foam the apple juice were egg white powder (Newly Weds, QC, Canada) and methylcellulose (Methocel 65HG, Fluka BioChemika 64670, Buchs Sg, Switzerland).

2.2. Foam preparation

The apple juice was whipped with a mixer at 800 rpm during 5 minutes while the foaming agent was slowly poured into it, at room temperature. Proper amounts of apple juice and foaming agent were weighed to give final concentrations of 1% (w/w) methylcellulose and 3% (w/w) egg white. Those concentrations were found to be appropriate to obtain stable foams as previously reported (Raharitsifa et al., 2006). Non-foamed apple juice was used as control.

2.3. Freeze-drying

Foams (20 grams) were poured carefully with the help of a spatula into 250ml beakers up to a thickness of 4 cm (VWR International Ltd, Montreal, QC). Samples were then placed in a medical freezer (SANYO, MDF 235, Gunma, Japan) at a temperature of -40°C for 24 h and then freeze-dried at 20°C during 48h under vacuum. The drying was performed at a pressure of 4Pa in a Unitop 4001 (Virtis, Gardinier, 12525, New-York, USA) equipped with a condenser Freeze mobile 25EL (Virtis, New-York, USA). Quality parameters such as solubility, vitamin C, color and microstructure of foamed and non-foamed samples were measured before and after freeze-drying.

2.4. Sorption isotherm

Sorption isotherms were determined by using the static gravimetric method. The salts (LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃) were dissolved in boiling distilled water and slowly cooled to test temperatures for crystallization to form saturated salt solutions. Freeze-dried samples (approximately one gram) were placed in aluminium dishes, and then in vacuum desiccators containing saturated salt solutions providing water activities (a_w) in the range of 0 to 0.5. They were stored in an incubator (Sanyo Scientific, MIR-153, Bensenville, IL 60106) at 5, 20 and 35°C for 10 days. After equilibrium were reached, water activity of the salt solution was measured with a water activity meter (Aqualab Series 3 model TE, Decagon Device, Inc., Pullman, WA, USA) at the test temperature, and the freeze-dried samples were weighed in an analytical balance (Mettler AE 200, Grefensee, Zürich, with an accuracy of 60.0001 g) and transferred to a vacuum oven at 50°C for 48h to obtain the dried weight (AOAC, 1990). The equilibrium moisture content in dry basis was then determined and plotted against water activity.

In order to represent the water sorption behaviour of freeze-dried powders, the GAB (Guggenheim, Anderson and deBoer) model was used:

$$M = \frac{M_o n C a_w}{(1 - n a_w)(1 + (C - 1) n a_w)} \quad (\text{Éq. 4.1})$$

where M is the equilibrium moisture content (kg H₂O/kg db); M_o is the monomolecular layer moisture content on dry basis (kg H₂O/kg db); C is the surface energy constant and n is a constant correcting the properties of the multilayer molecules with respect to the bulk liquid. Parameters M_o , n and C were obtained from experimental data by nonlinear regression using SigmaPlot software (Version 10.0, Systat Software Inc., Richmond, California, USA).

2.5. Isothermic heat of sorption (q_{st})

The net isosteric heat was obtained from the Clausius-Clapeyron equation by a numerical method:

$$\frac{\partial \ln(p/p_o)}{\partial (1/T)} = \frac{\partial \ln(a_w)}{\partial (1/T)} = -\frac{q_{st}}{R} \quad (\text{Eq.4.2})$$

where p is the equilibrium pressure (Pa); p_o is vapor pressure of pure water (Pa); a_w is the water activity; T is the absolute temperature (K); q_{st} is net isosteric heat sorption (kJ/mol); R is the universal gas constant (kJ/mol K). The net isosteric heat of sorption can be calculated from Eq.4-2 by plotting $\ln(a_w)$ against $1/T$ for a specific moisture content, followed by the determination of the slope of the curve, which equals $-q_{st}/R$. Afterwards, the curve q_{st} is represented as a function of M .

2.6. Glass transition temperature (Tg)

Differential scanning calorimetry (DSC Pyris 1, Perkin-Elmer, Norwalk, CT) equipped with a refrigerated cooling system (Intracooler II, Perkin Elmer, Shelton, CT, USA) was used to determine the glass transition temperature of freeze-dried samples at various moisture contents. Indium ($T_m=156.6$ °C, $\Delta H_{fus}=28.5$ J/g) (Perkin Elmer standards) was employed for temperature and heat flow calibration. Samples were weighed and placed in aluminium pans which were sealed hermetically to avoid any moisture loss during the analysis. An empty aluminium pan was used as reference.

Drying and storage cause a thermal history effect on the T_g , which in turn produce a structural relaxation in the product. This is seen as an overshoot in the DSC thermograph during the first scan. Therefore, all the samples were scanned twice, the first scan normally being from -60 to 90 °C at 25 °C/min. The sample was then cooled down to -60 °C at 40 °C/min before undergoing a second scan from -60 to 90 °C at 5 °C/min. To avoid condensation of moisture, the sample head was purged with dry nitrogen (30 ml/min). Glass transitions were recorded as the onset temperature of the discontinuities in the curves of heat flow versus temperature. The Gordon-Taylor equation (Gordon and Taylor, 1952) Eq. 4-3 was fitted to the experimental glass transition temperature data:

$$T_g = \frac{w_1 T_{g1} + k w_2 T_{g2}}{w_1 + k w_2} \quad (\text{Eq.4.3})$$

where w_1 and w_2 are the weight fractions of the solute and water respectively, k is a constant, T_{g1} and T_{g2} are the T_g of the anhydrous solute and amorphous water (-135 °C

from Slade and Levine, 1995), respectively. Nonlinear regression analyses were performed using SigmaPlot software package (Version 10.0, Systat Software Inc., Richmond, California, USA).

2.7. Solubility

Solubility was determined using a method adapted from reported studies (Doymaz, 2004; Giri and Prasad, 2007). Solubility ratio (*SR*) was determined by immersing 5 g (initial weight) of dried samples into a pyrex brand crystallizing dish (80x40mm) containing distilled water equivalent to the eliminated amount. The crystallizing dish was placed on a Fisher Isotemp Ceramic Top Hotplate 10" x 10" (International Model, Garner, NC 27529, USA), which was agitated at constant speed (100 rpm). Two temperatures were controlled for the experiment, 20 or 100°C. The solubility experiment was stopped at 30, 60, 120 and 180 seconds and the solution was filtered. The solids left in the filter were dried for 30 minutes at 70°C (to remove the excess solution) and then weighed (final weight). The accuracy of the balance (Mettler AE 200, Grefensee, Zürich) was 0.0001 g. Solubility ratio was obtained by dividing the difference of the initial and final weights (before and after dissolution) by the initial weight.

2.8. Vitamin C

The ascorbic acid content in the fresh and freeze-dried products was determined by 2,6-dichlorophenol-indophenol (DCPIP) visual titration method (Hughes, 1983). The reagents used were 3% meta-phosphoric acid (HPO_3) solution, ascorbic acid standard containing 0.1 mg L-ascorbic acid in 1 ml of 3% HPO_3 and the dye solution containing 50 mg of 2,6-dichlorophenol-indophenol in 200 ml of distilled water. All the reactants were bought from Sigma-Aldrich (Canada Ltd, Oakville, ON).

2.9. Colour measurement

The CIE parameters L^* , a^* and b^* values were measured with a Minolta CR-300 (Osaka, Japan) colorimeter. The colorimeter was calibrated with a white standard calibration plate as provided by the manufacturer. The colour values were expressed as L (whiteness or brightness/darkness), a (redness/greenness) and b (yellowness/blueness). Luminosity (L^*) and total colour difference (ΔE) were calculated from the following equations:

$$L^* = L - L_o \quad (\text{Éq.4.4})$$

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_o)^2 + (a - a_o)^2 + (b - b_o)^2} \quad (\text{Éq.4.5})$$

2.10. SEM analysis

Structure of freeze-dried products was observed by scanning electron microscopy (SEM) (JEOL Model 6360LV, Tokyo, Japan). Small amounts of samples were mounted on SEM specimen stubs by using double-sided adhesive tape. The mounted samples were then coated with Au (Gold) for 2 x 60 second in a SEM sputter coating system (Nanotech, SEM2, UK) under high vacuum at 2.5 kV. The coated samples were viewed with SEM at 30 kV in the secondary electron mode at 50 and 350X magnifications.

2.11. Storage

Eight-inch (20cm) plastic vacuum desiccators with stopcock, internal gasket, perforated floor and drierite absorbent (VWR International, Mont-Royal, Quebec) were used to store samples after the freeze-drying process. Desiccators were kept under a cover in order to protect them against light. Samples were stored for 70 days at either 5°C or 20°C in refrigerated cabinets, with or without vacuum. Glass transition temperature, vitamin C and solubility were measured after 70 days of storage while moisture content was determined once a week.

2.12. Statistics

Measurements were done at least in duplicate and in triplicate when the coefficient of variation was higher than 10%. Data were subjected to statistical analysis by the general linear model (GLM) procedure of SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) and a least significant difference (LSD) test with a confidence interval of 95% was used to compare the means.

3. Results and discussions

3.1. Sorption isotherms

Water activity values of the saturated salt solutions at 5, 20 and 35°C are shown in Table 4-1, together with values taken from previous literature reports. As can be seen, measured values agreed closely to literature ones.

Figure 4-1 shows the sorption equilibrium isotherms at 5°C for the freeze-dried products. Type II sigmoid-shaped isotherms were obtained for all the products. The sorption isotherm of freeze-dried apple juice shows similar values as the data for amorphous fructose, sucrose or freeze-dried apple tissue found by different researchers (Iglesias and Chirife, 1982; Aguilera et al., 1998). It is important to note that fructose, sucrose and glucose are the main sugars in apple juice in approximate proportions of 7:2:1, respectively (Fuleki et al., 1992). Foamed freeze-dried samples were more hygroscopic than non-foamed ones. This is probably due to an increase in the number of active sites for water sorption due to chemical and physical changes induced by the addition of a macromolecule to the juice (Marques et al., 2007). Also, foams made with methylcellulose showed more facility to adsorb moisture in comparison to foams made with egg white probably due to their different chemical composition and their different interaction with water.

The effect of temperature on sorption isotherms was similar for all the samples, as shown in Figure 4-2 for freeze-dried foams made with methylcellulose. It is widely reported that the equilibrium moisture content decreases with increasing temperature at a constant water activity. This can be explained by the higher excitation state of water molecules at higher temperature thus decreasing the attractive forces between them (Mohamed et al., 2004).

Table 4-1 : Water activity value of different salt solutions at different temperatures

SALT	5°C		20°C		35°C	
	<i>Exp.</i> ¹	<i>Ref.</i> ²	<i>Exp.</i> ¹	<i>Ref.</i> ²	<i>Exp.</i> ¹	<i>Ref.</i> ²
LiCl	0.128	0.113 ^c	0.110	0.113 ^a	0.108	0.113 ^c
CH ₃ COOK	0.241	0.291 ^c	0.225	0.23 ^b	0.211	0.216 ^c
MgCl ₂	0.334	0.336 ^c	0.327	0.33 ^a	0.32	0.321 ^c
K ₂ CO ₃	0.439	0.431 ^c	0.434	0.432 ^b	0.432	0.432 ^b

1 : Experimental values (this work)

2 : Literature values

a : Greespan (1977)

b : Kiranoudis et al. (1993)

c : Labuza et al.(1985); Resnik and Chirife (1988)

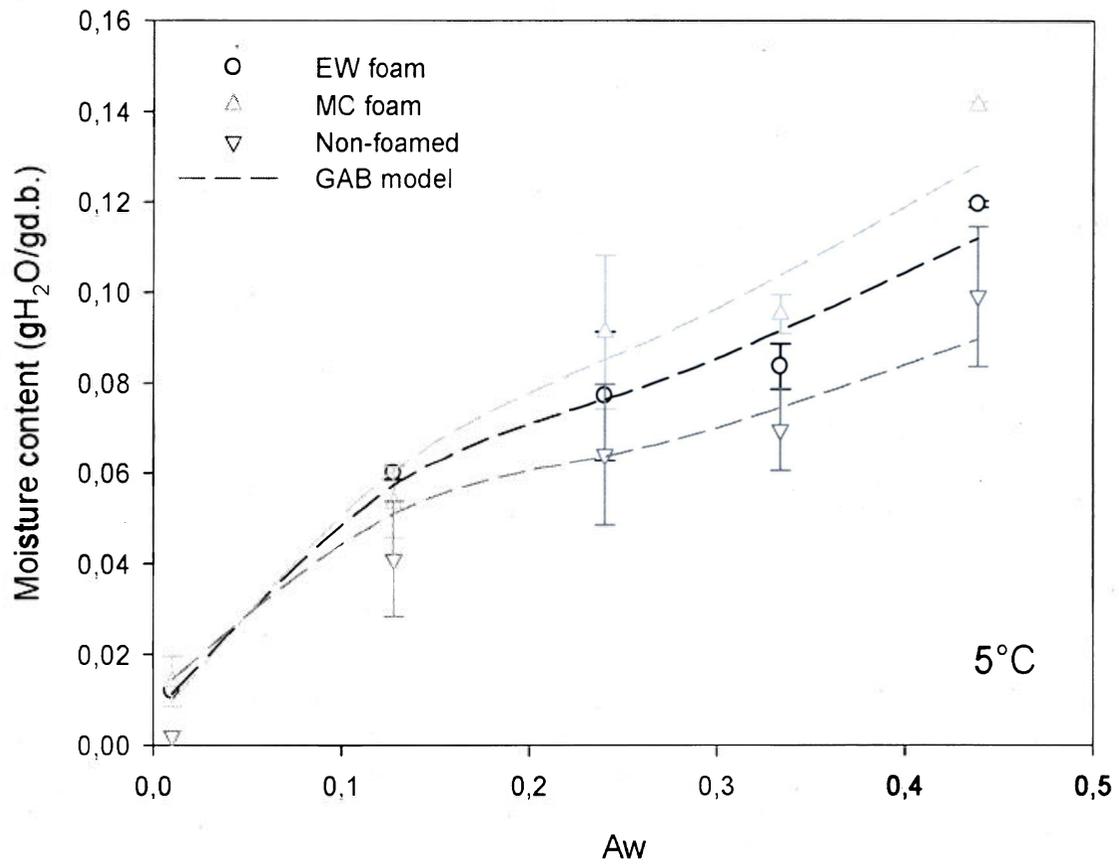


Figure 4-1: Experimental data for freeze-dried foam made by 3% egg white (EW), 1% methylcellulose (MC) and non-foamed (apple juice) and predicted sorption isotherms using GAB equation at 5°C.

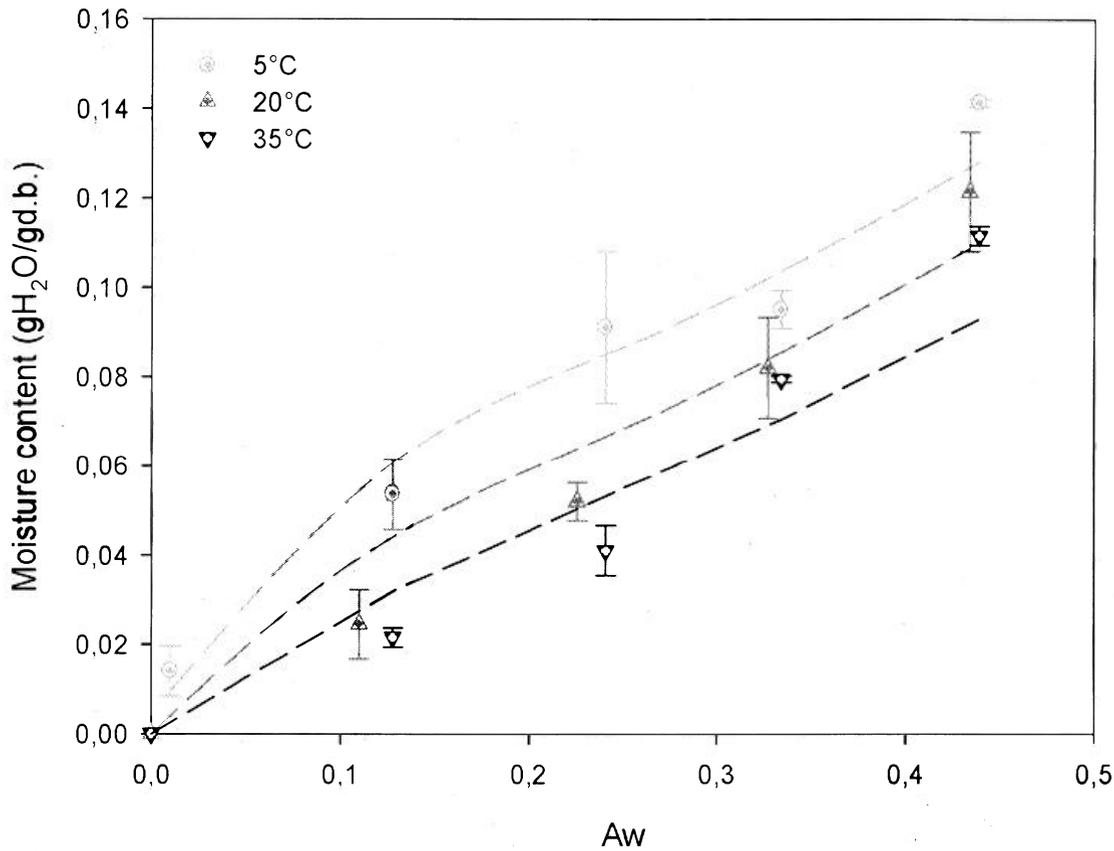


Figure 4-2: Experimental data for freeze-dried foam made by 1% methylcellulose (MC) and predicted sorption isotherms using GAB equation at different temperatures.

The constants obtained by fitting the GAB equation (Eqn. (1)) to experimental data are shown in Table 4-2. The C value shown in this Table, which is related to the sorption energy, was higher than 2 for all the samples, indicating that the isotherms are type II (Moraga et al., 2006) as shown previously in Figures 4-1 and 4-2. It has been reported that the value of M_o for several foods fell within the range of 0.04-0.11gH₂O/g db (Karel, 1975b).

In the present study, the estimated monolayer moisture contents at 20°C (as an example) were 0.061, 0.069 and 0.045 gH₂O/g db for 3% EW, 1%MC and non-foamed (juice), respectively, which (as well as for the other tested temperatures) are in the range of the literature values. The value of the monolayer (M_o) indicates the amount of water that is strongly adsorbed to the matrix. Some authors considered it as the product maximal water content for stability (Labuza, 1980; Fonseca et al., 2000). From Table 4-2, freeze-dried foams have higher M_o values than freeze-dried juice. On the other hand, the monolayer moisture content decreases with increasing temperature (please see Table 4-2). This behaviour, which can have a big impact in storage and processing, has been reported for different foods and food systems (Iglesias and Chirife, 1976a; Van den Berg and Bruin, 1981; Labuza et al., 1985).

In Figures 4-1 and 4-2, the curves predicted by the GAB model for different products and temperatures are shown together with experimental data. As can be seen, there is a good agreement between experimental and predicted values. The determination coefficient (R^2) for the fitting of experimental data to GAB model presented in Table 4.2 was also satisfactory.

3.2. Heat of sorption

Knowledge of heat of sorption is useful in the estimation of the energy required for drying. The isosteric heat of sorption as a function of moisture content of freeze-dried powders used in the present study is shown in Figure 4-3. As observed in fruits, the heat of sorption was found negligible over the range of high moisture contents, and increased dramatically as moisture decreases below 10g H₂O/100g dry basis. This is in agreement with previously reported results (Iglesias and Chirife, 1976b, c; Goula et al., 2007).

Table 4-2 : GAB parameters at different temperatures

GAB parameters	5°C			20°C			35°C		
	EW foam	MC foam	Non-foamed	EW foam	MC foam	Non-foamed	EW foam	MC foam	Non-foamed
M_o	0.067	0.081	0.053	0.061	0.070	0.045	0.050	0.067	0.056
C	19.725	13.475	37.552	8.854	7.860	9.068	5.671	4.945	2.634
n	1.015	1.017	0.999	1.030	1.052	1.069	1.095	1.072	1.153
R^2	0.980	0.966	0.929	0.951	0.942	0.915	0.877	0.896	0.895

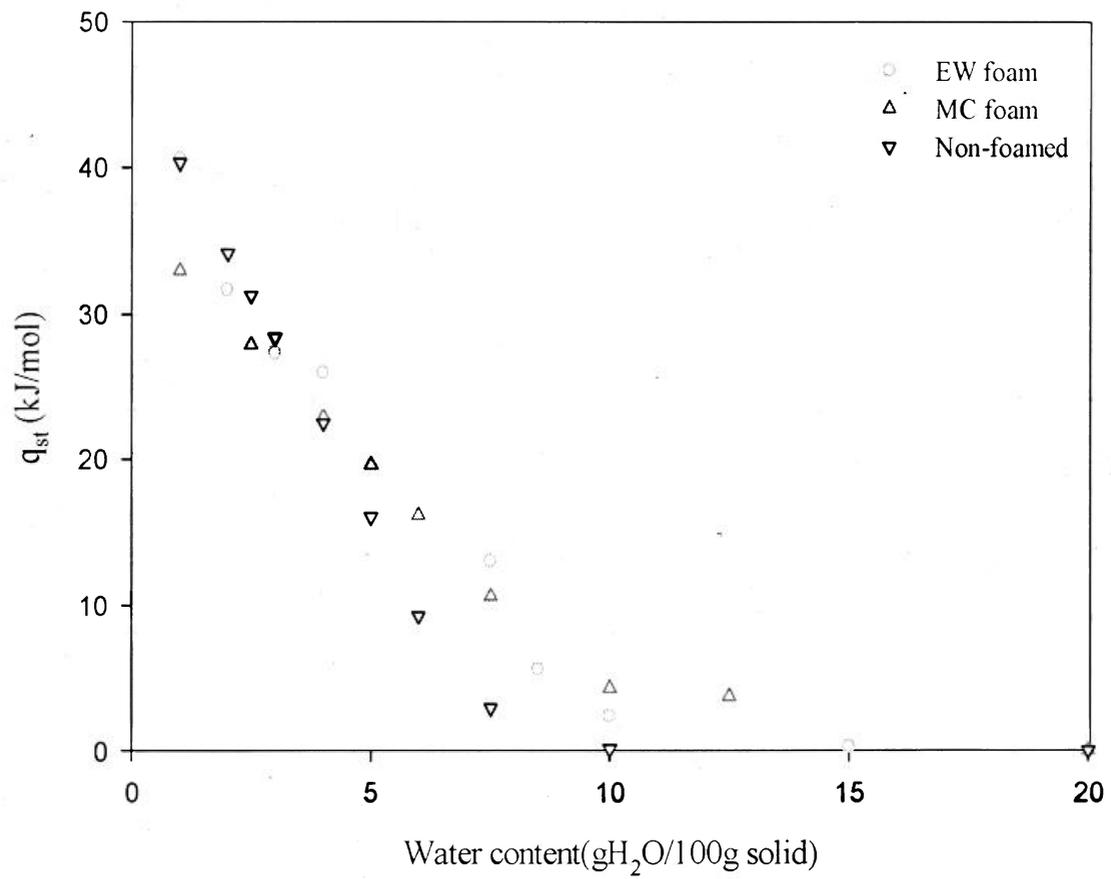


Figure 4-3: Variation of net isosteric heat with moisture content for freeze-dried foam made by 3% egg white (EW), 1% methylcellulose (MC) and non-foamed (apple juice).

Due to the stronger interaction between the added macromolecules and water (Hatakeyama et al., 2000), higher heat of sorption was observed for foamed than non-foamed juice. Thus, at moisture contents higher than 5gH₂O/100g dry solid, more energy was required to remove water from foamed samples, indicating that drying of foamed juice is not necessarily easier. At lower water contents, however, all the products presented approximately the same heat of sorption.

3.3. SEM microscopy

The effect of freeze-drying process and foaming on the final microstructure of the samples were observed under scanning electron microscope (Figure 4-4). Freeze-dried foamed samples (4a and 4b) showed a skeletal-like structure with high porosity and stretched pore shape, while non-foamed freeze-dried apple juice (4c) presented a compact and less porous structure. In principle, compact structures should have more difficulty to rehydrate than porous ones. However, the freeze-dried foamed structure could include closed pores, which can be an obstacle for mass transfer during rehydration (Rahman and Perera, 1999).

3.4. Glass transition

Figure 4-5 shows the value of T_g (onset) for the different samples as a function of moisture content. As expected, T_g value decreased with increasing water content due to the water plasticization. As the glass transition of pure water is -138°C (Hallbrucker and Mayer, 1987), increasing values of water content reduces the T_g of biopolymer-water mixtures. As can be seen from Figure 4-5, foamed juice powders present higher glass transition temperatures (i.e. 10°C higher) than freeze-dried juice, certainly due to the presence of high molecular weight macromolecules used to form the foams (i.e. methylcellulose or white egg). Glass transition temperature is known to increase with increasing molecular weight (Slade and Levine, 1995; Roos et al., 1996).

The Gordon and Taylor model (1952), as shown in Eqn. (3), is a reliable expression to represent glass transition temperature, which has been successfully applied to several foods such as fruits and vegetables. Experimental data in Figure 4-5 was fitted to Eqn. (3), the parameters resulting from this fitting are shown in Table 4-3.

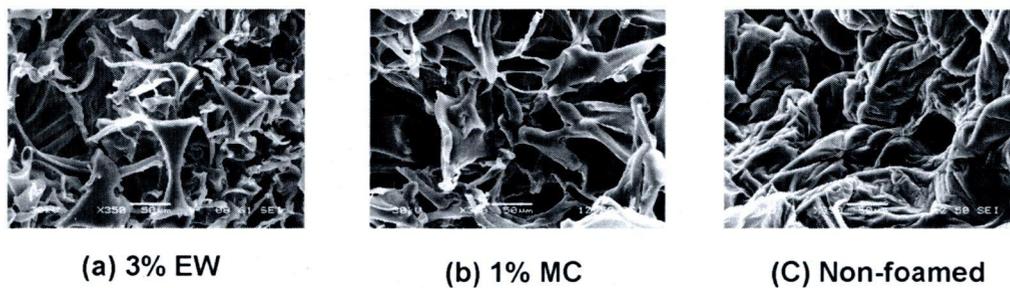


Figure 4-4: Scanning electron micrographs of freeze-dried foam made by (a) 3% egg white (EW), (b) 1% methylcellulose (MC) and (c) non-foamed (apple juice).

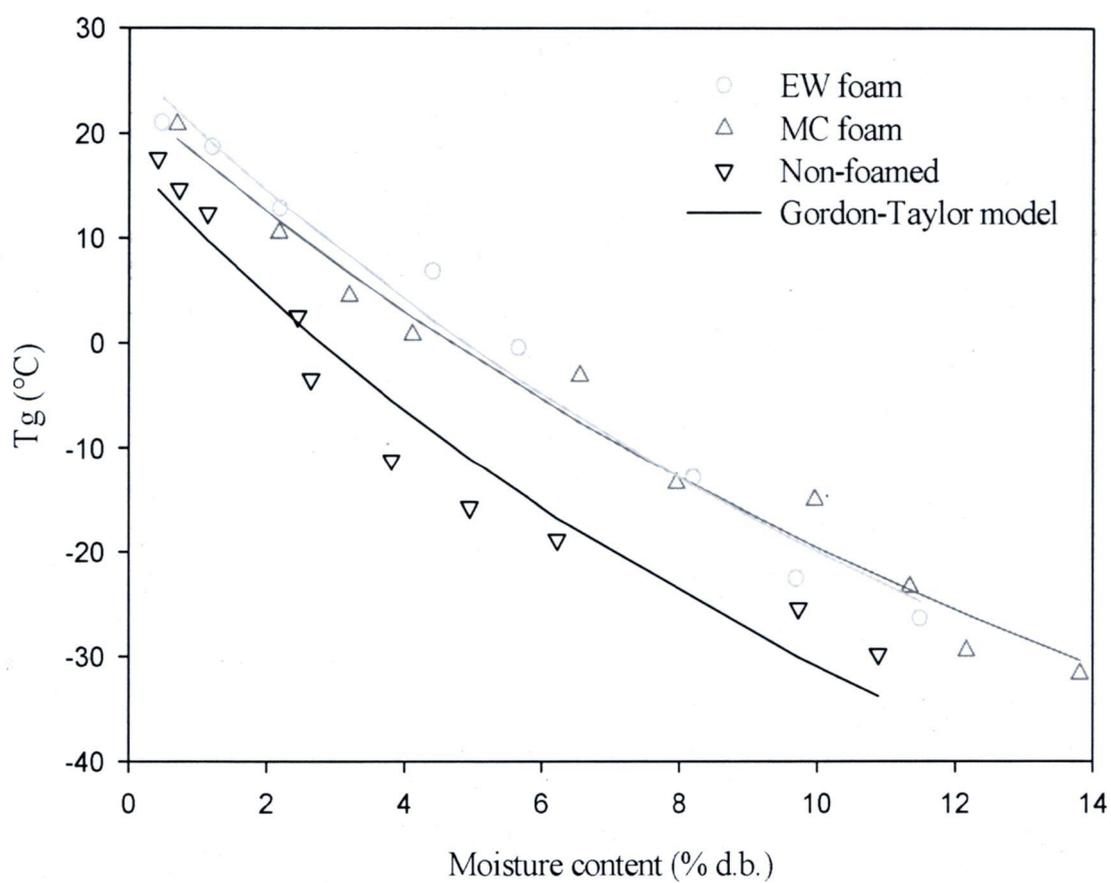


Figure 4-5: Glass transition onset temperature of freeze-dried foam made by 3% egg white (EW), 1% methylcellulose (MC) and non-foamed (apple juice) as a function of moisture content.

Table 4-3 : Gordon-Taylor parameters of the foamed and non-foamed freeze-dried apple juice

G-T parameters	EW foam	MC foam	Non-foamed
<i>T_g</i>	26.49	23.47	17.45
<i>k</i>	4.034	3.722	4.651
<i>R</i> ²	0.977	0.976	0.948

As can be seen, the parameter Tg_s , which is a measure of the glass transition temperature of the dry mixture, is much higher for foamed juice powders as compared to non-foamed. Figure 4-5 presents the model predictions together with experimental data of foamed and non-foamed juice powders, showing a close agreement.

3.5. Storage

Roos (1995a) and Levine and Slade (1991), reported that plastification of bio-solids is a result of the combined effects of temperature and moisture. The relationship between equilibrium moisture content, glass transition temperature and water activity is plotted in Figure 4-6 for freeze-dried foamed and non-foamed apple juice at 5°C. This Figure shows that water content (CWC) and its corresponding water activity (CWA), which Tg is below the storage temperature (i.e. 5°C), can be considered as a critical value for stability. According to Roos (1995c), such information shows the combined effects of water activity and temperature on physical state and provides an important tool for the prediction of the behaviour of foods in processing, handling and storage. The values of CWA and CWC for each sample at 5°C and 20 °C, temperatures used during storage, are given in Table 4-4. The results presented in this Table indicated that, at storage temperature of 5°C, freeze-dried foam made with 3%EW, 1%MC and non-foamed samples should be stored at relative humidities lower than 21.8%; 14.8% and 15%, respectively, corresponding to their value of CWA . Exceeding those values during storage, may dramatically induce deterioration such as stickiness or caking of the products (Slade and Levine, 1991; Roos, 1995a, b). For 20°C, the values of CWA and CWC for freeze-dried non foamed apple juice are practically 0 (zero) since the glass transition temperature for the completely dry apple juice corresponds to the storage temperature. This clearly indicates that freeze-dried apple juice could have a higher risk of deterioration at storage temperatures equal or higher than 20°C. In addition, freeze-dried foams made with 3%EW presented always the highest CWA and CWC values due to its higher Tg in comparison to other products, which indicates that this product should be more stable during storage.

Table 4-4 : Critical water activity and critical water content values of the foamed and non-foamed freeze-dried apple juice

		EW foam	MC foam	Non-foamed
5°C	<i>CWA</i> (%)	21.8	14.8	15.0
	<i>CWC</i> (gH ₂ O/g db)	0.072	0.062	0.045
20°C	<i>CWA</i> (%)	3.8	3.8	-
	<i>CWC</i> (gH ₂ O/g db)	0.01	0.008	-

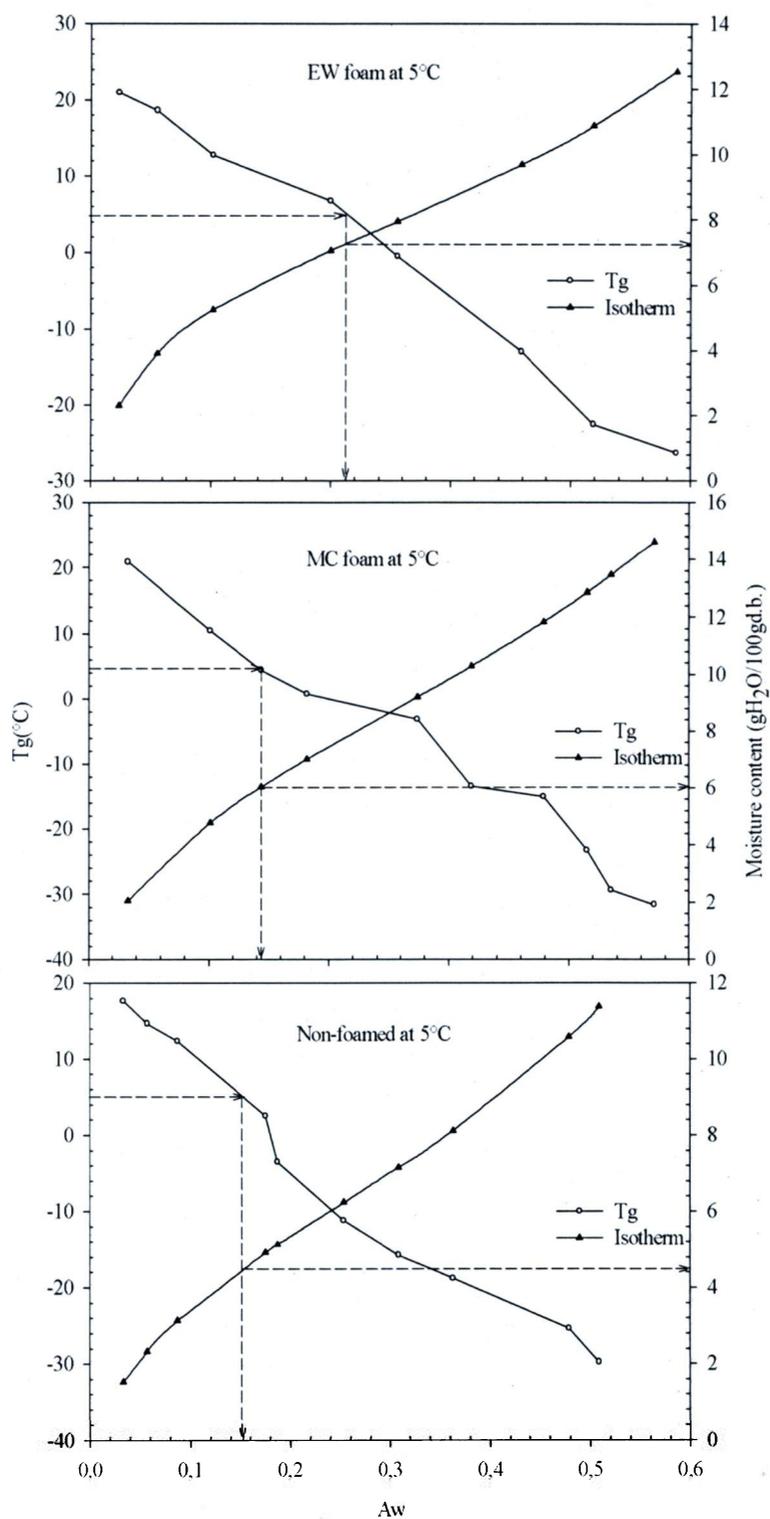


Figure 4-6: Relationship between glass transition temperature and sorption isotherm at 5°C for freeze-dried foam made by 3% egg white, 1% methylcellulose and non-foamed apple juice.

It is important to note that monolayer values (M_o , Table 4-2) were higher than the critical moisture content values for stability (CWC , Table 4-4). Slade and Levine (1991) indicated that rates of deteriorative reactions are related to CWC , which include the molecular mobility above T_g , rather than to the monolayer value, M_o , only obtained from sorptional data.

During the storage experiment, no deterioration was detected in any product at 5°C. However, after 45 days of storage at 20°C, freeze-dried juice collapsed as shown in Figure 4-7. This can be explained by the fact that the storage temperature exceeded the T_g of the freeze-dried juice, confirming what was indicated previously (Table 4-4).

3.6. Solubility

Solubility of freeze-dried foamed and non-foamed apple juice after freeze-drying and after 70 days of storage at 4 and 20 °C is shown in Figure 4-8 as a function of dissolution time. Figure 4-8 (a) was obtained just after the freeze-drying process. As can be seen, freeze-dried juice dissolved instantaneously as compared to foamed freeze-dried products. Foamed freeze-dried apple juice needed more time to dissolve than the non-foamed one, with a delayed dissolution, probably due to the addition of macromolecules (egg white or methylcellulose) to the juice. Freeze-dried foams made with EW were, however, significantly more soluble than those made with MC ($P < 0.01$). The higher insolubility of methylcellulose could be due to the degree and distribution of substituents within the anhydroglucose units of MC (Miyamoto et al., 1985). The effect of solution temperature (20 or 100°C) on solubility was not significant (not shown in Figure 4-8).

On the other hand, it was observed a reduction in the solubility of EW freeze-dried foams during storage, which can be due to the cross-linking of the proteins (Anema et al., 2006) decreasing their interaction with water. Foams made with EW, and stored at 4°C, took longer time to dissolve than those measured right after the freeze-drying process. Also, it has been observed that the solubility of the non-foamed freeze-dried juice was not instantaneous after 70 days storage at 20°C. It is important to note that freeze-dried juice collapsed after 7 weeks of storage.

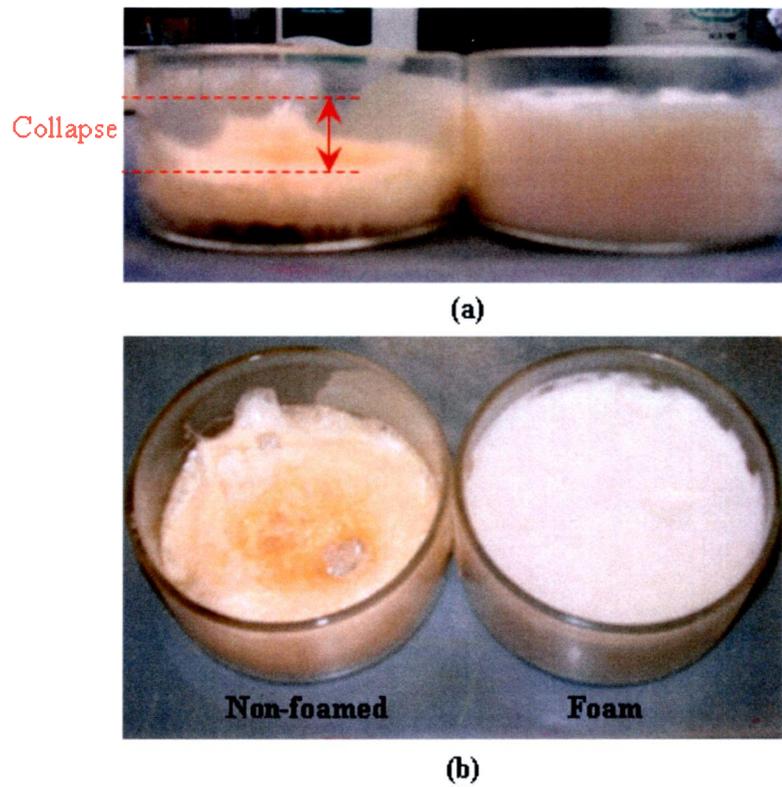


Figure 4-7: Freeze-dried juice (foamed and non foamed) after 7 weeks of storage at 20°C, (a) side view, and (b) top view

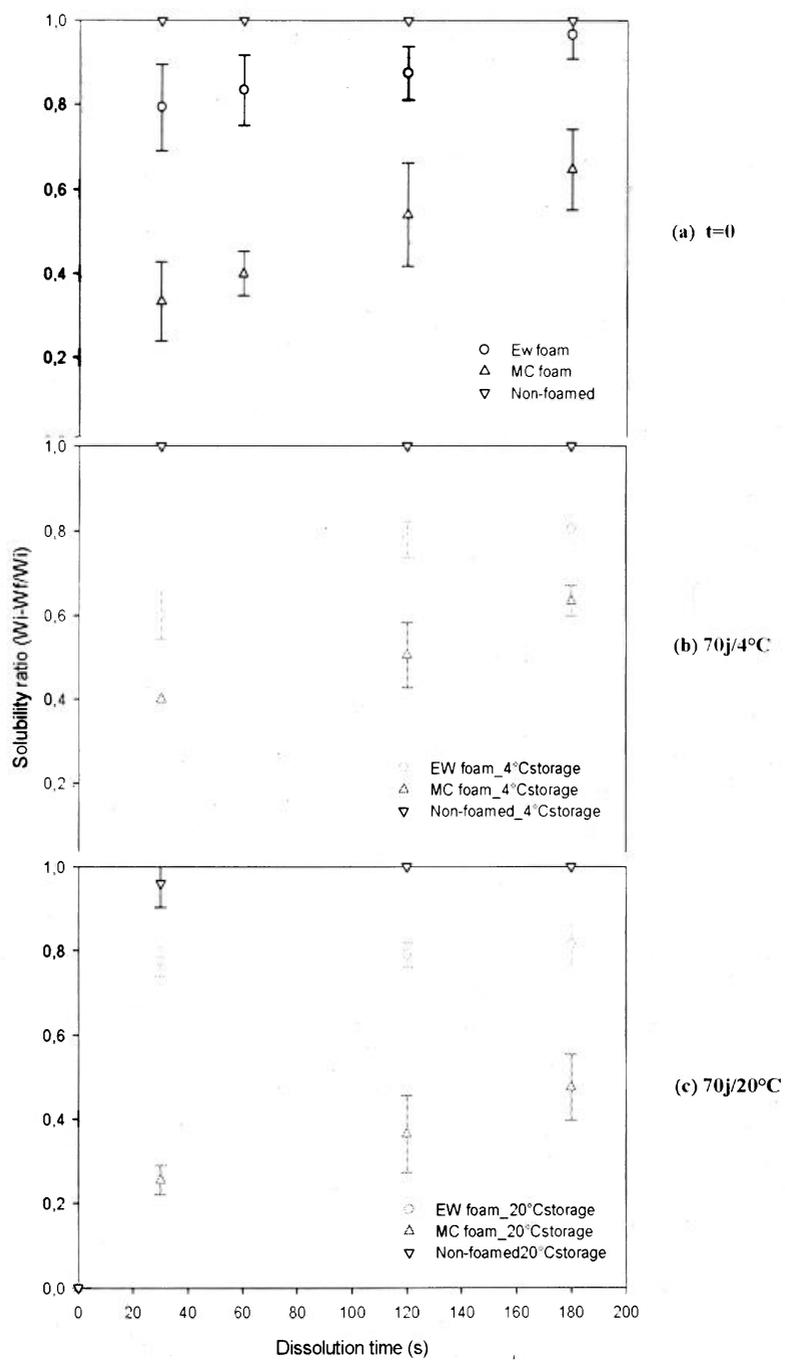


Figure 4-8: Solubility behaviour at 20°C of samples after freeze-drying process (a), and after 70 days of storage at 4°C (b) and 20°C (c).

3.7. Vitamin C

The losses of ascorbic acid after the freeze-drying process and after 70 days of storage at different conditions are shown in Table 4-5. All rehydrated samples contained less ascorbic acid than the fresh product due to a combination of oxidation (especially during foaming) and subsequent rehydration (Inyang and Ike, 1998). However, the losses of Vitamin C in all freeze-dried samples after the freeze-drying process were not marked (less than 10%), due to the low temperature (20°C) and the use of vacuum during the process

Concerning the effect of storage, it must be pointed out that, due to the highly porous structure of freeze-dried products, an inadequate storage may cause oxidative reactions. It depends mostly on storage conditions such as temperature, oxygen and light (Kabasakalis et al., 2000; Zerdin et al., 2003; Klimczak et al., 2007). In our case, light negative effect was not present because each desiccator was kept in the dark. It was noted that the presence of oxygen as well as higher temperatures were the main cause of ascorbic acid decrease during storage of both types of freeze-dried products (foamed and non-foamed). The best storage condition was found to be 4°C under vacuum where vitamin C retention was 5 times higher than other conditions. At 20 °C (under vacuum or not), retention of vitamin C for non-foamed freeze-dried juice seemed higher than at 4°C in atmospheric conditions, probably due to the high standard deviation obtained in these determinations.

3.8. Colour

Color is one of the most important quality parameters in dehydrated products. Difference in luminosity ($L_0 - L = L^*$) and total colour difference (ΔE) values between fresh product and dissolved samples after freeze-drying and after the storage of foamed and non-foamed samples is presented in Table 4-6. The influence of freeze-drying affected differently the color change in the samples. Dissolved freeze-dried foams showed slightly higher luminosity and total colour difference than dissolved freeze-dried juice. These results were confirmed by visual observations. During storage, negative values of $L - L_0$ were observed for freeze-dried non-foamed and MC foamed powders, which means that lightness values decreased as a function of time. Moreover, freeze-dried foams made with EW presented the highest lightness change.

Table 4-5 : Vitamin C losses due to the freeze-drying process and after 70 days of storage at different conditions

Effect of process		Effect of storage		
Product	Loss (%)	Condition	Product	Loss (%)
EW foam	10±0.9	4°C (vacuum)	EW foam	4.30±3.11
MC foam	6.6±0.6		MC foam	5.30±2.68
Non-foamed	6.5±0.5		Non-foamed	3.95±0.77
		4°C (air)	EW foam	19.55±2.33
			MC foam	22.50±5.93
			Non-foamed	21.15±7.84
		20°C (vacuum)	EW foam	10.80±0.98
			MC foam	22.40±1.69
			Non-foamed	14.65±1.34
		20°C (air)	EW foam	20.75±0.63
			MC foam	25.00±2.40
			Non-foamed	14.95±0.92

Table 4-6 : The effect of freeze-drying process and the storage on colour parameters of foam and non-foamed samples.

Products	Effect of freeze-drying		Effect of storage	
	L-Lo	ΔE	L-Lo	ΔE
EW foam	5.21±2.02	6.41±1.58	7.12±3.05	7.21±2.99
MC foam	4.18±3.25	4.98±2.86	-2.76±2.31	2.91±2.17
Non-foamed	1.66±0.45	1.71±0.58	-2.95±2.4	12.36±5.74

On the other hand, juice showed the highest ΔE value after storage. The color change was thus more marked with this product in comparison with foamed ones, which could be due to the fact that this product presented a low T_g (Figure 4-5) and, after 7 weeks of storage at 20°C, not only the structure collapsed as visually observed but also there was non-enzymatic browning in the sample (Figure 4-7).

4. Conclusions

Freeze-dried apple juice powders (foamed and non-foamed) presented classical type II sorption isotherms. Freeze-dried foamed apple juice was more hygroscopic than non-foamed samples, probably due to their porous structure and the strong interaction between added macromolecules and water. Also, foamed samples showed substantially higher glass transition temperatures. As the non-foamed product had a lower T_g , their storage at temperatures above 20°C presented higher risk of collapse. At 20°C storage temperature and in presence of air, non-foamed freeze-dried product collapsed with marked change of color, confirming the results found by the glass transition determinations. Although freeze-dried foams had a more porous structure than non-foamed ones, their solubility was lower. No marked loss of vitamin C was detected after the freeze-drying process. Finally, the best storage condition was found to be 4°C under vacuum.

Conclusion Générale

Ce travail a permis d'élucider l'impact du moussage des liquides lors du procédé de lyophilisation où le jus de pomme a été pris comme modèle.

La première partie de cette thèse a été consacrée à l'obtention d'une mousse stable faite à l'aide de deux sortes d'agents moussants (méthylcellulose et blanc d'œuf) en vue de la lyophilisation. Une augmentation de la concentration d'agents moussants conduit à une plus grande stabilité des mousses de jus de pomme. La solidité des mousses en fonction de la concentration d'agent moussant présente par contre une courbe de Gauss où le maximum se situe à 2% pour le cas du blanc d'œuf et 0.2% pour le cas du méthylcellulose. Les mousses faites avec du blanc d'œuf dont les concentrations varient de 0.5 à 3% sont généralement plus solides mais moins stables par rapport à celles avec du méthylcellulose dont la concentration varie de 0.1 à 2%. La solidité des mousses peut être prédite en fonction de la fraction d'air et la taille moyenne des bulles. Elle est fonction croissante de la fraction d'air et inversement proportionnelle à la taille des bulles.

Les mousses stables et présentant de bonne capacité moussante ont été choisis pour être lyophilisées. Elles ne drainent pas lors de l'étape de la congélation qui pourrait ralentir le procédé de déshydratation.

La deuxième partie de cette recherche s'est focalisée sur l'effet du moussage lors de la lyophilisation du jus de pomme. Dans le cas où la comparaison est faite à la même épaisseur, les mousses présentent une plus grande vitesse de séchage que le jus sans moussage. Toutefois, la faible densité des mousses décroît la quantité de matière à éliminer. Ainsi, il a été trouvé que les mousses de jus de pomme présentent au mieux une même vitesse de séchage que le jus de pomme sans moussage au même poids. Par ailleurs, l'étude réalisée sur la courbe de la lyophilisation des mousses et du jus sans moussage a permis de révéler que la variation du temps de sublimation en fonction de l'épaisseur n'est pas la

même pour ces deux sortes de produits. En augmentant l'épaisseur, la croissance du temps de sublimation est plus ralentie pour les mousses. L'utilisation du réseau de neurone artificiel a permis de prédire de façon excellente la courbe de lyophilisation et de la température des différents produits. Cet outil a été utilisé pour chercher l'épaisseur optimale des mousses afin de dépasser la vitesse de séchage du jus sans moussage, mais l'épaisseur trouvée était trop grande pour une application pratique.

La troisième partie de la thèse consiste à étudier la qualité finale des jus lyophilisés avec et sans moussage ainsi que leur stabilité lors du stockage. Les mousses de jus de pomme sont plus hygroscopiques mais présentent une température de transition vitreuse plus élevée que le jus de pomme sans moussage. La combinaison de ces deux propriétés a permis de déterminer l'activité de l'eau critique ainsi que la teneur en eau critique, conditions de stabilité des produits lors du stockage. Il a été trouvé que le temps de lyophilisation nécessaire pour atteindre la teneur en eau critique est plus court pour les mousses de jus de pomme faite avec 3% de blanc d'œuf que pour le jus sans moussage. Toutefois, le jus sans moussage présente une meilleure solubilité et rétention en vitamine C que les mousses de jus de pomme. Lors du stockage, les produits moussés ont présenté une stabilité thermique plus grande que les produits sans mousser dû à leur température de transition vitreuse plus élevée.

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle la caractérisation et l'optimisation des mousses initialement ont permis d'avoir une mousse stable au cours de la lyophilisation a été vérifié. Il est à noter que la solidité des mousses n'est pas nécessairement reliée à sa stabilité.

D'autre part, la deuxième hypothèse selon laquelle l'application du moussage permet de diminuer le temps de lyophilisation du jus de pomme a été validé. Toutefois, dû à la faible masse volumique des mousses la capacité de production des produits moussés lyophilisés n'est pas nécessairement augmentée. Pour ce qui est de la qualité du jus avec moussage lyophilisé, sa qualité sensorielle et nutritionnelle est meilleure que le jus sans moussage quand le stockage se fait à 20°C due à la faible température de transition vitreuse de cette dernière.

Cette recherche ouvre la voie à plusieurs investigations. Le jus de pomme a été seulement pris comme modèle mais l'application du moussage pour la lyophilisation à d'autres liquides, mérite d'être vérifiée. Une étude sur l'influence de la teneur en solide serait également intéressante. L'augmentation du pourcentage de solides pourrait diminuer encore plus le temps de lyophilisation et ainsi optimiser la capacité globale de production. D'autre part, l'utilisation d'autres protéines pourrait être envisagée pour augmenter la valeur nutritionnelle des mousses lyophilisées par rapport au liquide sans moussage.

Par ailleurs, comme l'addition d'agent moussant permet d'augmenter la température de transition vitreuse du produit moussé, la température appliquée pour la lyophilisation et le stockage du produit lyophilisé peut donc être augmentée. Cela conduit à une augmentation de la vitesse de déshydratation diminuant ainsi le coût du procédé et en même temps une économie de l'énergie pour le stockage. Par contre, l'ajout d'une concentration plus élevée d'agent moussant pourrait entraîner une augmentation de l'hygroscopicité du produit qui exige un emballage barrière.

Finalement, le moussage pourrait être favorable à l'augmentation de taux de survie des certaines bactéries lactiques et probiotiques lors de la lyophilisation, particulièrement au cours de la congélation. Non seulement l'addition d'agent moussant fait augmenter la T_g mais de plus la matrice poreuse de la mousse pourrait protéger les bactéries. La validité de cette hypothèse accentuera certainement l'intérêt des industriels à l'application de ce nouveau procédé.

Bibliographies

- Adams, G. (2007), *The principles of freeze-drying*, dans John G. Day, Glyn Stacey, Cryopreservation And Freeze-drying Protocols, Humana Press, 347 pages.
- Aguilera, J.M., Cuadros, T.R. et del Valle, J.M., (1998). *Differential scanning calorimetry of low-moisture apple products*, Carbohydrate Polymers 37 79–86.
- Ahmed, J., Ramaswamy, H.S. et Khan, A.R., (2005). *Effect of water activity on glass transitions of date paste*, Journal of Food Engineering 66, pp. 253–258.
- Akintoye, O. A., et Oguntunde, A. O. (1991). *Preliminary investigation on the effect of foam stabilizers on the physical characteristics and reconstitution properties of foam-mat dried soymilk*. Drying Technology, 9, 245–262.
- Ammu, K., Krishnappa, K.G., Subramanian, V., Sharma, T.R. et Nath, H., (1976), *Freeze-drying of Mango pulp*, Food technology Australia, 28 (9), p.339-341.
- Anema, S.G., Pinder, D.N., Hunter, R.J. et Hemar, Y., (2006). *Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85)*, Food Hydrocolloids 20 (2-3), P. 386-393.
- AOAC, 1990. *Official Methods of Analysis*, 15th Edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington D. C.
- Arboleyal, J-C et Wilde, P.J., (2005). *Competitive adsorption of proteins with methylcellulose and hydroxypropyl methylcellulose*, Food Hydrocolloids 19, 485–491.
- Asami, D.K., Hong, Y-J, Barrett, D.M. et Mitchell, A.E., (2003). *Comparison of the Total Phenolic and Ascorbic Acid Content of Freeze-Dried and Air-Dried Marionberry, Strawberry, and Corn Grown Using Conventional, Organic, and Sustainable Agricultural Practices*, J. Agric. Food Chem., 51, 1237-1241.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), (2006). *ASHRAE handbook. Refrigeration*, SI éd.
- Aveyard, R. Binks, B.P. et Clint, J.H. (2003). *Emulsions stabilised solely by colloidal particles*, Advances in Colloid and Interface Science, 100-102, p.503-546.
- Baeza, R., Sanchez, C.C., Pilosof, AM.R. et Patino, J.M.R. (2004). *Interfacial and foaming properties of prolylenglycol alginates: Effect of degree of esterification and molecular weight*, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 36 (3-4), p.139-145.
- Bano, Z. et Rajarathnam, S., (1988). *Pleurotus mushrooms. Part II. Chemical composition, nutritional value, post-harvest physiology, preservation and role as human food*, CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition 27 2, pp. 87–158.
- Barbosa-Canovas, G.V. et Vega-Mercado, H., (1996). *Freeze dehydration*, Dans Dehydration of Food, Chp.7, p.229-264, Food Engineering Series, Aspen Publishers.
- Barra, G. et Matteo, P.D., (2000), *A DSC Study of Thermal Transitions of Apple Systems at Several Water Contents*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, V.61(2), p.351-362.
- Barrett, A.H., Cardello, A.V., Prakash, A., Mair, L., Taub, I.A. et Leshner, L.L., (1997) *Optimization of dehydrated egg quality by microwave assisted freeze-drying and hydrocolloid incorporation*. Journal of food processing and preservation, v. 21 (3), p. 225-244.

- Beaudry, C., Raghavan, G. S. V., Ratti, C., et Rennie, T. J. (2004). *Effect of four drying methods on the quality of osmotically dehydrated cranberries*. *Drying Technology*, 22(3), 521–539.
- Bellows, RJ et King CJ, (1973), Product collapse during freeze-drying of liquid foods, AICE Symposium Series, 69 (132), 31.
- Bhakta, A. et Ruckenstein, E., (1997). *Decay of standing foams: drainage, coalescence and collapse*, *Advances in Colloid and Interface Science* 70, 1-124.
- Bikerman, JJ, (1973), *Foams*, Springer Verlag, NY.
- Boss, E.A., Vasco de Toledo, E.C. et Filho, R.M. (2004). *Real Time Optimization for Freeze Drying Process*, *Computer Aided Chemical Engineering*, 18, p.595-600.
- Brown, A.K. et Hammond, J.R.M. (2003), *Flavour Control in Small-Scale Beer Fermentations*, *Food and Bioproducts Processing*, Volume 81 (1), p. 40-49.
- Brülls, M et Rasmuson, A, (2002), *Heat transfer in vial lyophilization*, *International Journal of Pharmaceutics*, 246, p.1-16
- Brunner, G. (2005). *Supercritical fluids: technology and application to food processing*, *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), p.21-33.
- Brygidyr, AM., Rzepecka, MA et McConnell, MB, (1977), *Characterization and drying of tomato paste foam by hot air and microwave energy*, *J. Can. Inst. Food Sci. Techn.*, 10(4), p.313-319.
- Burdurlu, H.S. et Karadeniz, F., (2003). *Effect of storage on nonenzymatic browning of apple juice concentrates*, *Food Chemistry* 80, p.91–97.
- Carp DJ, Bartholomai GB et Pilosof AMR. 1997. *A Kinetic Model to Describe Liquid Drainage from Soy Protein Foams over an Extensive Protein Concentration Range*. *Lebensm.-Wiss. und.-Technol.*, 30:253-8.
- Chen, T, Bhowmick, S et Sputtek, A, (2002). *The glass transition temperature of mixtures of trehalose and hydroxyethyl starch*. *Cryobiology*, 44, p.301–306.
- Chopda, C.A. et Barrett, D.M., (2001), *Optimization of guava juice and powder production*, *Journal of food processing and preservation*, Trumbull, Conn.: Food & Nutrition Press Inc.; v. 25 (6), p. 411-430.
- Cilliers, JJ, Wang, M et Neethling, SJ, (1999), *Measuring flowing foam density distribution using ERT*, 1er World congress in industrial process tomography, p.108-112
- Cocero, AM et Kokini, JL, (1991), *The study of the glass transition of glutenin using small amplitude oscillatory rheological measurements and DSC*, *Journal Rheol.*, 35, p.257-270.
- Colaco, C. A. L. S. et Roser, B. (1994). *Trehalose—a multifunctional additive for food preservation*. In R. Heis (Ed.), *Food packaging and preservation* (pp. 123–140). London: Blackie Academic and Professional Press.
- Concalves, E. C., Minim, L. A., Coimbra, J. S. R., et Minim, V. P. R., (2005). *Modeling sterilization process of canned foods using artificial neural networks*. *Chemical Engineering and Processing*, 44(12), p.1269–1276.
- Cooke, R.D., Breag, G.R., Ferber, C.E.M., Best, P.R. et Jones, J., (1976). *Studies of mango processing I. The foam-mat drying of mango (Alphonso cultivar) puree*. *Journal of Food Technology* 11, 463–473.
- Cosio, R. (1997). *Lyophilisation sous vide de la banane (Cavendish Poyo). Incidence du procédé sur la qualité*. Ph.D. thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon, France (141pp.).

- Croguennec, T., Renault, A., Beaufiles, S., Dubois, J.J. et Pezennec, S. (2007). *Interfacial properties of heat-treated ovalbumin*, Journal of Colloid and Interface Science, Volume 315, Issue 2, 15 November 2007, Pages 627-636.
- Crowe, L.M., Reid, D.S. et Crowe, J.H. (1996). *Is Trehalose Special for Preserving Dry Biomaterials?*, Biophysical Journal Volume 71, 2087-2093.
- Datta, D. et Tassou, S.A., (1998). *Artificial neural network based electrical load prediction for food retail stores*, Applied Thermal Engineering (18), p.1121-1128.
- Davis JP et Foegeding EA. 2004. *Foaming and Interfacial Properties of Polymerized Whey Protein Isolate*. Journal of Food Science, 69:C404-10.
- Davis JP, Foegeding EA et Hansen FK. 2004. *Electrostatic effects on the yield stress of whey protein isolate foams*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 34:13-23.
- De Gois, V.A. et Cal-Vidal, J. (1986). *Kinetics of water vapor sorption by freeze-dried papaya*. Drying Technology, 22(4), 625-629.
- Del Valle, J.M., Cuadros, T.R.M. et Aguilera, J.M., (1998). *Glass transitions and shrinkage during drying and storage of osmosed apple pieces*, Food Research International 31, p. 191-204.
- Denkov, N.D., Subramanian, V., Gurovich, D. et Lips, A., (2005). *Wall slip and viscous dissipation in sheared foams: Effect of surface mobility*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects 263, p.129-145.
- Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M. C., et Taoukis, P. S. (2007). *Stability of dehydrofrozen tomatoes pre-treated with alternative osmotic solutes*, Journal of Food Engineering, 78, 272-280.
- Diamante, L.M. et Munro, P.A., (1991), *Mathematical modelling of hot air drying of sweet potato slices*, International Journal of Food Science and Technology, 26, p.99-109.
- Dickinson E et Stainsby G. 1987. *Progress in the formulation of food emulsions and foams*. Food Technology, 41:74-81,116.
- Dickinson, E. (2003). *Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems*, Food Hydrocolloids, 17(1), p.25-39
- Dickinson, E. et Pawlowsky, K. (1996). dans G.O. Phillips, D.J. Wedlock and P.A. Williams (Eds.), *Gums and Stabilisers for the Food Industry*, Vol. 8, Oxford University Press, Oxford, 1996, in press.
- Dickinson, E. et Rodriguez, P.J.M., (1999) , *Food emulsions and foams, interfaces, interactions and stability*, Royal Society of Chemistry.
- Dickinson, E. et Stainsby, G. (1987). *Progress in the formulation of food emulsions and foams*. Food Technology 41 9, pp. 74-81 116.
- Dornier, M., Decloux, M., Trystram, G., et Lebert, A. (1995). *Dynamic modelling of crossflow microfiltration using neural networks*. Journal of Membrane Science, 98, p.263-273.
- Doymaz, I., (2004). *Convective air drying characteristics of thin layer carrots*, Journal of Food Engineering 61(3), Pages 359-364.
- Duangmal, K., Saicheua, B. et Sueeprasan, S. (2008). *Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink*, LWT - Food Science and Technology, In Press.
- Durian, D.J., (1995), *Foam mechanics at the bubble scale*, Physical review letters, 75, p.4780-4784.

- Ettelaie, R. (2003). *Computer simulation and modeling of food colloids*, Current Opinion in Colloid and Interface Science, 8(4-5), p.415-421.
- Ettelaie, R. Dickinson, E., Du, Z. et Murray, B.S. (2003). *Disproportionation of clustered protein-stabilized bubbles at planar air-water interfaces*, Journal of Colloid and Interface Science, 263(1), p.47-58.
- Farenzena, S., (2000), *Application de la technique MEPS (microextraction en phase solide) pour la détermination de la rétention des arômes de fraises pendant la lyophilisation.*, Mémoire (M.Sc.)--Université Laval.
- Farkas, D.F. et Lazar, M.E. (1969). *Osmotic dehydration of apple pieces. Effect of temperature and syrup concentration on rates*. Food Technol. 23, p.688-690.
- Fasina, O.O. (2006). *Thermodynamic properties of sweetpotato*, Journal of Food Engineering, 75(2), p. 149-155.
- Femenia, A., Bestard, M.J., Sanjuan, N., Rossell, C. et Mulet, A., (2000). *Effect of rehydration temperature on the cell wall components of broccoli (Brassica oleracea L. Var. italica) plant tissues*, Journal of Food Engineering 46, p.157-163.
- Fernandez, L., Castellero, C., et Aguilera, J. M. (2005). *An application of image analysis to dehydration of apple discs*. Journal of Food Engineering, 67, 185-193.
- Foegeding EA, Luck PJ et Davis JP. 2006. *Factors determining the physical properties of protein foams*. Food Hydrocolloids, 20:284-92.
- Fonseca, F., Béal, C. et Corrieu, G., (2000). *Method of quantifying the loss of acidification activity of lactic acid starters during freezing and frozen storage*, J. Dairy Res. 67. p. 83-90.
- Foster, K.D., Bronlund, J.E. et Paterson A.H.J., (2006). *Glass transition related cohesion of amorphous sugar powders*, Journal of Food Engineering 77, 997-1006.
- Fox, T.G. et Flory, P.J., (1950), *Second order transition temperature and related properties of polystyrene. I. Influence of molecular weight*. J. Appl.Phys.
- Freer, E.M., Wong, H., et Radke, C.J.. (2005). *Oscillating drop/bubble tensiometry: effect of viscous forces on the measurement of interfacial tension*, Journal of Colloid and Interface Science, 282 (1), p.128-132.
- Fuleki, T., Pelayo, E., et Palabay, R. B. (1992). *Sugar composition of varietal juices produced from fresh and stored apples*. J. Agric. Food Chem. 42, 1266-1275.
- Furmaniak, S., Terzyk, A.P. et Gauden, P.A. (2007). *The general mechanism of water sorption on foodstuffs – Importance of the multitemperature fitting of data and the hierarchy of models*, Journal of Food Engineering 82, 528-535.
- Gal, S., (1987). *The need for, and practical applications of sorption data*. In: Jowitt, R., Escher, F., Hallström, B., Mefert, H., Spiess, W. and Vos, G., Editors, 1987. Physical properties of foods-2, Elsevier Applied Science, London, pp. 13-25.
- Galazka, V.B., Smith, D., Ledward, D.A., et Dickinson, E., (1999), *Interactions of ovalbumin with sulphated polysaccharides: effects of pH, ionic strength, heat and high pressure treatment*, Food Hydrocolloids, 13, p.81-88.
- Garcia-Gimeno, R.M., Hervas-Martinez, C. et Isabel de Sioniz, M. (2002). *Improving artificial neural networks with a pruning methodology and genetic algorithms for their application in microbial growth prediction in food*, International Journal of Food Microbiology 72, 19- 30
- Gardson, G. D. (1998). *Neural networks*,. London: SAGE Publications Ltd.

- Genin N et René F. (1995). *Analyse du rôle de la transition vitreuse dans les procédés de conservation agroalimentaires*. J Food Engin 26:391-408.
- Genovese DB et Rao MA. 2003. *Vane yield stress of starch dispersions*. Journal of Food Science, 68:2295-301.
- Genovese, D.B. et Lozano, J.E., (2001), *The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices*, Food hydrocolloids, 15, p.1-7.
- George J.P. et A.K. Datta. (2002), *Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices*. Journal of Food Engineering, 52, 89-93.
- Giri, S.K. et Prasad, S., (2007). *Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms*, Journal of Food Engineering 78 (2), Pages 512-521
- Glenn, G.M. et Irving, D.W. (1995). *Starch-based microcellular foams*, Cereal Chemistry 72, p. 155-161.
- Goñi, S.M., Oddone, S., Segura, J.A., Mascheroni, R.H. et Salvadori, V.O., (2007), *Prediction of foods freezing and thawing times: Artificial neural networks and genetic algorithm approach*, *Journal of Food Engineering, In Press, Corrected Proof, Available online*.
- Gordon, M., et Taylor, J. S. (1952). *Ideal copolymers and second-order transitions in synthetic rubbers. I. Non-crystalline polymers*. Journal of Applied Chemistry 2, 493-500.
- Goula, A.M., Karapantsios, T.D., Achilias, D.S. et Adamopoulos, K.G., (2008). *Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp*, Journal of Food Engineering 85, 73-83.
- Grabowski, S., Marcotte, M. et Ramaswamy, H.S. (2006) *Drying of fruits, vegetables and spices*, dans, Chakraverty, A., Mujumdar, A., Raghavan, G.S.V. et Ramaswamy, H.S., (Ed.), Handbook of Postharvest Technology 23, p.653-696.
- Grandison, A.S. Youravong, W. et Lewis, M.J. (2000) *Hydrodynamic factors affecting flux and fouling during ultrafiltration of skimmed milk*. Lait 80 (2000), pp. 165-174
- Hallbrucker, A. et Mayer, E., (1987). *Calorimetric study of the vitrified liquid water to cubic ice phase transition*, J. Phys. Chem. 91(3) pp 503 - 505.
- Hammami, C. et René, F., (1998), *Determination of Freeze-drying Process Variables for Strawberries*. Journal of Food Engineering. 32, 133-154.
- Hammami, C.; Rene, F. et Marin, M. (1999), *Process-quality optimization of the vacuum freeze-drying of apple slices by the response surface method*, International journal of food science & technology, Oxford: Blackwell Scientific Ltd.; v. 34 (2), p. 145-160.
- Handa A, Hayashi K, Shidara H and Kuroda N. 2001. *Correlation of the protein structure and gelling properties in dried egg white products*. J. Agric. Food Chem, 49:3957-64.
- Haque, K. and Roos, Y.H., (2006). *Differences in the physical state and thermal behavior of spray-dried and freeze-dried lactose and lactose/protein mixtures*, Innovative Food Science & Emerging Technologies 7, Issues 1-2, Pages 62-73.
- Hart, M.R., Graham, R.P., Ginnette, L.F. et Morgan, A.I., (1963). *Foams for foam-mat drying*. Food Technology 17, 1302-1304.
- Hartley, L., Chevance, F., Hill, S.E., Mitchell, J.R. et Blanshard, J.M.V. (1995). *Partitioning of water in binary biopolymer mixtures at low water content*, Carbohydrate Polymers 28(2), Pages 83-89.

- Hassoum, M.H. (1995). *Fundamentals of artificial neural networks*, MIT Press, Cambridge.
- Hatakeyama, T., Nakamura, K. et Hatakeyama, H., (2000). *Vaporization of bound water associated with cellulose fibres*, *Thermochimica Acta* 352-353, p. 233-239.
- Hatcher, D. W., Symons, S. J., et Manivannan, U. (2004). Developments in the use of image analysis for the assessment of oriental noodle appearance and colour. *Journal of Food Engineering*, 61, 109–117.
- Hernández-Pérez, J.A., García-Alvarado, M.A., Trystram, G. et Heyd, B. (2004). *Neural networks for the heat and mass transfer prediction during drying of cassava and mango*, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5(1), p. 57-64.
- Hertzendorf, MS et Moshy, RJ, (1970), *Foam drying in the food industry*, CRC, Critical review in food technology, 1(1), p.25-70.
- Herzhaft B. 1999. *Rheology of Aqueous Foams: a Literature Review of some Experimental Works*. *Oil & Gas Science and Technology*, 54:587-96.
- Hogekamp, S., et Schubert, H. (2003). Rehydration of food powders, *Food Science and Technology International*, 9, 223–235.
- Höhler R, Cohen-Addad S et Asnacios A. 1999. *Rheological memory effect in aqueous foams*. *Europhysics Letters*, 48:93-8.
- Hottot, A., Vessot, S. et Andrieu, J., (2007). *Freeze drying of pharmaceuticals in vials: Influence of freezing protocol and sample configuration on ice morphology and freeze-dried cake texture*, *Chemical Engineering and Processing* 46(7), p.666-674.
- Huang, B. et Mujumdar, A.S., (1993), *Use of neural network to predict industrial dryer performance*, *Drying Technology* 11 (3), pp. 525–541.
- Hubinger, M., Menegalli, F.C., Aguerre, R.J. et Suarez, C., (1992). *Water vapour adsorption isotherms of guava, mango and pineapple*, *Journal of Food Science* 57 (6), pp. 1405–1407.
- Hughes, D.E., (1983). *Titrimetric determination of ascorbic acid with 2,6-dichlorophenol indophenol in commercial liquid diets*, *Journal of Pharmaceutical Sciences* 72, Issue 2, p. 126-129.
- Iglesias, H. A., et Chirife, J. (1976a). *BET monolayer values in dehydrated foods and food components*, *Lebensmittel – Wissenschaft und Technologie* 9, p.107-113.
- Iglesias, H. A., et Chirife, J. (1976b). *Isosteric heats of water vapour sorption on dehydrated foods. Part I: analysis of the differential heat curves*. *Lebensmittel – Wissenschaft und Technologie* 9, pp. 116–122.
- Iglesias, H. A., et Chirife, J. (1976c). *Isosteric heats of water vapour sorption on dehydrated foods. Part II: hysteresis and heat of sorption comparison with BET theory*. *Lebensmittel – Wissenschaft und Technologie* 9, pp. 123–127.
- Iglesias, H. A., et Chirife, J. (1982). *Handbook of food isotherms*, New York: Academic Press, p.170–175.
- Iglesias, O. et Bueno, J.L., (1999). *Water agar-agar equilibrium: determination and correlation of sorption isotherms*, *International Journal of Food Science and Technology* 34 (3), 209–216.
- Iguedjtal, T., Louka, N. et Allaf, K. (2008). Sorption isotherms of potato slices dried and texturized by controlled sudden decompression, *Journal of Food Engineering*, Volume 85 (2), p.180-190.

- IIF (Institut International du Froid), IIR (1986), *Recommandations pour la preparation et la distribution des aliments congelés*, 3^e édition, Paris.
- Imamura, K, Ogawa, T, Sakiyama, T et Nakanishi, K , (2003), *Effects of types of sugar on the stabilization of protein in the dried state*, Journal of Pharmaceutical Sciences, V.92, n2, p.266-274.
- Inyang, U.E. et Ike, C.I., (1998). *Effect of blanching, dehydration method temperature on the ascorbic acid, colour, sliminess and other constituents of okra fruit*, International Journal of Food Sciences and Nutrition 49 (2), p.125–130.
- Izmailova VN, Yampolskaya GP et Tulovskaya ZD. (1999). *Development of the Reh binder's concept on structure-mechanical barrier in stability of dispersions stabilised with proteins*. Colloid Surf A - Physicochem Eng Aspects; 160:89-106.
- Jang,W, Nikolov, A. et Wasan, D.T. (2006). *The destabilization of aerated food products*, Journal of Food Engineering 76, pp. 256–260.
- Jayaraman, K. S., Das Gupta, D. K., et Babu Rao, N. (1990). *Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower*. International Journal of Food Science and Technology, 25, 47–60.
- Jennings, T.A., (1999), *Lyophilization/Introduction and Basic Principles*, Informa Health Care, 646p.
- Johnston, C. et Hale, J. (2005). *Oxidation of ascorbic acid in stored orange juice is associated with reduced plasma vitamin C concentrations and elevated lipid peroxides*. Journal of the American Dietetic Association, V.105 (1), p.106-109.
- Joupilla, K. et Roos, Y.H., (1994), *Glass transitions and cryatallization in milk powders*, J.Dairy Sci., 77, p.2907-2915.
- Jovanović, N., Bouchard, A., Hofland, G.W., Witkamp, G-J, Crommelin, D.J.A. et Jiskoot, W., (2006). *Distinct effects of sucrose and trehalose on protein stability during supercritical fluid drying and freeze-drying*, European Journal of Pharmaceutical Sciences 27, Issue 4, Pages 336-345.
- Kabasakalis, V., Siopidou, D. et Moshatou, E., (2000). *Ascorbic acid content of commercial fruit juices and its rate of loss upon storage*, Food Chemistry 70, p.325–328.
- Kalichersky, MT, Jaroskiewicz et Ablett, S., (1992), *The glass transition of amylopectine measured by DSC, DMTA and NMR*, Carbohydrate Polymers, 18., p.77-88.
- Kamal, I.M., Sobolik, V., Mounir, S.M. et Allaf, K. (2008). *Structure expansion of green coffee beans using instantaneous controlled pressure drop process*. Innovative Food Science & Emerging Technologies, In Press.
- Kampf N, Gonzalez MC, Corradini MG et Peleg M. 2003. *Effect of two gums on the development, rheological properties and stability of egg albumen foams*. Rheol. Acta, 42:259-68.
- Karel, M. (1975a), *Heat and Mass Transfer in Freeze Drying*. Chapter 14 in *Freeze Drying and Advanced Food Technology*. Edited by Goldbith, S.A., Rey, L. and Rothamayr, W.W. Academic Press, New York.
- Karel, M., (1975b), *Freeze dehydration of Foods*, Princ. Food Sci., 4, PT2, p.359-395.
- Karim, AA et Wai, CC, (1999), *Characteristics of foam prepared from starfruit puree by using methylcellulose*, Food Hydrocolloids, 13, p.203-210.
- Karim, AA et Wai, CC, (1999), *Foam-mat drying of starfruit purée. Stability and air drying characteristics*, Food Chemistry, 64, p.337-343.

- Karlstrom, B. et Honsson, L., (1980). *Warm-holding of potatoes in different equipments. Influence on sensory quality, vitamin B6, and ascorbic acid. (in Swedish)* SIK-Rapport 479, 52p.
- Kaymak-Ertekin F. et Gedik A. (2004). *Sorption isotherms and isosteric heat of sorption of grapes, apricots, apples and potatoes.* Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 37: 429–438.
- Keary CM. 2001. *Characterization of Methylcellulose cellulose ethers by aqueous SEC with multiple detectors.* Carbohydrate Polymers, 45:293-303.
- Kerdpi boon, S., Kerr, W.L. et Devahastin, S., (2006). *Neural network prediction of physical property changes of dried carrot as a function of fractal dimension and moisture content,* Food Research International 39, p.1110–1118.
- Kessler, H.G. (1986). *Energy aspects of food preconcentration,* dans *Concentration and Drying of Foods,* MacCarthy, D. (Ed.), p. 147-163. Elsevier Applied Science Publishers, New York.
- Khalloufi, S. et Ratti, C., (2003), *Quality deterioration of freeze-dried foods as explained by their glass transition temperature and internal structure,* Journal of Food Science, v.68, n3, p.892-903.
- Khalloufi, S., (2001), *La température de transition vitreuse : une nouvelle approche pour prédire et optimiser la qualité des produits lyophilisés,* Thèse de Doctorat, Université Laval.
- Khalloufi, S., El-Maslouhi, Y., et Ratti, C.(2000). *Mathematical model for prediction of glass transition temperature of fruit powders.* Journal of Food Science, 65, p.842–848.
- Khalloufi, S., Robert, J.L. et Ratti, C., (2005). *Solid foods freeze-drying. Simulation and experimental data.* Journal of Food Process Engineering, 28, p.107–132.
- Khan, S.A., Schnepfer, C.A. et Armstrong, R.C. (1988) *Foam Rheology: III. Measurement of Shear Flow Properties.* Journal of Rheology, 32, 1, 69-92.
- Kim, M.H. et Toledo, R.T., (1987). *Effect of osmotic dehydration and high temperature fluidized bed drying on properties of dehydrated rabbiteye blueberries,* Journal of Food Science 52, pp. 980–984.
- Kim, SH. et Kinsella, JE., (1995), *Surface active properties of lupin protein isolates.,* J. Food Science, 50, p.82-86.
- King, C.J., (1970), *Freeze-drying of Foodstuffs,* CRC Critical Review Food technology, p.1-379.
- Kiranoudis, C.T., Maroulis, Z.B., Tsami, E. et Marinos-Kouris, D., (1993). *Equilibrium moisture content and heat of desorption of some vegetables.* Journal of Food Engineering 20, pp. 55–74.
- Klimczak, I., Malecka, M., Szlachta, M., et Gliszczynska-Swiglo, A. (2007). *Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices.* Journal of Food Composition and Analysis 20(3–4), 313–322.
- Kogan, A. et Garti,N. (2006). *Microemulsions as transdermal drug delivery vehicles*Advances in Colloid and Interface Science, 123-126 (16), p.369-385.
- Komes, D., Lovrić, T. et Ganić, K.K. (2007). *Aroma of dehydrated pear products,* LWT - Food Science and Technology, Volume 40 (9), p.1578-1586.
- Kramer, G.N.(1988), *The freeze-drying of orange juice for the preparation of reference materials,* Fresenius' Zeitschrift fuer Analytische Chemie, 332(6) p. 694-697.

- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., et Saravacos, G. D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 53–59.
- Krokida, M.K. et Marinos-Kouris, D. (2003). *Rehydration kinetics of dehydrated products*, *Journal of Food Engineering*, 57(1), 1-7.
- Krokida, M.K. et Philippopoulos, C. (2006). *Volatility of apples during air and freeze drying*, *Journal of Food Engineering*, Volume 73 (2), Pages 135-141
- Krokida, M.K.; Karathanos, V.T. et Maroulis, Z.B., (1998) *Effect of freeze-dried conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products*. *Journal of food engineering*, v. 35 (4), p. 369-380.
- Krokida, M.K. et Maroulis, Z.B., (2001). *Structural properties of dehydrated products during rehydration*, *International Journal of Food Science and Technology (GBR)*, 36, (5), p.529-538.
- Kumar, P. et Mishra, H.N., (2004). *Yoghurt Powder—A Review of Process Technology, Storage and Utilization* *Food and Bioproducts Processing*, 82 (2), p.133-142
- Kuu, W.Y., McShane, J. et Wong, J. , (1995), *Determination of Mass Transfer Coefficient During Freeze Drying Using Modeling and Parameter Estimation Techniques*. *International Journal of Pharmaceutics*. 124, 241-252.
- Kuu, W.Y., Hardwick, L.M. et Akers M.J., (2006). *Rapid determination of dry layer mass transfer resistance for various pharmaceutical formulations during primary drying using product temperature profiles*, *International Journal of Pharmaceutics* 313, p.99–113.
- Labbafi, M., Thakur, R.K., Vial, C. et Djelveh, G. (2007). *Development of an on-line optical method for assessment of the bubble size and morphology in aerated food products*, *Food Chem* 102, pp. 454–465.
- LaBelle RL. 1966. Characterization of foams for foam mat drying. *Food Technology*, 20:89–114.
- Labuza, T. P., et Baisier, W. (1992). The kinetics of nonenzymatic browning. In H. G. Schwartzberg and R. W. Hartel (Eds.), *Physical chemistry of foods* (pp. 595–649). New York: Marcel Dekker Inc.
- Labuza, T.J.(2002), *Brittle Ductile Behavior of a sugar snap cookie*, Minnesota State Science Fair, Competition paper.
- Labuza, T.P., (1980). Enthalpy/entropy compensation in foods reactions. *Food Technology* 34, p.67–77.
- Labuza, T.P., Canaan, A. et Chen, J.Y. (1985). *Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated food*. *J. Food Sci.* 60 (4), P. 810-814.
- Le Meste, M., Roudaut, G. et Davidou, S, (1996), *Thermomechanical properties of glassy cereal foods*. *J. Thermal Analyss*, 47, p.1361-1375.
- Lechevalier, V., Croguennec, T., Pezennec, S., Guérin-Dubiard, C., Pasco, M. et Nau, F. (2005). *Evidence for synergy in the denaturation at the air–water interface of ovalbumin, ovotransferrin and lysozyme in ternary mixture*, *Food Chemistry* 92, 79–87.
- Lee, S.H. et Labuza, T.P., (1975). *Destruction of ascorbic acid as a function of water activity*, *Journal of Food Science*. 40, p.370–373.

- Lerici, C.R., Pinnavaia, G., Rosa, M.D. et Bartolucci, L. (1985) Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality, *Journal of Food Science* 50 (5), 1217–1219.
- Lertworasirikul, S. et Tipsuwan, Y. (2008). *Moisture content and water activity prediction of semi-finished cassava crackers from drying process with artificial neural network*, *Journal of Food Engineering*, 84(1), p.65-74.
- Liao, Y., (2002). *Neural Networks for Pattern Classification and Universal Approximation*, Dissertation, PhD, North Carolina State University.
- Liapis A.I. (1987). *Freeze Drying*. Dans: Mujumdar AS, editor. *Handbook of industrial drying*. New York: Marcel Dekker, Inc. p 295-326.
- Liapis, A.I. et Bruttini R., (1995). *Freeze drying*. dans (A.S. Mujumdar, 2007), *Handbook of Industrial Drying*, 3rd Ed., Chapter 11 pp. 257–284, CRC Press, Drying apparatus, 1312 pages.
- Liapis, A.I. et Bruttini, R., (1994). *A Theory for the primary and secondary drying stages of the freeze-drying of pharmaceutical crystalline and amorphous solutes: comparison between experimental data and theory*. *Separation. Technology*. 4, pp. 144–155.
- Liapis, A.I., Pikal, M.J. et Bruttini, R. (1996), *Research and development needs and opportunities in freeze-drying*. *Drying Technology*. 14 (6), 1265-1300.
- Lievenon, S. M., et Roos, Y. H. (2002). Nonenzymatic browning in amorphous food models: Effects of the glass transition and water. *Journal of Food Science*, 67, 2100–2106.
- Lim, L.T., Tang, J. et He, J., (1995). *Moisture sorption characteristics of freeze dried blueberries*, *Journal of Food Science*. 60 (4), p. 810–814.
- Lima, A.W.O. et Cal-Vidal, J., (1983). *Hygroscopic behaviour of freeze dried bananas*, *Journal Food Technol.* 18, p.687–696.
- Lin TM, Durance TD et Scaman CH. (1998). *Characterization of vacuum microwave, air, and freeze-dried carrot slices*. *Food Res Int* 31(2): 111-117.
- Lind, I., Rask, C., (1991). *Sorption isotherms of mixed minced meat, dough and bread crust*, *Journal of Food Engineering* 14, pp. 303–315.
- Litvin, S.; Mannheim, C.H. et Miltz, J. (1998), *Dehydration of carrots by a combination of freeze drying, microwave heating and air or vacuum drying*, *Journal of food engineering*, v. 36 (1), p. 103-111.
- Liu, Y., Zhao, Y. et Feng, X. (2008). *Exergy analysis for a freeze-drying process*, *Applied Thermal Engineering*, 28(7), p.675-690.
- Lombraña, J.I., De Elvira, C. et Villarán, M., (1997), *Analysis of Operating Strategies in the Production Special Foods in Vials by Freeze Drying*. *International Journal of Food Science and Technology*. 32, 107-115.
- Lorient, D., Colas, B. et LeMeste, M., (1988), *Propriétés fonctionnelles des macromolécules alimentaires*, ENSBANA, paris, Lavoisier TEC et DOC.
- Louka, N., et Allaf, K. (2002). New process for texturizing partially dehydrated biological products using Controlled Sudden Decompression to the vacuum: application on potatoes. *Journal of Food Science*, 67, 3033–3038.
- Louka, N., Juhel, F. et Allaf, K. (2004). *Quality studies on various types of partially dried vegetables texturized by Controlled Sudden Decompression: General patterns for the variation of the expansion ratio*, *Journal of Food Engineering*, Volume 65 (2), P. 245-253.

- Lovrić T, Sablek Z et Boskovic M. 1970. *Cis-Trans isomerisation of lycopene and colour stability of foam-mat dried tomato powder during storage*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 21:641-647.
- Macdonald, C. et Johari, G.P., (2000). *Glass-softening of trehalose and calorimetric transformations in its liquid state*, Journal of Molecular Structure, V. 523,(1-3, 2) Pages 119-132.
- MacKenzie, A.P., (1974). *Collapse during freeze-drying-qualitative and quantitative aspects* Dans: Goldblith, S.A. Rey, L. et Rothmayr, W.W. (Eds.), Freeze-drying and Advanced Food Technology, Academic Press, New York, pp. 277-307.
- Macura, R., (1994), *Application of freeze drying technics to the production of rich in vitamins concentrate of tomato*, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kollataja w Krakowie. Technologia Zywnosci (Poland), no.6,p. 175-182.
- Madamba, P.S., Driscoll, R.H. et Buckle, K.A., (1996). *Enthalpy-entropy compensation models for sorption and browning of garlic*, Journal of Food Engineering 28, p. 109-119.
- Magee, T.R.A. et Wilkinson, C.P.D., (1992), *Influence of process variables on the drying of potato slices*, International Journal of Food Science and Technology, 27, p.541-549.
- Maldonado-Valderrama, J., Martín-Rodríguez, A., Gálvez-Ruiz, M.J., Miller, R., Langevin, D. et Cabrerizo-Vilchez, M.A., (2008). *Foams and emulsions of β -casein examined by interfacial rheology*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, V 323 (1-3), p.116-122.
- Marques, L.G., Ferreira, M.C. et Freire, J.T. (2007). *Freeze-drying of acerola (Malpighia glabra L.)* Chemical Engineering and Processing, Volume 46(5), p.451-457.
- Martin, A.H., Grolle, K., Bos, M.A., Stuart, M.A.C. et van Vliet, T. (2002), *Network Forming Properties of Various Proteins Adsorbed at the Air/Water Interface in Relation to Foam Stability*, Journal of Colloid and Interface Science, 254(1), p.175-183.
- Martinelli, L. ; Gabas, A. L. et Telis-Romero, J. T., (2007). *Thermodynamic and quality properties of lemon juice powder as affected by maltodextrin and Arabic gum*. Drying Technology, v. 25, p. 2035-2045.
- Martynenko, A.I. et Yang, S.X. (2006). *Biologically Inspired Neural Computation for Ginseng Drying Rate*, Biosystems Engineering, 95(3), p.385-396.
- Mastrocola, D., Barbanti, D., Dalla Rosa, M. et Pittia, P. (1998). *Physicochemical characteristics of dehydrated apple cubes reconstituted in sugar solutions*. Journal of Food Science, 63(3), 495-498.
- Mauron, J., (1981). *The Maillard reaction in food; a critical review from the nutritional standpoint*. Progress in Food and Nutritional Science 5, pp. 5-35
- McLaughlin, C.P. et Magee, T.R.A., (1998). *The determination of sorption isotherm and isosteric heats of sorption for potatoes*, Journal of Food Engineering 35, p. 267-280.
- Méda, L.N., (2000). *Étude de la réhydratation des fraises et des bleuets lyophilisés*, M.Sc., Université Laval (Canada), 109 pages
- Mellor, J.D., (1978). *Fundamentals of freeze-drying*, London: Academic press.
- Millman, M.J., Liapis, A.I. et Marchello, J.M. (1985). *An analysis of the lyophilization process using a sorption-sublimation model and various operational policies*. AIChEJ. 31, p.1594-1604.
- Mittal, G.S. et Zhang, J. (2002), *Prediction of food thermal process evaluation parameters using neural networks*, International Journal of Food Microbiology, 79(3), p.153-159.

- Miyamoto, T., Sato, Y., Shibata, T., Tanahashi, M. et Inagaki, H., (1985). *¹³C-NMR spectral studies on the distribution of substituents in water-soluble cellulose acetate*. J. Polym. Sci: Polym. Chem. 23, 1373-1381.
- Mohamed, L.A., Kouhila, M., Jamali, A., Lahsasni, S. et Mahrouz, M., (2004). *Moisture sorption isotherms and heat of sorption of bitter orange leaves (Citrus aurantium)*, Journal of Food Engineering 67, p. 491-498.
- Moraga G., Martínez-Navarrete N. et Chiralt A. (2006). *Water sorption isotherms and phase transitions in kiwifruit*. Journal of Food Engineering 72(2): 147-156.
- Morgan, A. I., Graham, R. P., Ginnette, L. P., et Williams, G. S., (1961), *Recent developments in foam-mat drying*. Food Technology, 15(1), 37-39.
- Morgan, A.I. Graham, R.P., Ginnette L.F. et Williams, G.S. (1961) *Recent developments in foam-mat drying*, Food Technology 15 (1961), pp. 37-39.
- Morrison, I.D. et Ross, S. (2002). *Colloidal dispersions : suspensions, emulsions, and foams*, New York : Wiley-Interscience, xxvii, 616 p.
- Moy, J.H., (1970), *Vacuum-puff freeze-drying of tropical fruit juices*, Journal of Food Science, v.36, p.906-910.
- Muhammad, N., Anwar, M., Afzal, M., Ehteshamuddin, A., et Jamil, M. (1988). *Egg powder by foam-mat drying*. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research, 31, 303-306.
- Murray, B.S., (2007). *Stabilization of bubbles and foams*, Current Opinion in Colloid and Interface Science 12(4-5), p.232-241.
- Murray, B.S., Dickinson, E., Gransard, C. et Söderberg, I., (2006). *Effect of thickeners on the coalescence of protein-stabilized air bubbles undergoing a pressure drop*, Food Hydrocolloids 20, p.114-123.
- Muthukumaran, A., (2007). *Foam-mat freeze-drying of egg white and mathematical modeling*, MSc., McGill University, Department of Bioresource Engineering.
- Nail, S.L. et Gatlin, L.A., (1992). *Freeze-drying: principles and practices*. Pharmaceutical Dosage Forms: Parenteral Medications, 2nd Ed.; Avis, K.E., Lieberman, H.A., Lachman, L., Eds; Marcel Dekker, Inc., New York, 2, p.163-223.
- Nail, S.L., Jiang, S., Chongprasert, S. et Knopp, S.A, *Fundamentals of freeze-drying*, Dans Nail, S.L. et Akers, M.J (2002), *Development and manufacture of protein pharmaceuticals*, Pharmaceutical Biotechnology 14, p.281-360.
- Narsimhan G et Ruckenstein E. 1986. *Hydrodynamics, Enrichment, and Collapse in Foams*. Langmuir, 2:230-8.
- Narsimhan G. 1991. *A Model for Unsteady State Drainage of a Static Foam*. Journal of Food Engineering, 14:139-65.
- Nastaj, J., (1991), *A Mathematical Modelling of Heat Transfer in Freeze Drying*. *Drying 91*: 405-413. Edited by Mujundar, A.S. and Filkova, I. London
- Nijhuis, HH, Toringa, HM, Muresan, S., Yuksel, D., Legrit, C. et Kloek, W, (1998), *Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables*, Food Science and Technology, 9, p.13-20.
- Nijhuis, HH, Toringa, HM, Muresan, S., Yuksel, D., Legrit, C. et Kloek, W, (1998), *Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables*, Food Science and Technology, 9, p.13-20.
- Nussinovitch, A. et Gershon, Z., (1997). *Alginate-oil sponges*. Food Hydrocolloids 11(3), p. 281-286.

- Pääkkönen, K. et Mattila, M., (1991). *Processing, packaging and storage effects on quality of freeze dried strawberries*, Journal of Food Science. 56 (5), p.1388–1392.
- Pääkkönen, K. et Plit, L., (1991), *Equilibrium water content and the state of water in dehydrated white cabbage*, J. Food Science, 6, p.1597-1599.
- Palmfeldt, J., Rådström, P. et Hahn-Hägerdal, B., (2003). *Optimisation of initial cell concentration enhances freeze-drying tolerance of Pseudomonas chlororaphis*, Cryobiology 47 (1), Pages 21-29.
- Papavasiliou, G., Kourkoutas, Y., Rapti, A., Sipsas, V., Soupioni, M. et Koutinas, A.A., (2008). *Production of freeze-dried kefir culture using whey*, International Dairy Journal 18, 247–254
- Perez, J., (1994), *Theories of liquid-glass transition*, Journal of Food Engineering, 22, ¼, p.89-114
- Perez-Alonso, C., Beristain, C.I., Lobato-Calleros, C., Rodriguez-Huezo M.E. et Vernon-Carter, E.J., (2006). *Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers*, Journal of Food Engineering 77 (4), pp. 753–760.
- Pernell, C.W., Foegeding, E.A. et Daubert, C.R., (2000). *Measurement of the Yield Stress of Protein Foams by Vane Rheometry*, Journal of Food Science 65(1), p.110-114.
- Piazza, L., Gigli, J. et Bulbarello, A., (2008), *Interfacial rheology study of espresso coffee foam structure and properties*, Journal of Food Engineering 84, 420–429.
- Pikal, M.J. et Shah, S. (1990). *The collapse temperature in freeze drying: dependence on measurement methodology and rate of water removal from the glassy state*, Int. J. Pharm. 62, 165–186.
- Pikal, M.J., 1985. *Use of laboratory data in freeze drying process design: heat and mass transfer coefficients and computer simulation of freeze drying*. Journal Parent. Science Technology. 39, pp. 115–135.
- Pikal, M.J., Shah, S., Roy, M.L., et Putman, R., (1990). *The secondary drying stage of freeze drying: drying kinetics as a function of temperature and chamber pressure*, Znr. J. Pharm., 60, 203-217.
- Pikal, M.J., Shah, S., Senior, D. et Lang, J.E., (1983), *Physical chemistry of freeze-drying: measurement of sublimation rates for frozen aqueous solutions by a microbalance technique*, J. Pharm. Sri. (J. Am. pharm. Ass.) 72, 635-650.
- Princen HM et Kiss AD. 1989. *Rheology of Foams and Highly Concentrated Emulsions*. Journal of Colloid and Interface Science, 128:176-87.
- Prud'homme RK et Khan SA., (1996), *Foams-Theory, Measurements, and Applications*. Marcel Dekker Inc..
- Pugh, R.J., (1996). *Foaming, foam films, antifoaming and defoaming*, Advances in Colloid and Interface Science, Volume 64, 8, p. 67-142
- Pugnali, L.A., Dickinson, E., Ettelaie, R., Mackie, A.R. et Wilde, P.J. (2004). *Competitive adsorption of proteins and low-molecular-weight surfactants: computer simulation and microscopic imaging*, Advances in Colloid and Interface Science 107(1), p.27-49.
- Raharitsifa, N., (2003) *Optimisation de la lyophilisation des jus de fruits*, MSc. Université Laval.
- Raharitsifa, N., Genovese, D.B. et Ratti, C., (2006). *Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose*, Journal of food science 71, n°3, E142-E151.

- Rahman, M. S., et Labuza, T. P. (1999). *Water activity and food preservation*. dans Rahman, M.S. (Ed.), *Handbook of food preservation* (pp. 339–382). New York: Marcel Dekker.
- Rahman, M. S., et Perera, C. O. (1999). *Drying and food preservation*. In: M. S. Rahman (Ed.), *Handbook of food preservation* (p. 173–216). New York: Marcel Dekker.
- Rahman, M.S, Sablani, S.S., AL-Habsi, N., Al-Maskri, S. et Al-Belushi, R., (2005). *State Diagram of Freeze-dried Garlic Powder by Differential Scanning Calorimetry and Cooling Curve Methods*, *Journal of Food Science* 70 (2), E135-141.
- Rahman, MS, (1999), *Glass transition and other structural changes in foods*. In MS Rahman *Handbook of Food preservation*, p.75-93, NY, Marcel Dekker.
- Rajkumar, P., Kailappan, R., Viswanathan, R. et Raghavan, G.S.V., (2007), *Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer*, *Journal of Food Engineering*, Volume 79(4), Pages 1452-1459.
- Rajkumar, P., Kailappan, R., Raghavan, G.S.V., Vishwanathan, R. et Ratti, C., (2005). *Foam mat drying of mango pulp (Totapuri)*. dans: *Proceedings of the fourth Asia Pacific Drying Conference*, vol. 1. Allied Publishers Pvt. Ltd., New Delhi, pp. 479–495.
- Rao MA. 1999. *Measurement of Flow and Viscoelastic Properties*. In: Rao MA, editor. *Rheology of Fluid and Semisolid Foods*. 1st ed. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers. p 59-151.
- Ratti, C., (1994), *Shrinkage during drying of foodstuffs*, *Journal of Food Engineering* 23, (1), pp. 91–105.
- Ratti, C., (2001). *Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review*, *Journal of Food Engineering* 49(4), p. 311–319.
- Ravenelle, F, Marchessault, R.H., Légaré, A. et Buschmann, M.D., (2002). *Mechanical properties and structure of swollen crosslinked high amylose starch tablets*, *Carbohydrate Polymers* 47 (3), Pages 259-266.
- Razavi, S. M. A., Mousavi, S. M. et Mortazavi, S. A., (2003). *Dynamic prediction of milk ultrafiltration performance: A neural network approach*, *Chemical Engineering Science* 58, p.4185 – 4195.
- Ridout, M.J., Mackie, A.R. et Wilde, P.J., (2004). *Rheology of mixed-casein-/lactoglobulin films at the air-water interface*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (12), p. 3930–3937.
- Riedel, L., (1961), *Zum Problem des gebundenen Wassers in Fleisch.*, *Kältetechnik*, 3, p.122-128.
- Righetto, A.M. et Netto, F.M., (2005). *Effect of encapsulating materials on water sorption, glass, transition and stability of juice from immature acerola*, *International Journal of Food Properties* 8, pp. 337–346.
- Rizzolo, A., Nani, RC, Viscardi, D., Bertolo, G. et Torreggiani, D., (2003) *Modification of glass transition temperature through carbohydrates addition and anthocyanin and soluble phenol stability of frozen blueberry juices*, *Journal of Food Engineering*, Volume 56, Issues 2-3, Pages 229-231.
- Romero-Tehuitzil, H., Vernon-Carter, E.J., Vizcarra-Mendoza, M.G. et Beristain, C.I. (1999). *Effect of biopolymers on the formation, drying kinetics, and flavor retention of tamarind (Tamarindus indica) foam-mats*. dans: S.H. Imam, R.V. Greene and B.R. Zaidi, Editors, *Biopolymers: utilizing nature's advanced materials*, American Chemical Society Symposium Series 723. ACS, Washington, DC, p. 131–145.

- Roos, Y., Karel, M. et Kokini, J.L., (1996). *Glass transitions in low moisture and frozen foods: effects on shelf life and quality*. Food Technology 11, pp. 95–108.
- Roos, Y.H., (1995a). *Phase transitions in Foods*. Academic Press Inc., London.
- Roos, Y.H., (1995b). *Characterization of Food Polymers Using State Diagrams*, Journal of Food Engineering 24, p.339-360.
- Roos, Y.H., (1995c). *Water activity and Glass transition temperature: How do they complement and how do they differ?* In Food preservation by moisture control: fundamentals and applications. Edited by Barbosa-Canovas, G.V. and Welti-Chanes, J., Technomic publishing, Switzerland.
- Roos, YH et Karel, M, (1991), *Phase transitions of mixtures of amorphous polysaccharides and sugars*, Biotechnologie Progress, 7. p.49-53.
- Sá, MM, Figueiredo, AM et Sereno, AM, (1999), *Glass transitions and state diagrams for fresh and processed apple*, Thermochim. Acta, 329(1), p.31-38.
- Sablani, S.S. et Rahman, M.S., (2002), *Pore formation in selected foods as a function of shelf temperature during freeze-drying*, Drying Technology, Vol. 20 n°7, p.1379-1391
- Sablani, S.S. et Rahman, M.S. (2003). *Using neural networks to predict thermal conductivity of food as a function of moisture content, temperature and apparent porosity*, Food Research International, 36(6), 617-623.
- Sablani, S.S., Kasapis, S. et Rahman, M.S., (2007). *Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability*, Journal of Food Engineering 78, Issue 1, Pages 266-271.
- Sadikoglu, H. et Liapis, A.I., (1997), *Mathematical Modeling of the Primary and Secondary Drying Stages of Bulk Solution Freeze-Drying in Trays: Parameter Estimation and Model Discrimination by Comparison of Theoretical Results With Experimental Data*. Drying Technology. 15 (3&4), 791-810.
- Sadikoglu, H., Liapis, A.I. et Crosser, O.K.,(1998), *Optimal Control of the Primary and Secondary Drying Stages of Bulk Solution Freeze Drying in Trays*. Drying Technology. 16 (3-5), 399-341.
- Sagara, Y. et Ichiba, J., (1994), *Measurement of transport properties for the dried layer of coffee solution undergoing freeze drying*. Drying technology, v. 12 (5), p. 1081-1103.
- Sagis LMC, de Groot-Mostert AEA, Prins A et Van der Linden E. 2001. *Effect of copper ions on the drainage stability of foams prepared from egg white*. Colloids and Surfaces A, 180:163-72.
- Sankat, C. K. et Balkissoon, F. (1994). *The drying behaviour of fresh and candied carambola under natural convection*. Canadian Agricultural Engineering, 36, 165–174.
- Sankat, C.K. et Castaigne, F., (2004). *Foaming and drying behaviour of ripe bananas*. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 37, 517–525.
- Saravacos, G., (1967), *Effect of the drying method on the water sorption of dehydrated apple and potato*. Journal of Food Science. 32, 81-84.
- Satyanarayana Rao TS et Murali HS. (1989). *Changes in lipids of spray-dried, freeze-dried and foam-mat dried, whole egg powders during storage*. Lebensmittel-Wissenschaft und –Technologie, 22: 217-21.
- Satyanarayana Rao TS et Murali, HS, (1988) , *Changes in Lipids of Spray dried, Freeze-dried and Foam-mat dried, whole egg powders during storage*, Lebensmittel-Wissenschaft und technologie, 22 (5), p.217-221.

- Sharma, N. K. et Arora, C. P., (1995), *Influence of product thickness, chamber pressure and heating conditions on production rate of freeze-dried yoghurt*. International Journal of Refrigeration (UK). 18 (5), 297-307
- Shishegarha, F., Makhlouf, J. et Ratti, C., (2002), *Freeze-drying characteristics of strawberries*, Drying technology, Monticello, N.Y; v. 20 (1), p. 131-145.
- Silva, F.O., (2005). *Total ascorbic acid determination in fresh squeezed orange juice by gas chromatography*, Food Control, V. 16 (1)P. 55-58.
- Simatos, D., Blond, G., Dauvois, P., et Sauvageot, F., (1974), *La lyophilisation: Principes et Applications*. Collection de l'Association Nationale de la Recherche Technique, Paris.
- Slade, L. et Levine, H., (1991). *Beyond water activity: Recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety*. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 30, p. 115-360.
- Slade, L. et Levine, H., (1995). *Water and the Glass Transition - Dependence of the Glass Transition on Composition and Chemical Structure: Special Implications for Flour Functionality in Cookie Baking*, Journal of Food Engineering 24, N. 4, p. 431-509(79).
- Slade, L. et Levine, H.,(1993), *The glassy state phenomenon in food molecules*, Ch.3: *The glassy state in foods*, ed. J.M.V. Blanshard and P.J. Lillford, Nottingham University Press, Loughborough, pp. 35-101.
- Stafford, H. A. (1994). *Anthocyanins and betalains: evolution of the mutually exclusive pathways*. Plant Science, 101, 91-98.
- Steffe JF. 1996. *Viscoelasticity*. In: Steffe JF, editor. Rheological Methods in Food Process Engineering. 2nd ed. East Lansing, MI: Freeman Press. p 294-349
- Steffe, J.F., (1996). Rheological methods in food process engineering (2nd ed.), Freeman Press, East Lansing, MI, USA.
- Stintzing, F.C. et Carle, R. (2004). *Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition*, Trends in Food Science and Technology, Volume 15, (1),P. 19-38.
- Stubenrauch, C. et Rippner, B.(2006) dans: T.F. Tadros (Ed.), Colloid Stability: *The Role of Surface Forces. Part I*, vol. 1, Wiley-VCH, Weinheim, p.263-303
- Sullivan, J. F., et Craig, J. C. (1984). *The development of explosion puffing*. Food Technology, 2, 52-55.
- Tao, Z., Wu, H., Chen, G. et Deng, H., (2005). *Numerical simulation of conjugate heat and mass transfer process within cylindrical porous media with cylindrical dielectric cores in microwave freeze-drying*, International Journal of Heat and Mass Transfer 48 (3-4), p.561-572.
- Telis, V.R.N. et Sobral, P.J.A., (2002), *Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato*, Food research international, v. 35 (5), p. 435-443.
- Thakur RK, Vial C et Djelveh G. 2003. *Influence of operating conditions and impeller design on the continuous manufacturing of food foams*. Journal of Food Engineering, 60:9-20.
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S. et Soponronnarit, S. (2008). *Drying characteristics and quality of banana foam mat*, Journal of Food Engineering 86, 573-583.
- Tomczak, E. et Kaminski, W. (2001). *Drying kinetics simulation by means of artificial neural networks*, Handbook of Powder Technology, 10, p.569-580.

- Torrecilla, J.S., Otero, L. et Sanz, P.D., (2005), *Artificial neural networks: a promising tool to design and optimize high-pressure food processes*, Journal of Food Engineering 69, (3), pp. 299–306.
- Torreggiani, D. et Bertolo, G., (2001). *Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects*, Journal of Food Engineering, 49 (2-3), p.247-253.
- Tsami, E., Marinos-Kouris, D. et Maroulis Z.B., (1990). *Water Sorption Isotherms of Raisins, Currants, Figs, Prunes and apricots*, Journal of Food Science 55 (6),p.1594-1625.
- Uddin, M.S., Hawlader, M.N.A., Ding, L. et Mujumdar, A.S. (2002). *Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage*, Journal of Food Engineering. 51, p.21–26.
- Van den Berg, C. et Bruin, S., (1981). *Water activity and its estimation in food systems: Theoretical aspects*. In: Rockland, L.B. and Stewards, G.F., Editors, 1981, Water activity. Influence on food quality, Academic Press, New York, p. 1–61.
- Velardi, S.A. et Barresi, A.A. (2008). *Development of simplified models for the freeze-drying process and investigation of the optimal operating conditions*, Chemical Engineering Research and Design, 86(1), p. 9-22.
- Vernon-Carter, EJ, Espinosa-paredes, G., Beristain, CI et Romero-Tehuitzil, H, (2001), *Effect of foaming agents on the stability, rheological properties, drying kinetics and flavour retention of tamarind foam-mats*, Food Research International, 34, p.587-598.
- Vikelouda, M. et Kiosseoglou, V., (2004), *The use of carboxymethylcellulose to recover potato proteins and control their functional properties*, Food hydrocolloids, 18, p.21-27.
- Wang Z et Narsimhan G. (2004). Evolution of liquid holdup profile in a standing protein stabilized foam. Journal of Colloid and Interface Science, 280:224-33
- Wang, N. et Brennan, J.G., (1991). *Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures*. Journal of Food Engineering 14, pp. 269–282.
- Wang, Z. et Narsimhan, G. (2006). *Model for Plateau border drainage of power-law fluid with mobile interface and its application to foam drainage*, Journal of Colloid and Interface Science, 300(1), p.327-337.
- Wang, Z.H. et Shi, M.H., (1997), *Effects of Heating Methods on Vacuum Freeze drying*. Drying Technology. 15 (5), 1475-1498.
- Weaire, D., (2007). *The rheology of foam*, Current Opinion in Colloid & Interface Science, In Press.
- Wilde, P.J., (2000). *Interfaces: their role in foam and emulsion behaviour*, Current Opinion in Colloid and Interface Science, Volume 5 (3-4), p.176-181.
- Williams, M.L., Landel, R.F. et Ferry, J.D, (1955). *The temperature dependence of relaxation mechanisms in amorphous polymers and other glass-forming liquids*. Journal of the American Chemical Society 77, pp. 3701–3706.
- Wolf, W., Spiess W.E.L. et Jung, C., (1985). *Sorption isotherms and water activity of food materials*. , Science and Technology Publishers, Essex, England.
- Wolff, E. et Gibert, H., (1988). *Développements Technologiques Nouveaux en Lyophilisation*. Journal of Food Engineering 8(2), 91-108.
- Wu, H.W. Tao, Z., Chen, G.H. et Deng, H.W. (2004). *Conjugate heat and mass transfer process within porous media with dielectric cores in microwave freeze drying*, Chem. Eng. Sci. 59 (14), pp. 2921–2928.

- Yang, A.P.P., Wills, C. et Yang, T.C.S., (1987). *Use of a combination process of osmotic dehydration and freeze drying to produce a raisin-type lowbush blueberry product*, Journal of Food Science **52**, pp. 1651–1653.
- Yen, Y-H, Shih, C-H et Chang, C-H. (2008). *Effect of adding ascorbic acid and glucose on the antioxidative properties during storage of dried carrot*, Food Chemistry, V.107(1), p.265-272.
- Yu, R., Leung, P.S. et Bienfang, P., (2006), *Predicting shrimp growth: Artificial neural network versus nonlinear regression models*, Aquacultural Engineering, Volume 34, Issue 1, Pages 26-32.
- Zerdin, K., Rooney, M.L. et Vermuë, J., (2003). *The vitamin C content of orange juice packed in an oxygen scavenger material*, Food Chemistry 82, p. 387–395.

programmatisque pour le partage du monde³⁹. » Ne pas s'empêtrer dans les remarques trop fines, mais diviser et dégrossir afin de dégager une sorte de portrait-robot des valeurs et des émotions du client. Psychologues du comportement, papier paru dans *Tourisme Hebdo*, recours à des études spécialisées, les ressources sont variées, les résultats atterrants :

Les nouveaux consommateurs étaient des gens décrits comme moins prévisibles, plus éclectiques, plus ludiques, plus engagés dans l'humanitaire. Ils ne consommaient plus pour « paraître », mais pour « être » : *plus de sérénité*. Ils mangeaient équilibré, faisaient attention à leur santé ; ils craignaient un peu les autres et l'avenir. Ils exigeaient le droit à l'infidélité par curiosité, par éclectisme ; ils privilégiaient le solide, le durable, l'authentique. Ils manifestaient des exigences éthiques, *plus de solidarité*, etc⁴⁰.

Voilà à quoi ressemble l'être passé au tamis d'Holbrook et Hirschman ; la typologie de Barma est tout aussi opératoire dans sa façon d'expédier la question de l'homme en cinq profils bien démarqués. Si le sujet est prévisible, il doit être abordé en conséquence : l'approche CAP/SONCAS (« Caractéristiques-Avantages-Preuves/Sécurité-Orgueil-Nouveauté-Confort-Argent-Sympathie⁴¹ ») cerne ses attentes et interrogations en neuf mots-clés, passés lesquels tout a été couvert. *Plateforme* atteint peut-être un sommet dans la mise en veilleuse des complexités de l'âme et de l'agir humain, puisque c'est également à très gros traits, en quatre paragraphes et autour de trois axes, que Cham Sawanasee, de l'agence de rencontres *Heart to Heart*, résume l'attrance des mâles occidentaux pour les Thaïes. Émancipées, les Occidentales sont de plus en plus exigeantes et recherchent des hommes élégants, excitants, cultivés ; les Occidentaux vivent mal cette pression et regrettent une vie conjugale traditionnelle ; les Asiatiques d'*Heart to Heart* ne demandent rien de mieux que de réaliser cet idéal. L'équation est en tous points parfaite parce qu'elle ne laisse pas prise à quelque aspérité que ce soit. Occidentaux, Occidentales, Asiatiques, chaque clan est bien campé, présenté de telle sorte qu'il ne connote que ce qui doit servir la thèse soutenue, la démonstration à laquelle on l'assigne⁴².

³⁹ *Ibid.*, p. 259.

⁴⁰ *Ibid.*, p. 211-212. L'auteur souligne.

⁴¹ *Ibid.*, p. 185.

⁴² Voir *ibid.*, p. 132-133.

4.4 Le sujet comme expérience

La thèse, la démonstration : ces termes ne sont pas fortuits tant le personnage houellebecquien semble en maintes occasions faire les frais d'une expérience. S'il est constamment rappelé à ses conditionnements historiques et sociologiques, que dire de ce ton si particulier qui caractérise les moments où le sujet se pense, et pense autrui, comme un laboratoire ? Déjà, *Extension du domaine de la lutte* nous initiait au bonheur étrange du narrateur qui pour sa psychologue n'est pas uniquement un patient, mais aussi un cas dont elle enregistre les propos pour fins d'analyse ultérieure. Comment réagir en se sachant échantillon d'un futur doctorat sur l'angoisse ?

Sans doute est-ce qu'aujourd'hui je poursuis une vague existence dans une thèse de troisième cycle, au milieu d'autres cas concrets. Cette impression d'être devenu l'élément d'un dossier m'apaise. J'imagine le volume, sa reliure collée, sa couverture un peu triste ; doucement, je m'aplatis entre les pages ; je m'écrase⁴³.

En acceptant de si bonne grâce de se résorber, de n'être plus qu'une donnée supplémentaire sous la loupe du chercheur, le sujet atteint l'indifférence, un détachement tel qu'il considère sa vie sous l'angle — il use lui-même du mot — d'une « expérience⁴⁴ ». Ce qui survient sert à vérifier des hypothèses, entraîne validations ou infirmations ; rien qui ne soit de l'ordre de l'affectif ou du senti qui ne puisse se ramener à une loi, se prêter à l'esprit méthodique qui dégage les causes et les effets, des fonctionnements.

Quand le dépressif d'*Extension* ourdit le plan, évoqué au chapitre précédent, qui doit permettre à Tisserand d'obtenir les faveurs d'une femme (et un peu de cette gratification narcissique que son physique lui refuse), il ne fait pas, de sa table en retrait de l'action, qu'épier les démarches désespérées du puceau sur la piste de danse : il se félicite d'avoir « une excellente vision du théâtre des opérations⁴⁵ ». La douleur de Raphaël lui appartient en propre et a certes quelque chose de touchant, mais n'intéresse véritablement son collègue qu'en tant que champ d'investigation. Extraite de son cadre individuel, expurgée de sa charge émotive, elle devient une nouvelle confirmation empirique de l'hypothèse maîtresse du roman : la sexualité est un système de hiérarchie sociale. Le

⁴³ *Extension du domaine de la lutte*, p. 150.

⁴⁴ *Ibid.*, p. 74.

⁴⁵ *Ibid.*, p. 111.

calvaire sentimental de Tisserand touche le lecteur, mais son histoire n'est donc aussi, au premier chef, que le support d'une démonstration. Le sens qu'elle prend est en droite ligne de ce que proposent sur un tout autre mode les « *Dialogues d'un teckel et d'un caniche* », fiction dans la fiction qui enchâsse quatre récits n'ayant pour fonction que de faire canon autour d'une même affirmation. Une jeune joueuse de badminton dont les charmes perturbent un groupe d'adolescents, le couple formé de Françoise et François qui participe à une soirée en Bulgarie, les déconvenues précitées de Brigitte Bardot dans une classe de terminale, Marthe et Martin mariés depuis quarante-trois ans : tous ces personnages entrent en scène à titre de preuves, en sortent lorsqu'ils ont illustré ce pourquoi leur présence était sollicitée⁴⁶. Plus tard, dans les « *Dialogues d'un chimpanzé et d'une cigogne* », cette façon qu'a l'écriture, parfois, de générer systématiquement les illustrations de ses théorèmes est mise en abyme :

De tous les systèmes économiques et sociaux, le capitalisme est sans conteste le plus naturel. Ceci suffit déjà à indiquer qu'il devra être le pire. Une fois cette conclusion posée, il ne reste plus qu'à développer un appareil argumentaire opérationnel et non déviant, c'est-à-dire dont le fonctionnement mécanique permettra, à partir de faits introduits au hasard, la génération de multiples preuves venant renforcer la sentence préétablie, un peu comme des barres de graphite viennent renforcer la structure d'un réacteur nucléaire. C'est là une tâche aisée, digne d'un tout jeune singe ; néanmoins je m'en voudrais de la négliger⁴⁷.

*

Le monde s'éclaire simplement lorsqu'il est abordé scientifiquement ; « l'analyste vigilant se sépare du dévideur de fariboles⁴⁸ » en s'en tenant à ce qu'il enregistre, puis en le soumettant à vérification. Se plaçant sous l'égide de Claude Bernard, saluant la « rare pénétration⁴⁹ » de son protocole, le narrateur d'*Extension* en respecte assurément les grands principes, l'axiome premier que formulait ainsi le physiologiste en 1865 : « La méthode expérimentale, considérée en elle-même, n'est rien autre chose qu'un *raisonnement* à l'aide duquel nous soumettons méthodiquement nos idées à l'expérience des faits⁵⁰. » De Bernard, Houellebecq conserve l'idée d'une rigueur dans la démarche, à systématiser pour que

⁴⁶ Françoise et François, Marthe et Martin : le choix des prénoms, leur parallélisme très franc reflète bien l'aplanissement des individualités, la faible incidence des Moi.

⁴⁷ *Extension du domaine de la lutte*, p. 124-125.

⁴⁸ *Ibid.*, p. 94.

⁴⁹ *Id.*

⁵⁰ Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, 1966 [1865], p. 26. L'auteur souligne.

l'intuition et le sentiment puissent franchir l'étape qui les rationalisera et les fera démontrables par la voie de l'investigation. En tous les cas, il s'agit d'éviter le confinement à l'abstraction, d'où la résonance peut-être la plus forte du scientifique à l'écrivain. Quand Bernard précise que nous n'arriverons « jamais à des généralisations vraiment fécondes et lumineuses sur les phénomènes vitaux, qu'autant qu'on aura expérimenté soi-même et remué [...] le terrain fétide de la vie⁵¹ », les sommations de *Rester vivant*, leur rudesse nous reviennent. Ce que Houellebecq recueille au ras des pâquerettes constitue la matière vive du discours ; il la triture ensuite suivant quelques idées directrices, pointe des dénominateurs communs, tâche de mettre au jour en les désossant l'armature des actions humaines.

D'ailleurs, c'est bien cela qui désarçonne. Des faits bruts à leur traitement, le comportement humain ne tient, au fond, qu'en quelques scénarios. Devant penser la relance des clubs Eldorado, Valérie, dans *Plateforme*, n'hésite pas à replonger dans ses anciennes notes d'étude, à revoir les exercices qui figuraient au programme de son baccalauréat en tourisme. L'individu n'y est plus individu mais membre d'un public-cible, et ce public lui-même est l'objet d'une lecture on ne peut plus orientée. L'enquête que commande Édouard Yang, propriétaire d'hôtel-restaurant, en atteste : « [E]st-ce que la situation familiale est un critère explicatif dans la consommation de fruits frais au petit déjeuner⁵² ? » Sur papier ou sur le terrain, le personnage amasse, trie, soupèse ce qu'il note. À bord du minibus pour Baracoa, Michel, Jean-Yves et Valérie, idéologues d'Eldorado, guettent, calepin en main, les réactions des participants à l'excursion : il n'est de savoir crédible que puisé à même l'expérience. C'est la façon d'investir cette dernière qui témoigne de la sévérité particulière du regard houellebecquien.

Certes, la présence humaine s'éprouve : elle est susceptible d'être racontée à partir d'une perspective émotive. Dans *Les particules élémentaires*, Bruno Clément se trouble, s'emporte, s'étonne d'un oubli, frémit en évoquant une scène lointaine, tel moment de son existence, pleure ou se cabre. C'est pourtant ce que son demi-frère se garde bien de faire, représentant par là, comme nous le précisons, le chemin le plus fréquenté par l'écriture dans son ensemble. Confronté aux chavirements de Bruno, il emprunte pour en circonscrire

⁵¹ *Ibid.*, p. 44.

⁵² *Plateforme*, p. 183.

l'empire un concept à la physique quantique, la subjectivité étant une question à laquelle la science est en mesure d'apporter ses lumières :

Les histoires consistantes de Griffiths ont été introduites en 1984 pour relier les mesures quantiques dans des narrations vraisemblables. Une histoire de Griffiths est construite à partir d'une série de mesures plus ou moins quelconques ayant lieu à des instants différents. Par exemple, au temps t_1 , un électron a une certaine vitesse, déterminée avec une approximation dépendant du mode de mesure ; au temps t_2 , il est situé dans un certain domaine de l'espace ; au temps t_3 , il a une certaine valeur de spin. À partir d'un sous-ensemble de mesures on peut définir une *histoire*, logiquement consistante, dont on ne peut cependant pas dire qu'elle soit vraie ; elle peut simplement être soutenue sans contradiction. [...] Tu as une conscience de ton moi ; cette conscience te permet de poser une hypothèse : l'histoire que tu es à même de reconstituer à partir de tes propres souvenirs est une histoire consistante, justifiable dans le principe d'une narration univoque. En tant qu'individu isolé, persévérant dans l'existence un certain laps de temps, soumis à une ontologie d'objets et de propriétés, tu n'as aucun doute sur ce point : on doit nécessairement pouvoir t'associer une histoire consistante de Griffiths⁵³.

Ne comptons pas sur Djerzinski pour donner libre cours au cœur, laisser dériver sa parole au gré de ses états d'âme. Il se situe à un autre niveau, celui des formules et des « factorisations audacieuses⁵⁴ », constant contrepoint aux tourments sentimentaux et métaphysiques dont il constate la prégnance chez autrui. Le biologiste moléculaire se positionne donc par rapport au monde selon une perspective particulière. Sont exclus les mouvements affectifs et les transports instinctifs, est prisé un calme mathématique quand l'aventure humaine s'aborde comme une équation.

4.5 Insectes et animaux : l'humilité

Expérimentation, modélisation : dans une œuvre où l'être est toujours soumis à examen et l'émotion passée au tamis du rationnel, c'est un euphémisme de dire que les mouvements de l'âme et du cœur ne bénéficient guère d'une tribune favorable ; c'est sur tous les fronts qu'ils se voient relativisés. Derrière le cas Djerzinski se profile un trouble généralisé, la mise en péril, multidimensionnelle, des fondements de l'individualité. Si un Moi est un *centre*, une *volonté réfléchie* qui se projette dans l'espace et le temps en vertu d'une conscience centripète, nous nous situons bien, chez Houellebecq, du côté du vacillement ontologique. Que le discours emprunte une veine plus sensible, il se heurte bien vite à ce *montage cut* que nous évoquions et les épanchements sont alors stoppés, leur cours

⁵³ *Les particules élémentaires*, p. 65-66.

⁵⁴ *Ibid.*, p. 67.

brusquement détourné par une étrange pudeur. Ainsi, l'empire de la raison ne guérit rien, n'a pas vocation à panser le sujet, loin s'en faut. Bien avant Houellebecq, au XVII^e siècle, Blaise Pascal remarquait déjà, dans ses *Pensées*, que l'inquiétude est consubstantielle au savoir :

Disproportion de l'homme.

Voilà où nous mènent les connaissances naturelles. Si celles-là ne sont véritables, il n'y a point de vérité dans l'homme, et si elles le sont, il y trouve un grand sujet d'humiliation, forcé à s'abaisser d'une ou d'autre manière⁵⁵.

Dans la foulée, il n'est pas rare que Houellebecq, convoquant l'entomologie et la zoologie (des *connaissances naturelles*), provoque dans la trame du discours des ruptures impromptues qui atteignent l'être dans sa consistance, ses prétentions.

Contre la froideur globale survient une scène très tendre qui nous transporte dans les prés où Michel Djerzinski, âgé de neuf ans, folâtre en compagnie de sa cousine Brigitte, qui en a seize. S'offre là un fragment de vie très pur, une parenthèse de sensualité et d'innocente plénitude : un enfant, sa parente, leur partage arraché à la dureté qui les entoure. Semblables capsules de félicité n'émaillent les textes qu'avec parcimonie, d'où leur intensité, d'où surtout le saisissement lorsqu'à brûle-pourpoint change la focalisation, entre en scène cette pudeur qui modifie radicalement la perspective :

C'était l'été 1967. Elle le prenait par les mains et le faisait tourner autour d'elle ; puis ils s'abattaient dans l'herbe fraîchement coupée. Il se blottissait contre sa poitrine chaude ; elle portait une jupe courte. Le lendemain ils étaient couverts de petits boutons rouges, leurs corps étaient parcourus de démangeaisons atroces. Le *Thrombidium holosericum*, appelé aussi aoûtat, est très commun dans les prairies en été. Son diamètre est d'environ deux millimètres. Son corps est épais, charnu, fortement bombé, d'un rouge vif. Il implante son rostre dans la peau des mammifères, causant des irritations insupportables. La *Linguatulia rhinaria*, ou linguatule, vit dans les fosses nasales et les sinus frontaux ou maxillaires du chien, parfois de l'homme. L'embryon est ovale, avec une queue en arrière ; sa bouche possède un appareil perforant. Deux paires d'appendices (ou moignons) portent de longues griffes. L'adulte est blanc, lancéolé, d'une longueur de 18 à 85 millimètres. Son corps est aplati, annelé, transparent, couvert de spicules chitineux⁵⁶.

Après l'interruption entomologique, le court-circuit qu'elle crée dans la trame narrative, le récit reprend son cours normal, nous apprend que Michel et sa grand-mère déménagent en décembre 1968 en Seine-et-Marne, mais l'effet demeure. Le miracle d'un béguin sous le soleil est balayé sans préavis par la lentille du microscope, son zoom sur la vulnérabilité de l'être et sa supériorité toute relative : il est la proie de plus petit que lui. Le sujet peut se

⁵⁵ Blaise Pascal, *Pensées*, 2004 [1977], p. 153.

⁵⁶ *Ibid.*, p. 33-34.

gorger du sentiment de son individualité, le Moi se gonfler et vivre d'effusions durant un moment, la Nature, en permanence, les rappelle à leur fragilité.

Quelques pages plus loin, dans le corridor de l'appartement algérien de ses grands-parents, Bruno, quatre ans, pédale sur son tricycle vers « l'ouverture lumineuse du balcon » et connaît là sans le savoir « son maximum de bonheur terrestre⁵⁷ » ; cette fête intérieure sera pourtant brève. Lapidaire, la phrase qui suit évoque le décès du grand-père, puis lui succède un paragraphe qui détaille de manière pointue, étape par étape et sans faire fi du déplaisant, le cycle de décomposition d'un cadavre. Sucs gastriques, « fermentations butyriques et ammoniacales⁵⁸ » : le vocabulaire spécialisé n'épargne rien au lecteur et la leçon de biologie fait doublement écran, reléguant au second plan la joie de l'enfant et banalisant la perte de l'aïeul. De l'émerveillement de Bruno au travail inflexible des *Calliphora* et *Aglossa pinguinalis*, la sensibilité est freinée net, l'appréhension émotive du monde empêchée par sa saisie scientifique.

À travers de telles cassures, des doutes s'expriment alors que l'œuvre module avec insistance. Qu'un Moi participe positivement au déploiement des choses, qu'une subjectivité trouve à s'y épanouir, quelle est leur consistance ? Insectes, larves et bactéries laissent entendre que l'homme n'est qu'un maillon de la chaîne alimentaire, qu'un organisme parmi tant d'autres ; on ne saurait passer outre la fonction de telles médiations dans l'incertitude qui mine le sujet. Enfance, vieillesse, mort, décomposition : la trajectoire, sa franchise font peu de mystère. Si Michel et Bruno goûtent à ce qui a toutes les apparences d'une communion, d'un instant fusionnel, l'écriture s'empresse de souligner que les lois d'ici-bas n'en font pas cas, les soumettront un jour au travail des anthrènes et autres organismes microscopiques. Le cycle naturel est ainsi le grand égalisateur ; il nous force à voir par-delà l'idée de sujet, de destin individuel. Ce qui fonde l'identité ploie, en quelque sorte, sous le poids de ce qui la ramène à la fatalité ordinaire, au sort commun. Quand aux moments trop vibrants se substitue la minutie d'une description, la narration rappelle donc au lecteur interdit que « les diptères sont caractérisés par la présence d'une seule paire d'ailes membraneuses implantées sur le deuxième anneau du thorax, d'une paire

⁵⁷ *Ibid.*, p. 39.

⁵⁸ *Id.*

de balanciers (servant à l'équilibrage en vol) implantées sur le deuxième anneau du thorax, et de pièces buccales piqueuses ou suceuses⁵⁹. » Est ainsi décrite une mouche se baladant sur l'œil de Jane, la mère des demi-frères qui vient de rendre l'âme si tant est que ce mot, « âme », ait encore une signification dans ces récits où ce qui en émane semble accessoire, en porte-à-faux, presque de trop.

*

En d'autres termes, foisonnent les scènes qui se lisent comme des vexations, des attaques machinales contre le narcissisme anthropologique de l'individu, « le concept de vexation désign[ant] une agression pathogène contre le bouclier constitué par le sens que l'individu a de sa propre élévation⁶⁰ ». Il y a un malaise qui ne se dément pas d'une œuvre à l'autre, qui au contraire se confirme et qu'on pourrait qualifier de gêne éthologique : les comportements des personnages trouvent leur équivalence dans le monde animal. Les codes culturels ou moraux qui font l'être civilisé ne résistent pas aux parallélismes qui évoquent un représentant exemplaire, mais en aucun cas supérieur, du règne animal. Le narrateur de *Plateforme*, en avouant considérer la société où il vit « à peu près comme un milieu naturel — disons une savane, ou une jungle⁶¹ », assure la filiation avec ses prédécesseurs. Tous, en un point de leur réflexion, intériorisent le constat si bien qu'il dépasse la comparaison usuelle et devient une atteinte à l'intégrité du Moi. De l'horreur qu'inspire l'homme à Djerzinski, nous retraçons la racine dans la fascination juvénile qu'il éprouve en visionnant chaque mercredi soir *La vie des animaux*. Présentant des images réalistes à l'exact opposé de toute *waltdisneyisation* du monde, l'émission lui permet de découvrir « cette saloperie immonde, ce carnage permanent qu'[est] la nature animale⁶². » De façon déterminante, Michel est alors initié au pouvoir négatif de l'analogie, notamment en réalisant que le concept d'amour maternel se manifeste chez des espèces réputées inférieures à la sienne : « La femelle calmar, une petite chose pathétique de vingt centimètres de long, attaquait sans hésiter le plongeur qui s'approchait de ses œufs⁶³ ». On

⁵⁹ *Ibid.*, p. 260.

⁶⁰ Peter Sloterdijk, « La vexation », *loc. cit.*, p. 43.

⁶¹ *Plateforme*, p. 339.

⁶² *Les particules élémentaires*, p. 164.

⁶³ *Id.*

devine quelle corde sensible cette découverte fait vibrer, le biologiste ayant pour sa part été abandonné en bas âge par sa mère.

Il arrive donc que des passages qui comparent les résultantes de situations similaires (le contact tactile précoce avec la mère est aussi fondamental chez l'humain que chez le rhesus macaque ou le cochon d'Inde) outrepassent le cadre de la constatation, son apparente neutralité, pour emprunter une tangente ostensiblement dépréciative. Étudiant au lycée de Meaux, Bruno, dans la salle de bains de son dortoir, n'aspire qu'à faire paisiblement sa toilette du soir, mais est agressé à répétition par une bande de trublions ayant pour chef un certain Brasseur. On le gifle, le force à goûter « le balai des chiottes⁶⁴ » et lui urine au visage ; on rase les poils épars de son sexe, le contraint à des fellations et le couvre d'excréments : l'internat est le lieu d'un combat inique, d'emblée perceptible à l'état naturel, aggravé ici. C'est du moins l'opinion de Jean Cohen, surveillant général de l'établissement qui, dans l'espace entre tortionnaires et victimes, voit mourir les dernières illusions qu'il entretenait à l'égard de ses semblables :

La brutalité et la domination, générales dans les sociétés animales, s'accompagnent déjà chez le chimpanzé (*Pan troglodytes*) d'actes de cruauté gratuite accomplis à l'encontre de l'animal le plus faible. Cette tendance atteint son comble chez les sociétés humaines primitives, et dans les sociétés développées chez l'enfant et l'adolescent jeune. Plus tard apparaît la pitié, ou identification aux souffrances d'autrui ; cette pitié est rapidement systématisée sous forme de *loi morale*⁶⁵.

Or, c'est le propre de l'univers houellebecquien qui, rappelons-le, réduit la motivation humaine à deux attracteurs, le pouvoir économique et le désir sexuel, que de remettre en doute la préséance de cette loi, sa faculté régulatrice réelle. Dessillé, l'œil du personnage entré dans l'âge adulte devine-t-il quelque trace de commisération chez son prochain ? Les signes en sont clairsemés, le recours au zoomorphisme convaincant lorsqu'il s'agit d'éviter la complaisance, de prendre en grippe le fait acquis qui concède à l'Homme des nuances et des complexités, une plus-value qui le ferait bon premier dans la hiérarchie du vivant.

À force d'assimilations peu flatteuses, c'est plutôt l'effet contraire qui se produit, les certitudes du sujet que l'on ébranle. *Plateforme* est éloquent sur ce point, donnant au déroulement d'une existence la forme d'un « processus d'immobilisation » également

⁶⁴ *Ibid.*, p. 43.

⁶⁵ *Ibid.*, p. 46.

visible « chez le bouledogue français⁶⁶ ». Confronté à l'agitation de Bangkok, le narrateur est médusé par la foule, son indifférenciation, et c'est la faune, de nouveau, qui permet de préciser la sensation :

Ces gens avaient sans nul doute une destinée, une vie, dans la mesure permise par leur niveau de revenus ; mais pour ce que j'en savais, ils auraient pu aussi bien être un troupeau de lemmings⁶⁷.

La remarque vient de quelqu'un qui se reconnaît dans un crapaud aperçu au milieu de l'allée menant à son bungalow, dans la précarité du batracien qui à chaque instant est susceptible d'être écrasé par un pied passant. De l'humain, seul le physique est selon Michel porteur d'un avantage, non en raison de quelque capacité particulière, mais du simple fait de ses dimensions ; l'éléphant pourrait être intimidant, dans cette perspective. Quant au reste, le sentimental, l'intellectuel, les qualités de cœur et d'esprit qui singulariseraient l'être, il n'y croit, semble-t-il, qu'avec des réserves.

D'ailleurs, ces correspondances qui attentent à la dignité du sujet ne sont pas réservées à *Plateforme* ; *Extension* en usait sans ménagement. Souvenons-nous de Raphaël Tisserand qui, en plus de supporter sa tête de crapaud-buffle, se sent comme un *poulet sous cellophane*. De Schnäbele, employé ambitieux de la Direction départementale du ministère de l'Agriculture, qui perd son patronyme et devient le Serpent. De la brutalité marquante du procédé : celui qui regarde Brigitte Bardot croit voir une truie. Ces informations rassemblées, le lecteur n'est pas décontenancé de ce que, dans l'anticipation que propose *La possibilité d'une île*, les membres de l'espèce génétiquement modifiée entendent avec une difficulté croissante ce qui distingue l'homme de la bête. Le récit des temps anciens leur inspire tout au plus une pitié mêlée de frayeur et le clone Daniel 27, apercevant les derniers avatars d'une civilisation en voie d'extinction, n'hésite pas à réciter « la prière pour la délivrance des créatures⁶⁸ ». Ses ancêtres sont à ses yeux une manifestation du pire dont est capable le monde organique, tout à l'opposé du chien, tenu en haute estime, dont il fera l'apologie.

⁶⁶ *Plateforme*, p. 123.

⁶⁷ *Ibid.*, p. 356.

⁶⁸ *La possibilité d'une île*, p. 465.

Subtilement, le premier roman livrait en soi une sentence par l'entremise de ses fictions animalières. L'individu, prisonnier de sa propre présence, de son orgueil et de ses déchirements, parvient à détacher ses réflexions d'un trop-plein d'émotivité lorsqu'il s'en remet au bestiaire. Un chimpanzé, une cigogne, un caniche, une vache ou une pouliche deviennent alors les dépositaires d'une sagesse autre, qui se formule péniblement à chaud, lors du surgissement des choses. Dans *La possibilité d'une île*, il est pareillement remarquable de constater, disions-nous, quel crédit est accordé au chien Fox, animal domestique qui, d'incarnation en incarnation, accompagne les répliques de Daniel. Sa mission première dans le récit est de mettre en exergue tout ce qui jadis manquait à l'Homme, tout ce qui fait encore l'imperfection de ses clones. Malgré l'étude et la méditation qui doivent les libérer, ceux-ci portent en eux un héritage, les traces persistantes d'une nature qu'accusait déjà, qu'on se souvienne de son épilogue, *Les particules élémentaires*. D'une espèce torturée, contradictoire, individualiste et querelleuse, d'un égoïsme illimité, parfois capable d'explosions de violence inouïes, Fox, programmé pour le bonheur, est le contre-exemple idéal ; son innocence et sa simple joie d'être, le caractère inconditionnel de ses attachements soulignent à eux seuls les lacunes de ses maîtres, tout ce qui leur est inaccessible. Au terme du panégyrique, la conclusion tombe, avec limpide d'une infériorité en regard du quadrupède : « La bonté, la compassion, la fidélité, l'altruisme demeurent donc près de nous comme des mystères impénétrables, cependant contenus dans l'espace limité de l'enveloppe corporelle d'un chien⁶⁹. »

4.6 Un corps, point

Qu'ajouter à cela, sinon que cette enveloppe corporelle, lorsqu'il est question de l'homme, est le lieu d'une ultime vexation qui parachève la découpe négative du Moi, sa déconstruction concertée. D'une certaine manière, Houellebecq transpose littérairement un scénario qui trouve son origine chez les anatomistes du Moyen Âge, pionniers de la dissection humaine, et qui se poursuit de nos jours à travers les avancées accélérées de la science :

⁶⁹ *Ibid.*, p. 79.

[L]es agresseurs naturalistes forcent les défenseurs des dimensions extra-naturalistes à se réfugier dans des enclaves toujours plus modestes. Le vainqueur rafle toute la mise ; une fois que l'on avait pu poser la question de la localisation de l'âme sous forme de concepts anatomiques et biologiques, la défaite de l'anthropologie religieuse, métaphysique ou même seulement humaniste n'était, quoiqu'il arrive, qu'une question de temps. [...] Comment en effet expliquer à l'homme ce diagnostic anatomique : on l'a découpé en morceaux, mais on n'a pas pu trouver d'organe de l'âme ? [...] comment dire à l'âme qui croit à elle-même et à son salut que, selon les découvertes les plus récentes, il n'y a pas d'âme⁷⁰ ?

De l'analyse de Sloterdijk aux propositions de Houellebecq, nous sommes à même d'identifier un fil d'Ariane : l'explicable prend le pas sur le senti. Probant, *Les particules élémentaires* explore grâce au chercheur Djerzinski cette évolution de la connaissance qui est peut-être une victoire sur l'ignorance, mais laisse à l'ego des blessures inguérissables. Esprits mathématiques, dédiés à la vérité du laboratoire et à l'évidence matérialiste, Djerzinski et son supérieur Desplechin sont pourtant convaincus, leurs entretiens le traduisent, que le grand balayage auquel ils collaborent par le biais de leurs recherches génétiques entraîne des dommages irréparables : « À ce besoin de certitude rationnelle, l'Occident aura finalement tout sacrifié : sa religion, son bonheur, ses espoirs, et en définitive sa vie⁷¹. »

La science supplante le Grand Architecte, et le fait qu'elle le remplace en tant que foyer de croyance est exprimé avec force lors d'une scène relatant le mariage de Bruno. Dans l'assistance, le demi-frère Djerzinski ne s'émeut pas, mais est fasciné par le discours du prêtre qui, Bible en main, ne fait que prononcer les phrases usuelles, *les deux deviendront une seule chair, que Dieu ne sépare pas ce que Dieu a uni* et autres extraits de circonstance. La cérémonie terminée, il s'empresse d'aller trouver le célébrant et tente d'engager une conversation en rapprochant sans vergogne les mots des Évangiles du paradoxe EPR issu des expériences d'Alain Aspect : « lorsque deux particules ont été réunies, elles forment alors un tout inséparable⁷² ». Il se heurte de manière prévisible à une fin de non-recevoir, car comment l'ecclésiastique pourrait-il accepter que l'inscription dans une réalité transcendante soit mise sur le même pied que l'agitation dans un espace de Hilbert, qu'elle ne pèse pas plus qu'un vecteur d'état ? Une fracture se précise qui dépasse la dimension chrétienne, et qui exige que soit posée la question de l'importance du sujet.

⁷⁰ Peter Sloterdijk, « La vexation », *loc. cit.*, p. 59-60.

⁷¹ *Les particules élémentaires*, p. 270.

⁷² *Ibid.*, p. 173.

Quand l'ontologie se joue à un niveau microscopique, autour de mouvements infinitésimaux et de calculs abstraits, quelle place reste-t-il à l'être, quel poids à l'âme ?

Qu'est-ce qu'un homme ? Un réseau complexe mais déchiffrable de connecteurs, une machine dont le fonctionnement pose peu d'énigmes qui ne puissent être résolues à l'aide des outils et connaissances toujours plus raffinées dont il se dote ; plus il se découvre cependant, et plus toute mystique concernant sa provenance perd sa pertinence. Même pour les Élohimites de *La possibilité d'une île*, secte en majeure partie inspirée des Raëliens de Claude Vohrillon, la part transcendante et lyrique du discours, qui accorde une place considérable aux merveilles et aux jouissances à portée de l'homme, implique un prérequis : chaque adhérent, lors des séances de méditation du groupe, est sommé de « prendre conscience de son ADN, de se pénétrer de l'idée qu'il cont[ient][son] schéma, le schéma de la construction de [son] corps⁷³ ». Avant d'être un long chant collectif adressé aux Élohims qui les ont faits et reviendront, leur vœu d'immortalité passe donc par une reconnaissance factuelle, la prise en compte de conclusions scientifiques qui sont l'épine dorsale de leur foi⁷⁴. Au prisme de la génétique, les choses, avant d'être investies affectivement ou spirituellement, ne sont rien d'autre que ce qu'elles sont, d'où une certaine mise entre parenthèses du Moi, de la charge lyrique qu'il pourrait recouvrir. Voudrait-il parfois reprendre ses droits, il se retrouve désarmé quand Djerzinski se convainc que « la constitution d'attracteurs à travers le réseau évolutif des neurones et des synapses [est] la clef de l'explication des actions et des opinions humaines⁷⁵ », ou prend plaisir à concentrer ses besoins d'homme en un nombre précis : « 1750 kilocalories/jour⁷⁶ ». On se souvient aussi de Christiane capable de jouir pour l'instant d'après résumer la problématique du désir à celle des corpuscules de Krause, et on frémit lorsque Daniel 1 réduit une relation sexuelle au fait de « disposer [s]on organe dans un des

⁷³ *La possibilité d'une île*, p. 248.

⁷⁴ Si sur les Élohimites peut planer le soupçon du farfêlu et, surtout, d'un usage purement intéressé des découvertes, ils redisent cependant que même la religion ne peut plus ignorer l'apport de la science, qui lui sert ici de justification grâce à un sens judicieux de l'intégration. Nous découvrons en cours de route que les têtes dirigeantes du mouvement sont en fait des stratèges habiles qui ne croient guère en des êtres venus d'ailleurs, mais savent conjuguer les tendances et angoisses de l'époque et ses ressources technoscientifiques dans l'élaboration de leur « foi ». La croyance, sa négation matérialiste : c'est là une ambiguïté qui rejoue à petite échelle l'une des dualités constitutives de la parole houellebecquienne.

⁷⁵ *Les particules élémentaires*, p. 227.

⁷⁶ *Ibid.*, p. 229.

orifices adéquats⁷⁷ ». Aux abords de l'insupportable, Slotan Miskiewicz, savant à la tête des recherches élohimites de *La possibilité*, atténuera la gravité d'un assassinat en disant de la victime qu'elle n'est après tout qu'« un arrangement temporaire de molécules⁷⁸ » : les choses, vraiment, ne sont rien d'autre que ce qu'elles sont.

*

Sous le feuilleté du Moi, Michel Houellebecq dépiste le contexte socio-historique qui détermine le sujet, questionne l'autonomie de ce dernier. Il n'y voit par moments qu'une variable qui s'observe et s'offre à l'expérimentation, s'applique à remettre en perspective sa place dans le spectre du vivant et porte atteinte à sa primauté, à tout ce sur quoi il assoit sa certitude. Numérisé, paramétré, réifié, banalisé, le sujet houellebecquien ne peut en outre, sous les faisceaux multiples de la narration, que révéler sa vulnérabilité, paraître dérisoire.

Imaginons un lustre à facettes, qui aurait pour mission d'éclairer un centre. Les angles et les intensités fluctuent ; le résultat, lui, varie peu. Du macrocosme au microcosme, de la généralité qui laisse hébété au plan si rapproché qu'il confronte à l'imperceptible, c'est la vanité qui ne s'en remettra plus, le regard qui, quel que soit le point qu'il fixe, ne trouve plus de repos :

Sur une carte au 1/200 000^e, en particulier sur une carte Michelin, tout le monde a l'air heureux ; les choses se gâtent sur une carte à plus grande échelle, comme celle que j'avais de Lanzarote : on commence à distinguer les résidences hôtelières, les infrastructures de loisirs. À l'échelle 1 on se retrouve dans le monde normal, ce qui n'a rien de réjouissant ; mais si l'on agrandit encore on plonge dans le cauchemar : on commence à distinguer les acariens, les mycoses, les parasites qui rongent les chairs⁷⁹.

Quelque part sur cette carte, un individu, même discrédité par tout ce qui théorise sa sujétion (il est, préalablement à toute action, l'homme *du domaine de la lutte*), aussi fragilisé soit-il par les démentis l'entourant (l'acharnement narratif dont procède l'écriture), tente d'imposer sa présence et de trouver, face à soi et au monde, le diapason. C'est cet effort qui nous intéressera maintenant.

⁷⁷ *La possibilité d'une île*, p. 24.

⁷⁸ *Ibid.*, p. 288.

⁷⁹ *Plateforme*, p. 263

CHAPITRE 5

LE MONDE DERRIÈRE UNE GLACE OU LA FUSION IMPOSSIBLE

Il me prit les deux mains, et comme en extase, le regard perdu dans une adoration, répéta plusieurs fois : « Un accord parfait continu ; oui, c'est cela : un accord parfait continu... Mais tout notre univers est en proie à la discordance », a-t-il ajouté tristement. [...] « Ah ! comme il faut attendre pour la résolution de l'accord ! »

- André Gide, *Les faux-monnayeurs*

5.1 L'espérance

« Regarde les petits êtres qui bougent dans le lointain ; regarde. Ce sont des hommes¹ » : ces mots de Daniel 24 disent quelle distance sépare le clone de *La possibilité d'une île* du vieux monde qui s'éloigne, d'une espèce dont ne subsistent plus que quelques vestiges et le témoignage de Daniel 1 : la nôtre, l'espèce humaine. Dans la foulée, ils expriment ce rapetissement de l'être qui traverse, poèmes et romans confondus, le corpus houellebecquien. D'une part, le sujet, nous l'avons vu, est perçu comme quantité négligeable dans la lecture systémique de la société que l'œuvre développe (il s'y retrouve toujours homme du bas de l'échelle, présence dérisoire et contrainte). D'autre part, il est doublement diminué par le travail d'une narration qui ne se lasse pas d'interroger son autonomie (ses pensées et désirs sont historiquement et sociologiquement conditionnés, entraînés par des courants qui le dépassent) et d'ébranler sa suffisance (insectes et animaux lui imposent la modestie, la science lui apprend que son corps n'est qu'une somme d'organes, qu'un jeu de particules). L'idée même du Moi acquiert, dans un tel contexte, un tour presque impertinent.

Or, cette délimitation sévère du sujet, ces trébuchets divers qui de concert soulignent son peu de poids ne changent pourtant rien à l'affaire : il existe. Même humilié, inscrit dans un réseau de dépendances qui le nie, il est ce passant qui, au fil de son

¹ *La possibilité d'une île*, p. 26.

histoire — ou de son absence d'histoire — tente de faire sens parmi ses semblables, d'y trouver une place, une raison d'appartenir.

Ainsi se profile donc la dialectique fascinante d'un domaine de la lutte dont les paramètres compromettent la notion d'individu, et partant la liberté dont celui-ci jouirait supposément en système libéral : les hommes, « petits mécanismes² » bien régulés, pensés selon des critères qui les chosifient, qui les font objets plutôt que sujets, perdent personnalité et éclat, toute aptitude à l'élan lyrique. La narration ne leur accorde guère plus de crédit et d'envergure qu'elle n'en concéderait à un « animalcule³ », orchestrant habilement cette pénurie identitaire d'un personnage que tout conspire à dévaluer. De là, à quel envol s'attendrait-on de celui à qui on ne concède pas de visage propre, dont le sentiment du Moi est entravé par toute une série de chicanes, et pourquoi donc parler d'une *dialectique* ?

Le mot est justifié, car il y a bien une contrepartie à ce refus de l'individualité, une quête de l'autre et de soi dans l'autre qui n'est assurément pas aisée, qui globalement s'achemine vers l'échec, mais n'en demeure pas moins marquée : s'il est empêché et paraît tenir de l'impossible, *le désir d'amour est profond* chez la Brigitte Bardot d'*Extension*, têtue le rêve de communion des protagonistes. Ils aspirent à une parole et à des rapports qui atteindraient densité et harmonie, élèveraient leur être et le feraient accéder, tant physiquement que spirituellement, à un sens et à une concorde, à une présence heureuse. Sans cette aspiration, l'œuvre de Michel Houellebecq ne dirait qu'une dévastation sans appel, alors qu'on notera justement qu'elle se fait dans la déchirure entre ce qu'elle désavoue (la liberté et la royauté du Moi, sa capacité à se fondre) et ce qu'elle ne peut entièrement réprimer (la résilience de ce Moi, son oscillation entre l'esprit critique et le besoin impérieux de connaître cette *stimmung* que tout semble interdire). Au mépris de l'improbable est alors invoqué un état parfois entrevu ou éprouvé, fragile parce que se déroband quand tout ramène le sujet à sa matérialité, à la lourdeur qu'elle recèle :

Le lyrisme et la passion nous les avons connus mieux que personne,
Beaucoup mieux que personne
Car nous avons creusé jusqu'au fond de nos organes

² « Chevauchement mou des collines », *La poursuite du bonheur*, p. 133.

³ « Une vie, petite », *ibid.*, p. 118.

pour essayer de les transformer de l'intérieur
Pour trouver un chemin écarter les poumons pénétrer jusqu'au cœur
Et nous avons perdu,
Nos corps étaient si nus⁴.

*

À cette étape de notre parcours, distinguons ce qui surdétermine ou annule le sujet, le cadre de la lutte et les interventions narratives, de l'action elle-même : celle-ci préserve une part d'incoercible. « Une vipère se serait déjà suicidée, à sa place⁵ », suggère *Extension* à propos de la Bardot dont nous connaissons le calvaire et ses causes, la laideur et la gêne qui la disqualifient d'office dans un système fondé sur le pouvoir de séduction, les canons du désirable. *Une vipère se serait suicidée*, et justement : un homme est plus qu'une vipère, plus qu'une marchandise ou qu'un animalcule ; il en vient toujours à excéder, en quelque point, démonstrations et comparaisons, ce à quoi on voudrait le faire tenir. Contre toute attente, Brigitte ne se tue pas, mais met des rubans dans ses cheveux, s'efforce, dans la mesure du possible, d'être attirante. Elle est sans doute une illustration exemplaire de la paupérisation sexuelle en système libéral, l'image d'une truie suffit semble-t-il à la représenter, et puis non : subsiste en elle un noyau d'humanité inaliénable, un feu qui couve sous son effacement, des désirs qu'elle dévoile du seul fait de varier ses robes, une espérance. Qu'elle soit ignorée ou trahie, cette espérance, cette attente d'un événement rédempteur, d'une rencontre qui l'arracherait à l'étroitesse de son existence et au dessèchement, est ce qui permet au personnage de tenir bon. Pourtant, elle est aussi ce qui le blesse dès lors qu'elle est confinée à l'état de virtualité ou fait figure de mensonge que révèle l'expérience.

Virtualité : parmi ses contemporains, au sein d'une société pourtant promise à tous les échanges, le héros voudrait trouver une raison d'être, une pertinence à ses actes, mais le concept de communauté et, de là, la possibilité de s'y accomplir comme sujet, semble s'être évanouie.

⁴ « Nouvelle donne », *Le sens du combat*, p. 87-88.

⁵ *Extension du domaine de la lutte*, p. 91.

Mensonge que révèle l'expérience : ce héros voudrait-il se réfugier dans un passé idéalisé, l'illusion rétrospective ne tient pas chez Houellebecq, à preuve le regard dur porté sur l'enfance et la famille, espaces d'une néantisation première, sources d'une difficulté chronique à entrer en relation.

Il y a ce vers quoi l'être tend, les embras(s)ements qu'il appelle, et les résultats de la démarche, la confirmation de l'incomplétude, de la disjonction. Le lien, la communion, une parole que raviverait l'altérité sont autant de soifs qu'accueillent des portes closes. Subsiste alors une voix qui tourne à vide et abdiquera de guerre lasse. Un langage sans résonance qui, bien qu'il les sache vaine, s'obstine à jeter des passerelles :

J'ai vraiment l'impression que ces gens se connaissent,
Car des sons modulés s'échappent de leur groupe.
J'aimerais me sentir membre de leur espèce ;
Brouillage accentué, puis le contact se coupe⁶.

5.2 L'inanité du costume

Si, malgré tout ce qu'y adhérer implique, le sujet houellebecquien parvenait à évoluer à l'intérieur du domaine de la lutte ; si, sans forcément figurer dans le camp des vainqueurs, il trouvait matière à être par delà l'indifférence généralisée (j'ai besoin, pour exister, du regard de l'autre) ; il n'en est rien. Il se trouve en société comme devant une énigme qu'il ne peut percer, ou plutôt en face d'un sphinx qui aurait perdu tout intérêt pour ses réponses. Analysant l'incipit d'*Extension*, Lakis Proguidis avance que le tout premier paragraphe de l'œuvre est, en fait, la scène d'une incongruité constitutive, dont tout ce qui vient ensuite conserverait l'empreinte ; dès l'ouverture se mesure le divorce de l'individu et du collectif, s'entend le grésilleme du non-recevoir : un message ne passe pas. Ajoutons à ceci que l'incipit en dit long sur le regard d'un auteur qui, privilégiant la *position d'observateur*, choisit sciemment de reporter son attention sur celui que l'on ne remarque pas, qui paraît inexistant, et dont l'absence d'aura est en soi une énigme posée à l'écriture.

⁶ « La lumière a lui sur les eaux », *La poursuite du bonheur*, p. 131.

Invité à une soirée donnée par un collègue de travail, le narrateur assiste à cette parade pour le moins bouleversante : sans que rien ne l'y invite, une femme entreprend soudain de se déshabiller au milieu des convives avec un cérémonial digne d'une strip-teaseuse. Toutefois, la bizarrerie du geste s'efface devant ce qu'il soulève : une absence totale de réaction. Ce n'est pas l'excentricité de la « connasse⁷ », son comportement déplacé qui finalement pose problème, mais bien l'apathie consternante de l'assemblée en face de la femme nue. Désemparée, celle-ci se rhabille, et il y a, note Proguidis, une symbolique très puissante dans cet acte insolite qui ne débouche sur rien, dans cette tombée à plat d'une tentative pourtant audacieuse de forcer le regard⁸. L'essayiste a beau traiter ici d'*Extension* en particulier, la métaphore saisit de manière remarquable ce qui se joue — ou voudrait se jouer, mais ne le peut pas — dans le texte houellebecquien, cette inaptitude du social à nourrir le sujet et l'appétit désespéré de celui-ci, qui cherche ce qui ne s'offre plus :

On raconte que certains oiseaux migrateurs qui avaient l'habitude, dans les temps immémoriaux, de faire escale en Atlantide pour se reposer, tournent maintenant pendant des heures dans le ciel au-dessus de l'endroit où cette île s'est engloutie. C'est toute la logique du roman de Houellebecq : des mouvements concentriques autour de ce qui n'existe plus. [...] Le roman de Houellebecq est un roman social dans un sens très particulier : il est la quête du social, de cet aspect de l'humain à jamais englouti comme l'Atlantide, et que nous ne pouvons plus repérer que grâce aux cercles que tracent les oiseaux⁹.

Le strip-tease est une image forte en laquelle se concentre ce mal dont romans et poèmes ne démordent pas : la vacuité de la transmission, qui soit achoppe faute de destinataire (le monde est un mur), soit se perd dans un lacs d'inepties (je ne véhicule rien que du convenu, ne tiens que des propos et n'adopte que des attitudes de circonstance). Qui rencontre-t-on quand s'amorce *Extension* ? Des « cadres moyens âgés entre vingt-cinq et quarante ans¹⁰ ». Des *cadres*, mot fade qui englobe beaucoup mais dévoile très peu, terme ennuyant dans l'abstraction de ce qu'il désigne : ceux qui font le soutènement du domaine, son armature discrète, des exécutants dont l'on peut présumer qu'ils remplissent adéquatement les tâches qui leur sont assignées, mais à qui l'écriture ne reconnaît aucun

⁷ *Extension du domaine de la lutte*, p. 5.

⁸ Ce n'est d'ailleurs certes pas un hasard si cet incipit figure en quatrième de couverture du roman. Trivial, le tableau ainsi offert au lecteur capte immédiatement son attention, mais capitalise aussi sur le malaise qui couve sous le cocasse de surface. Dans quel univers nous retrouverons-nous si une fille qui se dénude ne suscite autour d'elle aucune réaction ? Qui sont ces hommes si désintéressés qu'ils n'oseront aucun geste, ne lanceront aucune œillade, ne formuleront aucun commentaire ?

⁹ Lakis Proguidis, « Preuves irréfutables », *loc. cit.*, p. 70-71.

¹⁰ *Extension du domaine de la lutte*, p. 5.

visage propre¹¹. Ils entrent dans le récit par groupe de trente, n'offrant aucune faille à travers laquelle poindrait une individualité. Ils sont des cadres et que l'une des leurs essaie d'émerger du lot, ils lui répondent par un silence magistral. Ce qui du Moi est le plus intime (métaphore parlante : la femme se met à nu) passe inaperçu tant est impersonnel l'esprit d'ensemble. Car le cadre campe un rôle, remplit une fonction, et ce qui en dépasse semble ne plus le concerner, pire encore ne l'intéresse pas, ne serait-ce qu'à titre de distraction.

Quand, chez Kafka, Joseph K. s'empêtre dans les filets de ce *procès* dont la cause se dérobe, il tient mordicus à ne pas entacher son statut de fondé de pouvoir. Pour l'employé d'une grande banque, toute excentricité, tout ce qui est une dérogation, si minime soit-elle, à l'approprié, aux manières propres à sa fonction, menace de le perdre un peu plus. Ainsi, lorsqu'il découvre dans un placard de son institution les deux inspecteurs qui l'ont mis en état d'arrestation en train de ployer sous les coups de fouet d'un de leurs supérieurs, il s'inquiète avant tout d'être associé à la scène, craint pour sa réputation déjà menacée, l'habit étant encore porteur d'une signification : il demeure un repère et un gage de reconnaissance dans l'absurdité venue bouleverser son ordinaire. Inversement, chez Houellebecq, les entorses semblent sans effet, l'excentricité inopérante : Joseph K. tente d'occuper un espace discret et policé, tandis que voici une femme prête à tout pour entraîner une réaction, qui pourtant ne viendra pas. L'acte isolé et la déviation, qui avaient une incidence, qui risquaient d'être irrecevables et inquiétaient pour cette raison même, sont tout bonnement, ici, nuls et non avenue.

*

Enclin au doute, *hors cadre*, en quelque sorte, le héros houellebecquien s'interroge : comment croire en ce rôle, en cette fonction qu'il ne remplit que pour la forme ? Au confort rassurant de qui se définit par le costume se substitue une conscience de l'inadéquation. Quand il faudrait la concordance, il est le mécréant qui tient une distance critique face à la

¹¹ Fait significatif, le terme « cadre » désigne d'abord un objet, ensuite une structure imposée au sujet, des limites morales ou physiques au sein desquelles il doit évoluer. Ce n'est que par dérivation que le vocable en vient à nommer l'individu, son origine marquant déjà la fadeur d'un personnage qui s'inscrit sous une appellation que l'on dirait contrôlée.

place qu'il occupe. Sur le milieu du travail, qui devrait favoriser les échanges et la réalisation de soi, peu d'illusions tiennent. Pour le narrateur de *Plateforme*, la France n'est rien d'autre qu'un pays « sinistre et administratif¹² » qui entretient « les inutiles, les incompetents et les nuisibles¹³ », dont il reconnaît faire partie. Officiellement reconnu en qualité de fonctionnaire culturel, il se perçoit cependant comme un parasite du *tertiaire*, un individu qui, ne faisant que gérer les demandes de subvention d'artistes expérimentaux, n'accomplit pas œuvre utile et valide la mascarade. Se présente alors un problème d'étrangeté à soi et à son environnement, le sujet se posant la question de sa pertinence, ayant grand-peine à adhérer et à percer à jour les motivations de ses collègues, les satisfactions qu'ils retirent dans l'exercice de leur métier. C'est ainsi que, toujours dans *Plateforme*, Michel s'explique mal quel feu anime Jean-Yves Frochot, penseur de l'industrie touristique qui travaille en compagnie de son amoureuse Valérie. Si celle-ci remplit avec compétence les mandats qui lui sont confiés, elle conserve un certain cynisme et trouve dans son emploi une rémunération considérable bien avant un épanouissement intérieur, à l'opposé de son homologue masculin autrement pénétré du sentiment de son accomplissement, porté par l'ivresse pure du projet :

Je n'arrivais toujours pas à comprendre son ambition, l'acharnement qu'il mettait à réussir sa carrière. Ce n'était pas pour l'argent, je ne crois pas : il payait des impôts élevés, et n'avait aucun goût du luxe. Ce n'était pas non plus par dévouement pour l'entreprise, ni plus généralement par altruisme : on pouvait difficilement voir dans le développement du tourisme mondial une cause noble. Son ambition, existant par elle-même, ne pouvait être ramenée à aucune autre cause : elle était sans doute assimilable au désir de construire quelque chose, plutôt qu'à l'appétit de pouvoir ou à l'esprit de compétition — je ne l'avais jamais entendu parler de ses anciens camarades d'HEC, et je ne crois pas qu'il s'en préoccupait le moins du monde. Il s'agissait en somme d'une motivation respectable, la même qui expliquait l'ensemble du développement de la civilisation humaine. La gratification sociale qui lui était accordée consistait en un haut salaire ; sous d'autres régimes elle aurait pu se matérialiser par un titre de noblesse, ou par des privilèges comme ceux qui étaient accordés aux membres de la *nomenklatura* ; je n'avais pas l'impression que cela aurait changé grand-chose. En réalité, Jean-Yves travaillait parce qu'il avait le goût du travail : c'était à la fois mystérieux et limpide¹⁴.

Cet enthousiasme désintéressé, le bonheur d'une tâche par laquelle l'individu raffermirait son Moi dans la sensation de *construire quelque chose*, échappe la plupart du temps au sujet qui regarde ses semblables s'activer autour de lui avec l'impression d'être le chien dans un jeu de quilles.

¹² *Plateforme*, p. 72.

¹³ *Ibid.*, p. 172.

¹⁴ *Ibid.*, p. 316-317.

Il y a l'énigme entourant le Jean-Yves Frochot de *Plateforme*, et celle de son homonyme d'*Extension*, dont l'entrain est tout aussi hors d'atteinte pour le narrateur¹⁵. Dans l'esprit de Jean-Yves Fréhaut, informaticien d'expérience, le fait de collaborer au développement exponentiel de l'industrie est une joie vive. Chaque avancée de l'autoroute virtuelle, chaque branche qui s'ajoute à l'arborescence correspond à la conquête d'un degré de liberté supplémentaire pour l'homme, qui voit s'accroître sa mobilité psychologique et sociale. Plus il est en mesure de multiplier les liens, plus il participe au tissu interhumain, s'ouvre à un champ quasi illimité de possibles : le Moi fleurit en prenant part à un déploiement continu de messages et d'appels. Encore une fois, cependant, ce qui de l'un fait l'exhaussement laisse l'autre accablé, nauséux aux portes du sens. Se qualifiant d'« homme-système¹⁶ », le narrateur d'*Extension*, chargé d'expliquer aux futurs utilisateurs le fonctionnement de logiciels à la fine pointe, ne se reconnaît quant à lui qu'une compétence strictement technique ; il s'avoue impropre au dialogue avec le client et en porte-à-faux par rapport à ce qu'il accomplit. Il est l'homme qui favorise le développement de la communication sans en reconnaître les vertus, méprisant même les résultats immédiats, redoutant les retombées à long terme :

Je n'aime pas ce monde. Décidément, je ne l'aime pas. La société dans laquelle je vis me dégoûte ; la publicité m'écœure ; l'informatique me fait vomir. Tout mon travail d'informaticien consiste à multiplier les références, les recoupements, les critères de décision rationnelle. Ça n'a aucun sens. Pour parler franchement, c'est même plutôt négatif ; un encombrement inutile pour les neurones. Ce monde a besoin de tout, sauf d'informations supplémentaires¹⁷.

Se mesure là l'irréconciliable des visions, qui oppose l'investissement de Frochot au détachement de Michel, la participation dynamique de Fréhaut aux réserves insurmontables de l'homme-système. Pour Fréhaut, une comparaison explique tout : la société est un cerveau, les individus les cellules qui le composent. Pour assurer le rendement optimal de ce cerveau, il est capital d'accroître libéralement les interconnexions, de générer un maximum de rapports. Pour l'homme-système, toutefois, cette analogie est minée : elle

¹⁵ Remarquons que plusieurs personnages, ces deux Jean-Yves, les Michel des *Particules* et de *Plateforme*, les Daniel de *La possibilité*, portent le même prénom, perdant d'emblée de leur singularité dans la famille houellebecquienne et contribuant par ce retour du même au bourdonnement faible de l'individualité, à sa neutralisation. La démarcation n'est décidément pas le lot de cet univers.

¹⁶ *Extension du domaine de la lutte*, p. 53.

¹⁷ *Ibid.*, p. 82-83.

n'est pas orientée autour d'un « projet d'unification¹⁸ » qui imprimerait au foisonnement une visée, fédérerait le disparate autour d'un vœu d'unité.

L'œil du désinvesti est donc un œil suspicieux. Il devrait se réjouir d'être un acteur du développement des virtualités humaines (du perfectionnement des voies de communication qui promet à chacun un élargissement non-stop de l'horizon), mais se perçoit plutôt comme relayeur de vide, d'une matière sens dessus dessous tournant le dos à toute cohésion individuelle ou collective. En cela, *Extension* exprime sous forme romanesque ce que Houellebecq essayiste observait dans « Approches du désarroi » :

Produit résiduel de l'impermanence, l'information s'oppose à la signification comme le plasma au cristal ; une société ayant atteint un palier de surchauffe n'implose pas nécessairement, mais elle s'avère incapable de produire une signification, toute son énergie étant monopolisée par la description informative de ses variations aléatoires¹⁹.

Y a-t-il alors quelque note positive à retenir pour l'informaticien ? Si ce qu'il réalise lui paraît creux, voire pire, support d'un effritement du sens, son psychiatre lui rappelle, lors d'une consultation, qu'un milieu de travail offre au moins l'avantage de favoriser les échanges sociaux ; l'idée n'arrache au héros qu'un éclat de rire, et on comprend qu'il n'y a pas d'échappatoire au sentiment d'inanité qui d'une œuvre à l'autre circule en variant son visage. Michel Djerzinski, biologiste moléculaire des *Particules*, s'avère peut-être une exception dans la mesure où il est consumé par ses recherches et conscient qu'elles pourraient avoir un impact réel sur le futur de l'homme : nous reviendrons sur ce cas particulier, qui soulève la question du but visé et de l'impact des dites recherches sur Djerzinski lui-même. Beaucoup plus clair est le négativisme de son demi-frère Bruno Clément, professeur de littérature qui mesure son ineptie à l'aune de son parent. Ayant créé des vaches génétiquement modifiées produisant un lait de qualité supérieure, Michel a le mérite d'avoir à sa façon, aux dires de Bruno, « changé le monde²⁰ », alors qu'il n'est pour

¹⁸ *Ibid.*, p. 40.

¹⁹ « Approches », *loc. cit.*, p. 80.

²⁰ *Les particules élémentaires*, p. 202.

sa part digne d'aucune admiration, lui dont la vie consiste à « produire des commentaires douteux sur des objets culturels désuets²¹ ». Intransigente, l'autocritique nous ramène au point de départ : relayer du vide.

*

Du sujet à la société, l'échange rime donc avec insignifiance, si bien que le personnage se retrouve devant ses semblables non en situation de vases communicants, mais gagné par une sensation de vacuité, par la conviction qu'il ne servira à rien d'en rajouter, actes et paroles conduisant au même cul-de-sac²². Au dégoût de Bruno répond d'ailleurs celui du fonctionnaire de *Plateforme* évoqué plus haut, qui s'acquitte de ses dossiers au ministère de la Culture sans se bercer d'illusions quant à son utilité ou à son importance. Il se borne à exécuter, certain de n'apporter rien de significatif :

[C]e n'est pas à moi qu'il revient d'inventer ni d'adopter de nouvelles attitudes, de nouveaux rapports au monde. J'y ai renoncé en même temps que mes épaules se voûtaient, que mon visage évoluait vers la tristesse²³.

Acquiescerait pour sûr l'humoriste de *La possibilité d'une île* qui, en désertant les feux de la rampe, constate qu'il n'a jamais cherché à transcender quoi que ce soit ; il s'est contenté de « rentabiliser son abjection²⁴ » sa carrière durant en capitalisant sur les tabous et les bas instincts des foules, en exploitant la veine *trash*, la sexualité, le cynisme ambiant. Quand cet « observateur acéré de la réalité contemporaine²⁵ » réalise la petitesse et les clichés sur

²¹ *Id.*

²² Il y a, chez Houellebecq, quelque chose de la mélancolie qui s'installe en filigrane chez Kafka : celle d'un univers ordonné, mais encore attentif à l'être, d'un monde où les gestes, les discours et les événements n'auraient pas oublié sa présence. Angoissantes avancées de Joseph K. dans les coulisses de la justice qui se révèlent dédales d'abord parce que n'y évoluent que des tâcherons que l'on dirait dépourvus de sensibilité, strictement menés par des hiérarchies et des procédures aussi inflexibles qu'abstraites. Partout, des fonctionnaires dont il est dit qu'« à passer jour et nuit dans leurs codes, ils finissaient par perdre le sens exact des relations humaines » (voir Franz Kafka, *Le procès*, 1996 [1933], p. 155). Ainsi, Joseph K. titubant dans les couloirs de la Loi est un précurseur de l'homme-système en proie au vertige dans ces réunions d'équipe où les recommandations d'un chef de bureau, les opinions de tel concepteur ou idéologue informatique et où les schémas, graphiques et plans de rationalisation ne forment qu'un même charabia. D'un labyrinthe de conseillers et d'avocailles aux cadres des tours à bureaux, c'est encore l'homme qui a perdu sa pulpe, le monde qui s'est désincarné.

²³ *Plateforme*, p. 23-24.

²⁴ *La possibilité d'une île*, p. 23.

²⁵ *Ibid.*, p. 21. L'auteur souligne, comme s'il voulait mettre en évidence par l'emploi de l'italique le pompeux du titre, les fragilités qu'il recouvre sous l'esbroufe. Il y aurait d'ailleurs une réflexion à faire sur le jeu de miroirs entre Daniel I et Michel Houellebecq lui-même, plusieurs commentaires du premier semblant renvoyer d'assez près au statut public de l'auteur.

lesquels s'est érigée sa carrière, quand il ne parvient plus à monter sur scène sans Xanax et souffre de haut-le-cœur devant les rires haineux d'un public qui en redemande, il ne trouve plus d'épithète assez forte pour stigmatiser le grotesque de son personnage ; que lui importe alors d'avoir joui, contrairement à ses prédécesseurs, d'un statut public, d'avoir été une figure médiatique. « Zarathoustra des classes moyennes²⁶ », « balzacien *medium light*²⁷ », « pute²⁸ » ayant su tirer les bonnes ficelles, il bat en retraite et commente longuement la médiocrité de son être lui aussi relayeur de vide, de vide et de mort.

Il bat en retraite, et c'est bien ce à quoi mène dans cette œuvre, paradoxalement, la maîtrise d'une tâche :

Tous les héros des romans de Houellebecq sont des individus détenteurs d'une expertise technique ou scientifique²⁹ sur le monde [...]. Mais chez chacun, ce privilège ne fait qu'accentuer leur inadéquation au monde, comme si leur formation n'avait fait qu'exacerber leur conscience douloureuse d'eux-mêmes, sans donner un quelconque sens à l'enseignement qu'ils ont reçu. [...] Ils effectuent un « glissement », malgré eux, dans la dépression, et c'est ce geste qui les met en position d'observateurs, d'ethnologues, face à un monde au sein duquel les relations humaines semblent frappées d'un surcroît d'étrangeté³⁰.

Quand le personnage ne perçoit que le faux ou le futile de son rôle, sa compétence ne suffit bientôt plus à faire écran. Il retire alors son costume, ce qui socialement le définit ; c'est une autre version du strip-tease qui ouvre *Extension*. Annonçant à son patron qu'il souffre véritablement, après consultation, de cette dépression tout juste évoquée, l'informaticien devine que le sort en est jeté : « je sais que dorénavant s'est élevé entre nous comme un mur invisible³¹ ». Il ne correspond plus au profil du cadre qui colle à sa fonction, qui se fond en elle, tout comme Bruno Clément, d'un congé de maladie à l'autre, sa médication augmentant, ne peut plus endosser sa position d'enseignant. C'est encore ce qui guette le fonctionnaire Michel dont les vacances prolongées ne cachent rien d'autre qu'une démission, ce qu'accuse l'isolement de Daniel I loin des projecteurs : un retrait du costume qui laisse l'être nu, rendu à la vérité de son état une fois refusés les automatismes et convenances de l'emploi. Que se passe-t-il quand le *cadre* ne peut plus tenir ? Il devient une menace pour l'édifice qui risque de s'écrouler, un grain de sable dans l'engrenage, d'où

²⁶ *Ibid.*, p. 412.

²⁷ *Ibid.*, p. 151. L'auteur souligne.

²⁸ *Ibid.*, p. 211.

²⁹ Voir rhétorique, si l'on considère le métier de Daniel I qui maîtrise tous les ressorts du rire.

³⁰ Martin Robitaille, « Houellebecq », *loc. cit.*, p. 100-101.

³¹ *Extension du domaine de la lutte*, p. 135.

le silence magistral qui l'entoure, la sortie qu'on lui montre en ignorant son malaise. Du reste, accumuler des connaissances, les mettre à profit dans un contexte bien défini, certes, mais à quoi servent-elles si le sujet les éprouve comme un trop-plein ou un mensonge ?

En 1967, Georges Perec, si près de Houellebecq à bien des égards, raconte avec *Un homme qui dort* l'histoire d'une telle abdication. Un matin d'examen, le personnage, un étudiant en sociologie, choisit de rester au lit quand il aurait fallu reprendre le jeu du savoir, se présenter et livrer ce que l'on attendait de lui ; se joue le prélude à une désaffectation qui sera tout le propos du roman :

Tu te lèves trop tard. Là-bas, des têtes studieuses ou ennuyées se penchent pensivement sur les pupitres. Les regards peut-être inquiets de tes amis convergent vers ta place restée libre. Tu ne diras pas sur quatre, huit ou douze feuillets ce que tu sais, ce que tu penses, ce que tu sais qu'il faut penser sur l'aliénation, sur les ouvriers, sur la modernité et sur les loisirs, sur les cols blancs ou sur l'automation, sur la connaissance d'autrui, sur Marx rival de Tocqueville, sur Weber ennemi de Lukacs. De toute façon, tu n'aurais rien dit car tu ne sais pas grand-chose et tu ne penses rien. Ta place reste vide. Tu ne finiras pas ta licence, tu ne commenceras jamais de diplôme. Tu ne feras plus d'études³².

Il ne fera plus, ne participera plus, ne simulera plus un intérêt qui lui fait défaut ; le héros d'*Un homme qui dort* contient ceux de Houellebecq, qui atteignent aussi ce point de non-retour passé lequel l'être ne vit plus que dans la distance. Hors circuit, l'étudiant demeure de glace lorsque l'on cogne à la porte de sa chambre, se moquant des téléphones, voix, sollicitations. Chez Perec comme chez Houellebecq disparaît cette nécessité intérieure qui, poussant l'individu à accomplir les gestes qu'il faut afin d'être reconnu socialement, l'intime à *prendre part*.

5.3 La comédie de la parole

Brouillage accentué, puis le contact se coupe : posture malaisée que celle du sujet qui, même s'il voudrait en être, ne cesse pourtant de se faire cinglant face à ce qui lui échappe. À la croisée de la mélancolie et de l'esprit critique, il est celui qui brûle de communiquer, mais en qui résonne, comme une basse continue, le *peine perdue* des mots. Car s'il délaisse

³² Georges Perec, *Un homme qui dort*, 1967, p. 20.

le costume, rien n'indique que soit éteinte sur tous les fronts cette espérance dont nous faisons mention, ce souhait auquel la poésie, explicitement, fait la part belle :

J'aimerais bien avoir quelques contemporains
Quand l'insomnie creuse mes nuits, parfois, très tard ;
J'aimerais tellement rencontrer des regards,
Parler avec des gens comme on parle aux humains³³.

Comment cependant ignorer le difficile de ce désir de relation, quand le langage en parallèle est le lieu d'une déplétion émotive ? Du futile et du convenu, des phrases balisées : la sentence d'*Extension* l'emporte, voulant qu'une communication se réduise communément à un échange d'informations. L'affectif peut y prendre place, mais l'interaction s'aventure rarement sur ce terrain, s'en tenant plutôt à la neutralité, au non compromettant ; c'est avec insistance que l'écriture houellebecquienne souligne son ronron fade, son tour distancié. Exception faite des rapports avec le sexe opposé, qui impliquent une autre dimension dont nous traiterons dans le chapitre suivant, Daniel 1, dans *La possibilité d'une île*, se demande incidemment comment il pourrait en être autrement :

De quoi en effet deux hommes auraient-ils bien pu *discuter*, à partir d'un certain âge ? Quelle raison deux hommes auraient-ils pu découvrir d'être ensemble, hormis bien sûr le cas d'un conflit d'intérêts, hormis aussi le cas où un projet quelconque (renverser un gouvernement, construire une autoroute, écrire un scénario de bande dessinée, exterminer les Juifs) les réunissait ? À partir d'un certain âge [...], il est bien évident que *tout est dit*. Comment un projet intrinsèquement aussi vide que celui de *passer un moment ensemble* aurait-il pu, entre deux hommes, déboucher sur autre chose que sur l'ennui, la gêne, et au bout du compte l'hostilité franche³⁴.

En l'absence d'un axe fédérateur, le dialogue atteint rarement une telle *hostilité* et s'étiole en banalités, privé de chaleur, dépassionné. Ce sont, dans *Extension*, des discussions entre collègues à propos de la qualité des divers modèles d'autoradios, les commentaires prononcés à la suite du décès de Raphaël Tisserand. On s'attriste comme il se doit, on évoque brièvement les conditions météorologiques entourant l'accident de voiture et le boulot reprend : même la mort d'un être fréquenté quotidiennement n'est plus en mesure d'infuser aux cadres une quelconque sensibilité, de piquer en eux la part capable d'effusion. Domine partout ce zéro du don de soi, de l'attention à l'autre, et avec lui la désagréable assurance du prévisible : des choses seront dites de manière appropriée, les livres refermés, les êtres inchangés après coup. Dans cette optique, le narrateur de

³³ « J'aimerais bien avoir quelques contemporains », *La poursuite du bonheur*, p. 146.

³⁴ *La possibilité d'une île*, p. 89-90.

Plateforme aborde son prochain selon des idées préconçues, devine à quoi ressemblera l'échange. Devant rencontrer un gendarme enquêtant sur la mort de son père, il met à profit sa connaissance des « téléfilms de société³⁵ » dont les schèmes lui dictent l'attitude à adopter. S'attendant plus tard à recevoir une lettre de la banque qui désirera le conseiller quant à la bonne gestion de son héritage, il s'estime capable d'anticiper comment se déroulera dans le détail la rencontre avec son « partenaire placements³⁶ », de prévoir les réactions de celui-ci aussi bien que les siennes. Tel est l'un des coûts de *l'effacement progressif des relations humaines* qu'annonce *Extension*, l'une de ses répercussions les plus perceptibles : l'évacuation du lyrisme au bénéfice du calcul, de l'utilitaire, du strict nécessaire, un reflux de tout élan subjectif quand des rapports humains ne compte plus que la nature informative. C'est dire que la parole, qui devrait lier le sujet à ses semblables et ouvrir sur l'imprévisible, a perdu ses facultés. En elle, répète Houellebecq, loge la division, par elle s'érigent des bornes qui éclairent la méfiance des protagonistes au moment d'en user, d'où cette entrée dans un quant-à-soi tragique, une réserve qui renvoie le sujet à une posture intenable :

[C]hacun continue, mû par une nostalgie douloureuse, à demander à l'autre ce qu'il ne peut plus être ; à chercher, comme un fantôme aveuglé, ce poids d'être qu'il ne trouve plus en lui-même. Cette résistance, cette permanence ; cette profondeur. Bien entendu chacun échoue, et la solitude est atroce³⁷.

En contrepoint, un personnage comme Bruno Clément, s'emportant aisément, se livrant sans retenue, haranguant, pleurant, extériorise constamment son agitation intérieure, mais sans produire d'effet signifiant sur son prochain, sinon une certaine répulsion. « Non perçus, comme bêtement suspendus dans l'atmosphère, ses mots se mett[ent] à pourrir et à puer³⁸ » puisque il ne peut marcher dans les brisées d'un Djerzinski, calquer son détachement. Devant les moments pénibles que lui promet chaque interlocuteur, celui-ci conçoit bien que « la perspective indéfiniment repoussée d'un mode de relation plus humain et plus complet ne s'efface jamais tout à fait », que le rêve d'un rapport à l'autre

³⁵ *Plateforme*, p. 21.

³⁶ *Ibid.*, p. 32. Houellebecq lui-même souligne, comme s'il voulait accentuer l'ironie de l'appellation : un *partenaire placements*, terme désincarné qui réduit l'individu à sa fonction tout en laissant croire à sa fraternité, à un possible lien par-delà la relation d'affaires.

³⁷ « *Approches* », *loc. cit.*, p. 75.

³⁸ *Les particules élémentaires*, p. 113.

« “authentique et profond”³⁹ » continue de tourmenter l’homme. Il sait aussi, et c’est là la différence fondamentale entre Bruno et lui, que ce rêve résiste mal à l’épreuve des faits ; il en a fait son deuil. Entre espérance et clairvoyance, des monades parlent donc en vain, ou de façon si formatée qu’elles en ressentent la comédie. Tout est dit / rien n’est dit, si bien que plusieurs scènes, qu’elles soient poétiques ou romanesques, ne condensent que dialogues de sourds, confessions avortées, tentatives d’ouverture qui, bêtement, tombent à plat. Rencontrant son vieil ami Jean-Pierre Buvet, curé qui de plus en plus interroge sa foi et sa capacité à servir Dieu, le narrateur d’*Extension* vit ce qu’est l’intensité qui achoppe, l’interaction incapable de franchir le seuil qui mènerait à une intimité véritable :

« - Demain, il va falloir que je dise la messe. Je ne vais pas y arriver. Je ne pense pas pouvoir y arriver. Je ne sens plus la présence.

- Quelle présence ? »

Ensuite, nous n’avons pas dit grand-chose. De temps en temps je prononçais des phrases du genre : « Allons, allons... » ; il continuait, assez régulièrement, à descendre des bières. À l’évidence, je ne pouvais rien pour lui. Finalement, j’ai appelé un taxi⁴⁰.

En un point des *Particules*, Michel Djerzinski se prend à souhaiter que la société dispense des cours de conversation, mais tel n’est pas le cas ; parler, dans l’œuvre de Houellebecq, s’avère dans la majorité des cas un gage de défervescence. Les conversations s’y caractérisent en définitive par leur platitude notable : quel tremplin y trouverait le sujet exposé à un « discours creux et laminé / [aux] opinions de la voisine⁴¹ », à des entretiens sans lustre dont du reste il est exclu, plaisanteries de famille autour d’un barbecue ou échanges d’un groupe d’hommes qui causent sciences humaines ?

*

Submergé de signes qui l’indiffèrent, qu’il ne comprend pas ou auxquels il n’a pas accès, soumis à des rencontres qui sont autant de problèmes à surmonter (comment parler, et même : pourquoi ?), l’être houellebecquien, s’il rappelle par son éloignement l’*homme qui dort* de Perec, se rapproche aussi du *Solitaire* d’Ionesco, ce curieux personnage qui quitte son emploi — de fonctionnaire également — et se claquemure dans sa chambre

³⁹ *Ibid.*, p. 268. Notons l’usage des guillemets qui encadrent *authentique et profond*, comme si par les signes typographiques Houellebecq voulait souligner l’hésitation de Djerzinski, son doute, le caractère purement virtuel d’un tel type de relation.

⁴⁰ *Extension du domaine de la lutte*, p. 140.

⁴¹ « Chevauchement mou des collines », *La poursuite du bonheur*, p. 133.

modeste, n'en ressortant que pour ressentir l'accroissement de sa sidération. Les sons qui l'environnent ne forment plus qu'une masse indistincte, qu'une pâte abstraite et sans qualité particulière : « Du bruit. Ils ouvraient la bouche, ils fermaient la bouche, ils se versaient les contenus des verres dans la bouche, ce trou où l'on met des choses qui s'en iront par d'autres trous⁴². » Entre les chemins de la parole et ceux de l'excrétion, le parallèle est brutal : les mots n'entrent que pour ressortir aussitôt, évacués sans plus de considération que des déchets organiques, vraisemblablement inassimilables. D'une démission à la Péric (le personnage, socialement, tire sa révérence) à l'écho du *Solitaire*, la situation s'aggrave. Le défaut d'adéquation, d'adhésion (il refuse de reconnaître comme siens les habits qu'on lui assigne et s'en départit) se transforme en défaut de sens : le monde n'est plus qu'un charabia. Derrière le dégoût qui fait la hargne de l'informaticien d'*Extension* est ainsi perceptible une autre dimension qui des messages reçus relève non pas le caractère antagoniste ou inintéressant, mais la nature invraisemblable, et avec elle l'être dépassé.

Reportons-nous un moment à l'univers des *cadres*⁴³ : ses ramifications se font sentir bien au-delà du milieu de travail. Ici encore doit être soulignée l'acuité de Lakis Progudis, pour qui le déficit social des personnages est partiellement attribuable à « la chute de la langue dans la communication⁴⁴ », à la montée en puissance d'une parole qu'il nomme *contactique* : une simplification si éhontée du verbe qu'il en ressort lavé de toute poésie, expurgé de ses scories, des éléments parasites qui contreviendraient à l'atteinte de ses objectifs, à ses impératifs de rendement. Nulle phrase qui ne soit réglée au quart de tour, que pourrait infléchir une subjectivité : c'est bientôt l'absurdité qui montre son visage dans ces plans et ces protocoles qui définissent l'activité de l'*homme-système*, les devis touristiques de *Plateforme*, voire les *punchs* savamment étudiés de l'humoriste de *La possibilité d'une île*. Penser l'être désemparé en situation de communication, c'est ainsi revenir à ce dont il est ou fut, professionnellement, le relais, et qui lui laissera une impression déterminante. À la consternation d'un individu sommé de lire un rapport intitulé

⁴² Eugène Ionesco, *Le solitaire*, op. cit., p. 92.

⁴³ Univers représentatif du milieu social du personnage houellebecquien. Même si tous n'en sont pas à proprement parler — et encore : qu'est-ce vraiment qu'un cadre ? —, le nom en soi soutient l'idée de convention, d'une présence très régulée, délimitée, d'où sa force opératoire.

⁴⁴ Lakis Progudis, « Preuves irréfutables », loc. cit., p. 71.

Schéma directeur du plan informatique du ministère de l'Agriculture, et qui, n'y entendant que du chinois, en relève les passages loufoques :

Je feuilletai rapidement l'ouvrage, soulignant au crayon les phrases amusantes. Par exemple : « *Le niveau stratégique consiste en la réalisation d'un système d'informations global construit par l'intégration de sous-systèmes hétérogènes distribués.* » Ou bien : « *Il apparaît urgent de valider un modèle relationnel canonique dans une dynamique organisationnelle débouchant à moyen terme sur une database orientée objet*⁴⁵. »

Voilà le mandat, et sa formulation renversante ; voici surtout un point de rupture dans l'esprit de celui qui doit le remplir : « Ce document ne me concernait en rien⁴⁶. » S'il faut le dire simplement, sonne l'heure où le fait de parler « *scenarii archétypaux*⁴⁷ » n'attise plus la flamme d'une compétence ou d'un devoir, mais méduse plutôt le sujet. Se succèdent des énoncés dont le cause à effet est fallacieux, les mécaniques bien apprises dévoilant ce qu'elles charrient d'insipide. Lorsque est évoqué le progiciel Sycomore, qui sert à calculer les subventions gouvernementales qui seront accordées aux agriculteurs, on se croirait dans un *Ferdydurke* de l'ère informatique, chez un Gombrowicz des tours à bureaux :

Le progiciel, lui, s'appelait « Sycomore ». Le véritable sycomore est un arbre apprécié en ébénisterie, fournissant en outre une sève sucrée, qui pousse dans certaines régions de la zone tempérée froide ; il est particulièrement répandu au Canada. Le progiciel Sycomore est écrit en Pascal, avec certaines routines en C++. Pascal est un écrivain français du XVII^e siècle, auteur des célèbres « Pensées ». C'est également un langage de programmation puissamment structuré, particulièrement adapté aux traitements statistiques, dont j'avais su acquérir la maîtrise par le passé⁴⁸.

Une anecdote raconte l'imperfection de certains moteurs de traduction, qui convertissent littéralement les termes pour en arriver à des résultats bouffons. C'est ainsi que le proverbe anglais *Time flies like an arrow* (le temps file comme une flèche) se métamorphose en cette assertion désopilante : *Les mouches du temps aiment une flèche*.

⁴⁵ *Extension du domaine de la lutte*, p. 29-30.

⁴⁶ *Ibid.*, p. 29.

⁴⁷ *Id.* Encore une fois, l'usage de l'italique n'est pas innocent : il vient mettre l'accent, comme en ironisant, sur ce qu'a de déroutante une terminologie pourtant censée favoriser la transparence et la communication.

⁴⁸ *Ibid.*, p. 20. On notera que tout ce passage se construit autour d'un processus d'aggravation, la distance se creusant sans cesse entre l'origine des termes, leur portée sous-jacente et l'utilisation qui en est faite chez Houellebecq. Le sycomore, ou érable, parce que fort prisé dans la fabrication de meubles et offrant une sève sucrée, implique une idée de vie et de réconfort, contrepoids au climat froid où il pousse. Vient ensuite Blaise Pascal, moraliste, homme de réflexion ayant exploré les mouvements de l'âme humaine, ses élans sensibles et ses angoisses. Or, « Sycomore » ne désigne plus ici qu'un progiciel dont les routines en C++, le fonctionnement crypté sont incompréhensibles au commun des mortels. Quant à Pascal, le penseur s'évanouit au profit d'un langage de la structure et de la mesure statistique, d'un système où l'incertitude, assurément, ne peut être qu'une tare. Dans l'indéchiffrable des codes et la mécanisation de la pensée, que reste-t-il du réconfort, de la vie ? Dans la marche implacable du calcul, quelle place pour l'angoisse, les turbulences intérieures ? Fabriqué pour servir l'homme, le progiciel n'en vient-il pas à le nier ?

Nous savons qu'une machine est dépourvue de sensibilité, mais qu'arrive-t-il quand le personnage a intégré le mode de réflexion, ou de non-réflexion, de la machine ? Une cascade verbale qui réseaute les phrases sans que globalement il soit possible d'en dégager une unité. Apprenant que *les mouches du temps aiment une flèche*, nous sourions entre autres choses de ce que l'ordinateur se montre faillible ; nous avons encore le privilège du sens. Cette belle assurance, cependant, est mise à l'épreuve quand c'est d'un homme qu'émane l'abracadabrant. Intraduisible hors d'une sphère d'expertise bien précise, cette *maîtrise* qu'a acquise l'individu en est-elle vraiment une, ou ne s'avère-t-elle pas au contraire un handicap quand il s'agit de n'être que ceci : un sujet, dans sa relation à d'autres sujets ? Que vaut, pour ainsi dire, la connaissance si elle ne lui permet pas de retrouver la route de son prochain ?

5.4 Intellection, transformation : à quoi bon ?

Similitude intéressante entre le *Solitaire* d'Ionesco et l'*Homme qui dort* de Perec : tous deux, de leur ermitage, parcourent le journal et n'y voient qu'un défilé d'informations saugrenues, lointaines quoique les concernant, de la coupe desquelles ils veulent se dégager. En atteste l'étudiant de Perec qui lit *Le Monde* d'une couverture à l'autre, en absorbe chaque détail sans toutefois en digérer le contenu, auquel il ne parvient plus à accorder de valeur particulière :

Tu peux encore t'étonner que la combinaison, selon des règles finalement très simples, d'une trentaine de signes typographiques soit capable de créer, chaque jour, des milliers de messages. Mais pourquoi en ferais-tu ta pâture, pourquoi les déchiffreras-tu⁴⁹ ?

De ce collage hétéroclites de nouvelles et de sollicitations, le personnage ne trouve plus rien à tirer ; qu'y a-t-il là qui pourrait le transformer ou modifier son rapport aux hommes et au monde ? Dans *La nausée* de Sartre, l'Autodidacte, cet humaniste aux discours vagues, est aussi le point de mire d'une interrogation quant à la validité de la connaissance : quel en est l'usage lorsqu'il s'agit de vivre ? Discipliné, l'Autodidacte, depuis des années, se rend tous les jours à la bibliothèque pour y dévorer chaque volume en respectant scrupuleusement l'ordre alphabétique. Cette entreprise de longue haleine est aussi cocasse

⁴⁹ Georges Perec, *Un homme*, op. cit., p. 64-65.

qu'ambitieuse, mais Antoine Roquentin, le personnage principal, doute fort qu'elle soit d'un grand secours :

Il a tout lu ; il a emmagasiné dans sa tête la moitié de ce qu'on sait sur la parthénogenèse, la moitié des arguments contre la vivisection. Derrière lui, devant lui, il y a un univers. Et le jour approche où il dira, fermant le dernier volume du dernier rayon d'extrême gauche : « Et maintenant ?⁵⁰ »

Et maintenant ? Cette incertitude, l'être houellebecquien y est confronté du moment où son savoir s'avère inopérant à racheter la faillite individuelle. La volonté d'intellection demeure, très vive (tous les personnages commentent abondamment le monde, en démontent les arcanes), mais à quoi bon élucider les phénomènes et s'en remettre aux lumières de la raison si le sujet n'en retire jamais qu'une inaptitude accrue à atteindre ses semblables, à s'en laisser toucher ? Bruno Clément peut estimer que son demi-frère Djerzinski mérite le respect dû à ceux qui, faisant plus que poser un regard lucide sur l'existence, parviennent à la transformer. Or, le biologiste moléculaire ne place assurément pas son destin sous le signe de l'exceptionnel malgré l'importance que prendront, de façon posthume, ses recherches. Son intuition sera le catalyseur de l'utopie des *Particules élémentaires*, et pourtant, il n'est guère convaincu qu'il faille voir en lui un visionnaire de l'A.D.N., un poète de l'infiniment petit :

Loin d'être les Rimbaud du microscope qu'un public sentimental aime à se représenter, les chercheurs en biologie moléculaire sont le plus souvent d'honnêtes techniciens, sans génie, qui lisent *Le Nouvel Observateur* et rêvent de partir en vacances au Groenland. La recherche en biologie moléculaire ne nécessite aucune créativité, aucune invention ; c'est en réalité une activité à peu près complètement routinière, qui ne demande que de raisonnables aptitudes intellectuelles de second rang⁵¹.

Très tôt dans le roman, Michel Djerzinski contrecarre donc toute idéalisation dont il pourrait être l'objet : sa profession n'a rien d'une course enivrante à la découverte entre esprits libres et déliés. De plus, en dépit d'une pensée térébrante et d'une action qui portera des fruits réels, il est habité par un tenace sentiment de porte-à-faux. Car Djerzinski, esprit sans conteste le plus abstrait du corpus houellebecquien, personnage cérébral consumé par ses recherches, a ceci de particulier : il est l'homme qui travaille à la disparition de l'Homme. Ses méditations et ses expérimentations, loin de le rapprocher de ses contemporains, confirment bien au contraire la distance, tant émotive qu'intellectuelle, qui

⁵⁰ Jean-Paul Sartre, *La nausée*, op. cit., p. 50.

⁵¹ *Les particules élémentaires*, p. 17-18.

le sépare d'eux. Sa démarche visant ultimement l'avènement d'une espèce asexuée et immortelle appelée à remplacer la sienne, elle nie par essence, aussi déterminante soit-elle, toute possibilité d'une adéquation au présent. Annabelle, son amie de longue date, voit juste, l'amour impossible qu'elle lui voue ne l'empêchant pas de relever dès leurs jeunes années que « son visage [est] le commentaire d'un autre monde⁵² ». Du nôtre, il ne gardera qu'un goût amer, et le hasard n'est pas en cause s'il *disparaît dans la mer* sitôt ses recherches menées à terme. À quoi bon, en ce qui strictement le concerne, son legs au devenir d'une civilisation ? Il n'en suture, conséquent, aucun profit personnel. Convaincu de la vanité des réalisations humaines qui obéissent au cycle perpétuel de la ruine et du renouvellement, ayant conclu à la nécessité d'éradiquer l'espèce, il est le premier qui, son projet et les modalités de sa concrétisation formulés, doit tirer un trait sur son Moi, *disparaître*, nous dit pudiquement le roman. Ses connaissances, sa vision pénétrante auront des effets cruciaux, ses thèses lui survivront, mais n'auront pu combler le vide qu'éprouvait leur auteur, ni suturer la blessure d'être.

*

Nous touchons d'ailleurs là un point sensible, un aveu que l'on retrouve d'une œuvre à l'autre : l'écriture, ou toute forme d'expression par laquelle l'individu marque sa présence, n'est pas le lieu d'une rédemption. Elle est insuffisante à raviver chez le sujet une étincelle lyrique, à cristalliser un sentiment consistant de soi. Sur un mode plus mineur que Djerzinski, Daniel 1, dans *La possibilité d'une île*, déconsidère avec acharnement sa carrière d'humoriste. Convenons qu'un humoriste et un spécialiste des particules élémentaires évoluent sur des terrains radicalement différents, et cependant le premier a, lui aussi, un impact, qui en prime présente l'avantage de n'être pas différé. S'adressant à des foules dans le but de provoquer des réactions, récoltant de francs dithyrambes en raison de son audace et de la justesse assassine de son propos, il devrait en principe sentir son Moi se raffermir dans cette réussite. Comme Djerzinski, toutefois, il est son propre bourreau, son juge le plus sévère :

Comme le révolutionnaire, l'humoriste assumait la brutalité du monde, et lui répondait avec une brutalité accrue. Le résultat de son action n'était cependant pas de transformer le monde,

⁵² *Ibid.*, p. 67.

mais de le rendre acceptable en transmuant la violence, nécessaire à toute action révolutionnaire, en *rire* — accessoirement, aussi, de se faire pas mal de thune. En somme, comme tous les bouffons depuis l'origine, j'étais une sorte de *collabo*. [...] j'établissais la clarté, j'interdisais l'action, j'éradiquais l'espérance ; mon bilan était mitigé⁵³.

Daniel 1 ne change rien au tissu social, ne travaille d'aucune façon à rétablir une quelconque concorde, des liens d'amour et de fraternité qui, précisera-t-il plus tard, sont les seules valeurs dignes d'être défendues. Aiguillonnant la part d'ombre de ses pareils, il l'apaise en surface par le jeu de la catharsis, mais contribue plus que tout à la confirmer, à renforcer des préjugés, des griefs et des peurs. Il est un artisan de la dissolution sociale qu'il déplore intérieurement, qu'il éprouve mentalement et physiquement, certain d'avoir érigé sa statue sur l'exploitation continue du mal et de l'esbroufe. Sa *thune* et sa notoriété, les portes qu'elles lui ouvrent ne peuvent rien aux relations intimes qu'il ne sait pas sauver, à son corps que l'âge prend d'assaut, au mépris de soi qu'il cultive.

Quand, sympathisant avec les dirigeants du mouvement élohimite (qui, dans les brisées du Djerzinski des *Particules*, aspire à remplacer l'humain), Daniel 1 initie la pratique du *récit de vie*, il n'y trouve pas plus d'accord à soi et au monde qu'en débitant ses monologues. Lieu d'un bilan, d'une étude rétrospective de son existence, le récit de vie s'avère un témoignage à l'usage de ceux qui suivront ; c'est ce témoignage qui nous est livré par l'entremise de ses avatars 24 et 25. Sans discontinuer, ce retour sur sa propre trajectoire s'attarde à l'imperfection et à la séparation, pointe les faiblesses de l'homme. Ce qu'il met en place, c'est un dispositif de repoussoir au bénéfice des clones, un enseignement par la négative, d'où le cercle vicieux : s'accusant, se discréditant, le sujet, en synchronie, ne peut qu'être justifié dans ses effondrements, qu'il expose et décortique sans les surmonter.

En regard des autres protagonistes, Daniel 1 partage avec Djerzinski ceci d'atypique qu'ils sont tous deux des acteurs reconnus de leur monde ; le fait demeure qu'ils nous détrompent quant à l'effet concret de leur visibilité et de leur crédit. Impuissant à les consoler, leur prestige est un paravent ; derrière celui-ci, ils se dévoilent, identiques aux

⁵³ *La possibilité d'une île*, p. 158-159.

autres héros houellebecquiens, en proie à une « fracture d'inadaptation fondamentale⁵⁴ » que leurs mots, leurs théories et leurs tours rhétoriques ne peuvent, en dernière analyse, qu'accentuer. Sans avoir leur étoffe, l'informaticien d'*Extension*, mieux que quiconque, expose l'échec de l'exercice :

L'écriture ne soulage guère. Elle retrace, elle délimite. Elle introduit un soupçon de cohérence, l'idée d'un réalisme. On patauge toujours dans un brouillard sanglant, mais il y a quelques repères. Le chaos n'est plus qu'à quelques mètres. Faible succès, en vérité⁵⁵.

Ne pense pas différemment le Michel de *Plateforme* qui entreprend, nous le comprenons dans la dernière partie du récit, la rédaction du livre que nous tenons entre nos mains après la mort tragique de sa Valérie. Soucieux de témoigner, de laisser trace de son passage, il doit par contre se rendre à l'évidence. Il admet que sa confession n'enraie pas la douleur de la perte, qu'elle l'amplifie plutôt, et il se désole d'une certitude : en mal d'un « destinataire, ou [d']un sens quelconque⁵⁶ », ses paroles resteront lettre morte. Elles ne rejoindront personne au-delà de l'anecdote.

5.5 Néant des origines

L'insignifiance de la fonction, l'intransmissible de la parole, le cul-de-sac qui guette tout entreprise d'intellection : l'œuvre tisse une toile qui rive le sujet à un sentiment d'étrangeté dont il ne peut se dégager. Un poème en prose de *Renaissance* exprime superbement cette famine de la sociabilité, ce *à quoi bon* lancinant qui en résulte. Sous les explications, les justifications et les points de vue critiques, derrière les facultés d'analyse et l'assurance rude de celui qui dit voir juste (« Croyez-moi, je connais la vie ; tout cela est parfaitement verrouillé⁵⁷ ») se cache un désarroi profond, une nostalgie permanente. Un regret de ce qui aurait pu être ou de ce qui n'est plus, de ce que l'on appelle et qui ne viendra pas, l'espérance que nous évoquions. Compromise mais résolue, indépendante de la connaissance en soi, des rôles, des discours et des systèmes, cette espérance est aussi une vérité du sujet houellebecquien :

⁵⁴ *Extension du domaine de la lutte*, p. 146.

⁵⁵ *Ibid.*, p. 14.

⁵⁶ *Plateforme*, p. 365.

⁵⁷ *Extension du domaine de la lutte*, p. 42.

Ce n'est pas cela. J'essaie de conserver mon corps en bon état. Je suis peut-être mort, je ne sais pas. Il y a quelque chose qu'il faudrait faire, que je ne fais pas. On ne m'a pas appris. Cette année, j'ai beaucoup vieilli. J'ai fumé huit mille cigarettes. Souvent j'ai eu mal à la tête. Il doit pourtant y avoir une façon de vivre ; quelque chose que je ne trouve pas dans les livres. Il y a des êtres humains, il y a des personnages ; mais, d'une année sur l'autre c'est à peine si je reconnais leur visage.

Je ne respecte pas l'homme ; cependant, je l'envie⁵⁸.

Ce qu'envie l'homme houellebecquien, c'est un état dont il aperçoit quelquefois les manifestations sans y accéder, un sentiment de complétude qui, bien qu'il en sache l'improbabilité, est son horizon. Obsédante finale d'*Extension* qu'il nous faut toujours garder à la mémoire tant elle cible le problème fondamental, celui autour duquel tout fait corps : la *fusion sublime* n'aura pas lieu, qui était *le but de la vie*. Celle-ci devient alors un voyage blanc dont chaque station représente un pas de plus vers ce que Roland Barthes, dans ses *Fragments d'un discours amoureux*, a désigné du beau nom de « déréalité » :

Le monde est plein sans moi, comme dans la *Nausée* ; il joue à vivre derrière une glace ; le monde est dans un aquarium ; je le vois tout près et cependant séparé, fait d'une autre substance ; je choisis continûment hors de moi-même, sans vertige, sans brouillard, dans la *précision*, comme si j'étais drogué⁵⁹.

Ainsi, le sujet peut parfois mal distinguer les brumes sociohistoriques dans lesquelles il avance et qui infléchissent ses comportements, mais sa biographie personnelle lui est autrement plus sensible. Nous pouvons en fait reconstituer une généalogie du trouble qui gagne le personnage : il se construit autour d'une série de stupéfactions et d'engourdissements qui ont à voir avec sa désaffectation sociale, qui en représentent la face intime, la racine qui court sous tous les (non) rapports. Si la *fusion sublime* se pose en idéal, des récurrences, aussi bien dans les poèmes que les romans, en racontent la faillite quasi programmatique, et ce, depuis l'origine.

*

Devrait-elle être le berceau des concordances futures, la source à laquelle se découvre et se désire l'altérité et où le Moi s'incarne par le regard du prochain, l'enfance, chez Houellebecq, est plutôt une initiation crue. La première apparition de l'aquarium dont

⁵⁸ « Ce n'est pas cela », *Renaissance*, p. 232.

⁵⁹ Roland Barthes, *Fragments d'un discours amoureux*, 1977, p. 104.

parle Barthes et la première prise de conscience, irréparable : le personnage réalise qu'il sera tenu au-dehors. De la nécessité de remonter à l'origine dont *Rester vivant* faisait état, l'œuvre tire donc, sans rémission et avec une transparence brutale, les conséquences logiques. La violence du propos atteint là une intensité particulière, comme s'il importait que le fer rouge soit visible de loin, que le commencement dise, dans l'acception la plus négative du terme, charnelle et mentale tout à la fois, une expulsion. Très tôt, soit dès le deuxième poème, le recueil *La poursuite du bonheur*, sous le titre « Non réconcilié », propose un portrait révélateur ; les deux premières strophes donnent le ton :

Mon père était un con solitaire et barbare ;
Ivre de déception, seul devant sa télé,
Il ruminait des plans fragiles et très bizarres,
Sa grande joie étant de les voir capoter.

Il m'a toujours traité comme un rat qu'on pourchasse ;
La simple idée d'un fils, je crois, le révulsait.
Il ne supportait pas qu'un jour je le dépasse,
Juste en restant vivant alors qu'il crèverait⁶⁰.

Comme un rat, présence encombrante, l'enfant se développe dans le refus, celui d'un homme qui, en son fils qui grandit, ne voit que son propre temps compté. La famille, symbole de la transmission, est au contraire le terreau des cassures à venir, le lieu d'une disruption qui laisse présager toutes les autres. Peter Sloterdijk parlerait d'un *déshéritage*, d'une absence de legs émotif et ontologique qui fait le sujet désorienté, interloqué devant un monde que plus rien ne balise parce qu'aucune filiation ne vient l'irriguer et en délimiter les contours⁶¹. Que nous apprend « Non réconcilié » ? Que l'individu naît d'une porte qui se referme aussitôt ; s'abolit illico le conte de fées du prolongement. Le père, dont la chute du poème nous dira qu'il agonise en râlant dans son urine, n'a aucune vocation de messager : il

⁶⁰ « Non réconcilié », *La poursuite du bonheur*, p. 114.

⁶¹ Voir à cet effet l'entretien avec Carlos Oliveira intitulé « Derniers hommes et anges vides », dont nous intéressons particulièrement ce passage : « Le fait est que les gens qui grandissent sous un régime individualiste subissent une sorte de déshéritage intégral — c'est un terme que j'emploie depuis quelque temps, parce que l'on en a besoin pour décrire cette manière étrange dont les jeunes générations se détachent en un bond de leurs parents. Ce genre de chose ne se rencontre dans aucune civilisation antérieure. Aujourd'hui, on ne devient plus du tout adulte comme cela se passait dans les sociétés traditionnelles : le fait de descendre d'une lignée d'aïeux et d'hériter de cette lignée avec sa langue, ses qualités, sa place dans l'être et ses objectifs existentiels. On hérite de l'horizon tout entier et, au sein de cet horizon, d'un monde complet. [...] Ils n'ont pas grand-chose à te transmettre, à part des névroses et des comptes en banque ; ce sont nos valeurs résiduelles. » (Peter Sloterdijk, « Derniers hommes et anges vides », *Essai d'intoxication volontaire*, 1999 [1996], p. 33-34).

ne relaie que la terreur de sa propre fin, à laquelle la jeunesse du fils le renvoie, et la hargne qui s'ensuit.

Dès la case départ, le sujet se retrouve donc de trop, sans résonance, et en mal d'un centre à partir duquel ferait sens son être ; *Extension du domaine de la lutte* en administre la preuve de manière sardonique. Jamais dans le récit le narrateur n'évoquera ses parents sinon en une occasion, le temps d'un paragraphe laconique mais déterminant. Si l'homme est celui, comme le veut Pascal Quignard, « à qui une image manque⁶² », l'informaticien de Houellebecq ne s'embarrasse pour sa part d'aucun mystère, s'assurant d'éteindre toute fascination. Qu'il connaisse véritablement les conditions de sa création des suites d'un aveu singulièrement indélicat ou qu'il affabule et symbolise par là l'idée qu'il n'aurait pas dû naître, il nous apprend qu'il est l'enfant d'une maladresse, d'un toucher imprudent :

Je sortis de la clinique un 26 mai ; je me souviens du soleil et de l'ambiance de liberté dans les rues. C'était insupportable.

C'est également un 26 mai que j'avais été conçu, tard dans l'après-midi. Le coït avait pris place dans le salon, sur un tapis pseudo-pakistanaï. Au moment où mon père prenait ma mère par-derrière elle avait eu l'idée malencontreuse de tendre la main pour lui caresser les testicules, si bien que l'éjaculation s'était produite. Elle avait éprouvé du plaisir, mais pas de véritable orgasme. Peu après, ils avaient mangé du poulet froid. Il y avait de cela trente-deux ans, maintenant ; à l'époque, on trouvait encore de vrais poulets⁶³.

Le tapis est faux, le poulet froid, la jouissance relative et, par-dessus tout, n'eût été d'un mouvement jugé regrettable, l'éjaculation n'aurait pas eu lieu : il n'en faut pas plus pour baigner d'une lumière définitive l'existence du personnage, posée comme une erreur. Ce dernier ne manifeste d'ailleurs aucune émotion notable envers ceux qui l'ont mis au monde, ne leur donnant guère plus d'importance qu'à une remarque sur le marché de la volaille ; grâce à celle-ci, le narrateur coupe court à la scène. Sa conception placée sous le signe de

⁶² « Nous sommes venus d'une scène où nous n'étions pas.

L'homme est celui à qui une image manque.

Qu'il ferme les yeux et qu'il rêve dans la nuit, qu'il les ouvre et qu'il observe attentivement les choses réelles dans la clarté qu'épanche le soleil, que son regard se dérouté et s'égare, qu'il porte les yeux sur le livre qu'il tient entre ses mains, qu'assis dans le noir il épie le déroulement d'un film, qu'il se laisse absorber dans la contemplation d'une peinture, l'homme est un regard désirant qui cherche une autre image derrière tout ce qu'il voit. » (Pascal Quignard, *Le sexe et l'effroi*, 1994, p. 10). De Quignard à Houellebecq, la cassure dans le ton est évidemment criante. Ce qui échappe à Quignard lui permet de fantasmer sa conception, de la poétiser et d'en faire le lieu de grands enjeux philosophiques. À l'opposé, la crudité de ce qu'évoque le narrateur houellebecquien congédie presque d'office l'imagination et la discussion. Sa venue est le fait d'une relation sexuelle *ordinaire* suivie d'un repas *ordinaire*, ce qui préfigure l'existence à venir (une existence *ordinaire*) avec une telle limpidité que la scène supporte peu de commentaires.

⁶³ *Extension du domaine de la lutte*, p. 150-151.

l'involontaire et stigmatisée en toute hâte, l'enfance s'effondre avec elle, n'appelant aucun autre commentaire dans l'ensemble du roman. Cet instant névralgique, liquidé en quelques lignes, forme pourtant l'ossature d'une vie, dès lors qu'y est apparent l'étau du déterminisme originel se resserrant sur le sujet. D'un rapport dont est rendu la médiocrité devait probablement découler un homme impropre au contact, un électron libre mais qui ne sait que faire de cette liberté, dissocié de tout temps : *on ne m'a pas appris*, ni même désiré.

Les particules élémentaires retrouve cette disruption originelle, la développe en fait plus que toute autre œuvre du corpus. À travers les parcours de Michel Djerzinski et de Bruno Clément, un abandon semblable se répète, et avec lui l'expérience de la dissociation, qui handicapera toute relation ultérieure. Élevés par leurs grands-mères respectives, que voient les demi-frères en ces parents qui n'ont pas accepté de les couvrir, s'étant plutôt défaits du fardeau qu'ils représentaient ? Des étrangers en face de qui ils n'éprouvent pas l'appel viscéral du sang, le lien instinctif.

De retour d'un voyage en Chine, sachant imminente la rupture de son mariage, Marc Djerzinski, cinéaste, découvre la maison désordonnée, peuplée de hippies vaporeux. Sa femme Jane, lui apprend-on, est à la plage, un inconnu ronfle dans son lit, cependant que des bruits en provenance de l'étage attirent son attention :

Son fils rampait maladroitement sur le dallage, glissant de temps en temps dans une flaque d'urine ou d'excréments. Il clignait des yeux et gémissait continuellement. Percevant une présence humaine, il tenta de prendre la fuite. Marc le prit dans ses bras ; terrorisé, le petit être tremblait entre ses mains⁶⁴.

Quand survient cette scène, Michel a deux ans. Il s'agit de l'un des derniers contacts avec son père, qui le remet aux bons soins de sa grand-mère, et du début d'une longue éclipse maternelle, que rien ne rachètera ensuite. Cette panique devant un homme qu'il ne reconnaît pas, bien qu'il en soit le fils, cette abjection à laquelle le réduit l'insouciance de celle dont il est venu ouvrir sur une béance. Ce sont les premiers pas vers ce repli voisin de l'autisme, cette incapacité à sortir de soi qui caractériseront sa vie affective.

⁶⁴ *Les particules élémentaires*, p. 30-31.

En parallèle, Bruno partage les mêmes carences, ses souffrances puisant à la même source⁶⁵. Sa grand-mère morte, il rencontre pour la première fois ses parents, des divorcés qui au lendemain des funérailles doivent décider de son sort. On le placera à l'internat de Meaux, Serge l'accueillera le week-end, Jane s'efforcera de le prendre quelquefois en vacances. De la discussion, il n'est que l'objet, n'y atteignant jamais la dignité de sujet, et réciproquement il écoute la conversation sans parvenir à l'identification. Ne se retrouvant pas dans celui dont il est question, n'établissant pas de lien avec l'homme et la femme en face de lui, il réalise encore mal que ces inconnus tiennent son destin, comme une charge agaçante, entre leurs mains. Se tiennent près de lui des gens à qui il doit d'être là, mais aucun sentiment d'appartenance, aucune reconnaissance, même animale, attribuable à quelque sens du sang, ne s'insinue en lui :

Il est toujours curieux d'entendre les autres parler de soi, surtout quand ils ne semblent pas avoir conscience de votre présence. On peut avoir tendance à en perdre conscience soi-même, ce n'est pas déplaisant. En somme, il ne se sentait pas directement concerné. Cette conversation devait jouer un rôle décisif dans sa vie, et par la suite il se la remémorera de nombreuses fois, sans d'ailleurs jamais parvenir à en ressentir une réelle émotion. Il ne parvenait pas à établir un rapport direct, un rapport charnel entre lui et ces deux adultes [...]⁶⁶.

*

Il est donc significatif de réaliser que leur enfance durant, Michel et Bruno n'ont ainsi noué de liens affectifs puissants qu'avec ces grands-mères appelées, faute d'investissement des parents, à veiller sur eux, sur la floraison de leur identité et de leur aptitude à se lier à d'autres humains. Incidemment, elles mourront toutes les deux avant que les demi-frères ne soient devenus des hommes, le désinvestissement de leur mère Jane étant montré jusque dans l'absence de grands-parents à offrir à ses fils. Quand Marie Djerzinski rend l'âme, Michel pousse un cri de bête blessée, « une sorte de miaulement, ou de hurlement⁶⁷ » qui condense la violence de l'arrachement, la part primitive que ce départ rejoint ; en Marie, qui représentait son unique repère stable, son garde-fou identitaire, Michel perd toute notion de clan, de tribu. L'abandon, désormais, est complet, et Bruno

⁶⁵ Et ce même si, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, il y réagit différemment, c'est-à-dire en recherchant éperdument l'attention d'autrui, tandis que Michel, instinctivement, s'y dérobe.

⁶⁶ *Ibid.*, p. 42.

⁶⁷ *Ibid.*, p. 93.

expérimentera semblable dérive. Ébouillantée par une bassine d'huile, Geneviève Ceccaldi ne survivra pas au traumatisme, mais Bruno, longtemps après son départ, continue à lui parler à voix haute, à mettre le couvert pour deux, n'admettant pas que le seul amour filial qu'il lui ait été donné de connaître ne soit plus. Sans sa grand-mère, sans sa bienveillance, il n'est plus que sa solitude, la présence du père ou de la mère, très épisodique et du reste froide lorsqu'elle advient, ne pensant pas la plaie initiale.

La sentence est donc franche : des aïeules seules originent la chaleur et le sens du nid, et que Houellebecq choisisse de les faire mourir alors que Michel et Bruno n'ont pas atteint l'âge adulte est un prélude au calvaire que représenteront pour eux les relations humaines⁶⁸. En l'absence d'un cocon où ils auraient pu trouver un équilibre émotif et ancrer leur identité, l'auteur leur refuse jusqu'à la substitution, ou ne la leur accorde que pour les renvoyer à une béance qui, d'avoir été momentanément comblée, s'en trouve accrue. C'est l'illustration littéraire du déshéritage dont fait état Sloterdijk, de l'entrée dans cet univers mental et moral où la couvaison, la transmission s'évanouissent, insupportables pour une pensée où aucune chaîne ne doit entraver la liberté de l'individu. D'une courtepointe de valeurs et d'expériences qui circulent d'une génération à l'autre et qui donnent au sujet la conscience d'être venu de quelque part, qui lui fournissent l'argile identitaire où sculpter son visage, Marie Djerzinski et Geneviève Ceccaldi sont, dans la généalogie de leurs petits-fils, le dernier relais. Ces femmes disparues, Michel et Bruno réalisent que l'altruisme et le sens du devoir, la bonté et le don de soi perdent tout droit de cité autour d'eux. Il n'y a plus que le monde des hommes modernes que leurs parents ont contribué à construire, que le domaine de la lutte et la vulnérabilité d'y entrer démunis, comme des orphelins. Évoquant le caractère de Marie Djerzinski, le narrateur des *Particules* condense ce que Michel, après elle, ne sera plus en mesure de retrouver :

Un examen un tant soit peu exhaustif de l'humanité doit prendre en compte ce type de phénomènes. De tels êtres humains, historiquement, ont existé. Des êtres humains qui travaillaient dur, uniquement par dévouement et par amour ; qui donnaient littéralement leur vie aux autres dans un esprit de dévouement et d'amour ; qui n'avaient cependant nullement

⁶⁸ On notera qu'ironiquement, toutes deux meurent d'un infarctus. Fatigué, ne pouvant plus supporter tant de désertions et la mission d'en atténuer les répercussions, le cœur a lâché, ce cœur que Jane, Serge et Marc n'auront pas su ouvrir, qu'elles auront à l'inverse donné sans compter pour le bien de Michel et Bruno, qui après elles auront du mal à en retrouver le chemin. Un dixième seulement du roman a été parcouru lorsque Marie et Geneviève décèdent, Houellebecq indiquant assez vite qu'aucune enclave ne saurait tenir tête à la glaciation humaine qui fait le propos des *Particules*.

l'impression de se sacrifier ; qui n'envisageaient en réalité d'autre manière de vivre que de donner leur vie aux autres dans un esprit de dévouement et d'amour⁶⁹.

Le royaume perdu, titre de la première partie du roman, symbolise donc plus que l'enfance en allée : il renferme la nostalgie de ces « petites places chaudes irradiées par l'amour », de ces « petits espaces clos, réservés, où régnaient l'intersubjectivité et l'amour⁷⁰ » qu'ont entrevus les demi-frères et qu'ils peineront à recréer. Entrés dans un monde sans grand-mère, laissés à eux-mêmes et leurs facultés critiques s'aiguissant, ils ne verront bientôt plus en leurs parents qu'un chaînon manquant. Les *petites places chaudes* ont été balayées par les discours de la libération, les vents qui ont révolutionné les mœurs et la psyché de l'homme occidental ; par leur désinvestissement, leur échec à construire de telles cellules, Jane, Serge et Marc sont les baromètres du renversement. La famille, la descendance, la transmission et l'interdépendance qui leur sont associées appartiennent à un temps qui ne les concerne plus, dans lequel ils ne perçoivent qu'empêchement et limitation⁷¹. D'avoir procréé sera leur seule concession à l'égard de cette réalité, mais ils n'en assumeront pas la responsabilité et ce sont leurs enfants qui porteront la charge de ce désaveu. Le royaume perdu, nous le voyons qui s'éloigne dans les excréments qui font le lit de Michel ou les pâtisseries qu'engouffre maladivement Bruno séjournant chez son père, dans l'absence de réplique de Jane lorsque son fils manifeste sa passion pour les équations différentielles ou l'ennui de Serge Clément lorsqu'il doit côtoyer le sien : « Il lui voulait plutôt du bien, à condition que ça ne prenne pas trop de temps⁷². »

Leurs parents *derrière une glace*, hors d'atteinte, c'est par contrecoup leur propre image que les demi-frères n'ont pu reconnaître. Les grands-mères pouvaient pallier au manque, sans tout sauver jeter un pont dans la nuit de l'identité et de l'altérité ; leur disparition tire un trait sur ce qui aurait pu être et marque l'amorce d'un processus irréversible. Les existences de Michel et Bruno emprunteront des trajectoires opposées (l'isolement insondable de l'un qui semble déshumanisé, la folle quête de tendresse de l'autre qu'un rien bouleverse) ; elles auront toujours en commun ce néant initial, la tâche

⁶⁹ *Les particules élémentaires*, p. 91.

⁷⁰ *Ibid.*, p. 87-88.

⁷¹ Revoir à cet effet le chapitre 3, et plus particulièrement la section intitulée « Le triangle des Bermudes ».

⁷² *Les particules élémentaires*, p. 48.

sisyphienne d'en émerger. Nous avons entrevu au chapitre précédent ce qui se produit des années plus tard lorsque tous deux se rendent à Saorge au chevet de leur mère agonisante : il n'y a plus de marche arrière possible dans cette veillée funèbre que Philippe Muray juge « définitive comme un fragment de Jugement dernier⁷³ ». Derrière l'attitude de Michel observant avec curiosité la « créature brunâtre⁷⁴ » qui râle dans son lit, on croit revoir *L'étranger*, cette distance qui, dès l'incipit du roman de Camus, fait Meursault anormal, et condamnable aux yeux de la société : « Aujourd'hui, maman est morte. Ou peut-être hier, je ne sais pas. J'ai reçu un télégramme de l'asile : "Mère décédée. Enterrement demain. Sentiments distingués." Cela ne veut rien dire. C'était peut-être hier⁷⁵. »

Or, *L'étranger*, la distinction ne peut être tue, vient d'un monde où la filiation est encore porteuse, celui qu'ont connu Marie et Geneviève, d'où la tiédeur inadmissible de Meursault devant la dépouille de sa mère, de ses « je ne sais pas » quand on le somme de justifier son refus de revoir le cadavre avant sa mise en terre ; est irrecevable le calme ennuyé avec lequel il réagit à l'événement. Comment se peut-il qu'il souffre si peu et puisse se détacher avec pareille aisance ? Qu'il arrive à s'ébrouer avec une fille à la piscine au lendemain des funérailles est un scandale pour ses contemporains qui croient toujours en la force du lien, aux impératifs qu'il implique et à l'émotion qu'il charrie.

On s'offusquera moins, cependant, de la placidité de Michel Djerzinski, qui au chevet de Jane adopte une posture purement cérébrale : il pense sans broncher la « vie calamiteuse⁷⁶ » de la mourante et songe, esprit pratique, aux modalités des obsèques. Enfant de la distance, il ne connaît que celle-ci, la reproduit machinalement, tout en sachant qu'il emprunte un chemin mortifère. Bruno exprime en contrepartie son émotion avec vigueur, mais l'énergie qu'il déploie exclut toute réconciliation, se borne à reformuler et à amplifier la béance. Injures, discours décousus, chansons déplacées⁷⁷, griefs, il ne ménage rien, animal blessé lui aussi, mais qui attaque plutôt que de se recroqueviller :

⁷³ Philippe Muray, « Et, en tout, apercevoir la fin... », juin 1999, n° 18, p. 32.

⁷⁴ *Les particules élémentaires*, op. cit., p. 255.

⁷⁵ Albert Camus, *L'étranger*, 1971 [1942], p. 7.

⁷⁶ *Les particules élémentaires*, p. 256.

⁷⁷ À tue-tête, il entonnera au pied du lit de mort « La mamma » de Charles Aznavour avec un enthousiasme forcément inapproprié. Le décalage entre la solennité du moment et cette interprétation saugrenue, le fait qu'il

« Tu n'es qu'une vieille pute... émit-il sur un ton didactique. Tu mérites de crever. » Michel s'assit en face de lui, à la tête du lit, et alluma une cigarette. « T'as voulu être incinérée ? poursuit Bruno avec verve. À la bonne heure, tu seras incinérée. Je mettrai ce qui restera de toi dans un pot, et tous les matins, au réveil, je pissurai sur tes cendres. » Il hocha la tête avec satisfaction ; Jane émit un bruit de gorge éraillé⁷⁸.

Entre l'apathie de Michel et le fiel de Bruno, *Les particules élémentaires* ne suggère pas qu'il y a une bonne réponse, puisque l'extrême des attitudes recouvre la même question : quel horizon pour le sujet du domaine de la lutte quand d'emblée le milieu familial ne renvoie qu'au non-recevoir ? Des individualités de nulle part, en route vers personne.

multiplie les pitreries trahissent le trouble qui l'agite. Feignant de se moquer de la situation, n'accuse-t-il pas plutôt son désarroi ?

⁷⁸ *Id.*

Troisième partie

Dépasser cette vie

CHAPITRE 6

DES DÉCROCHEURS ONTOLOGIQUES

6.1 La logique du perroquet

Qu'elle soit ignorée ou trahie, il y a, répétons-le, une espérance qui traverse l'œuvre de Michel Houellebecq. L'attente anxieuse d'une réconciliation, qui dépasse toutefois rarement le stade de la virtualité. En société, le sujet n'aperçoit que la vacuité de ses actes et de ses paroles, alors même que le concept de communauté, le désir de trouver sa place parmi ses pairs fait peu de sens. Comment se situer dans un ensemble vide, un espace sans résonance ? Remontant le fil de ses expériences, il s'interdit du reste toute illusion rétrospective, tout mensonge embellissant, réalisant qu'il vient, dès l'origine, de la disruption. Quand d'un même sang les rapports sont de nature essentiellement formelle, c'est la comédie des filiations qui apparaît : l'inaptitude vient donc de loin. Le sujet, qui porte en lui le miroir brisé de l'origine, est incapable de partager ce qu'il n'a pas reçu. Entrant dans l'univers des relations humaines, il se définit ainsi par sa paralysie ou sa gaucherie, sa méconnaissance de comment il lui faudrait agir. S'il s'intègre péniblement et multiplie les ratés, c'est que lui font défaut les assises affectives qui lui permettraient de se penser comme centre d'intérêt et qu'il n'a pas été initié (ou sinon négativement) aux notions de dialogue et d'échange : il ne maîtrise pas les codes grâce auxquels l'individu entre en relation.

Ainsi, le narrateur de *Plateforme* peut produire au salon funéraire « une excellente impression générale¹ », se poser en bon fils qu'ébranle l'assassinat du père et régler efficacement tous les dossiers afférents au décès, l'amorce du roman interdit pourtant au lecteur de se méprendre :

Devant le cercueil du vieillard, des pensées déplaisantes me sont venues. Il avait profité de la vie, le vieux salaud ; il s'était démerdé comme un chef. « T'as eu des gosses, mon con... me dis-je avec entrain ; t'as fourré ta grosse bite dans la chatte à ma mère. » Enfin j'étais un peu tendu, c'est certain ; ce n'est pas tous les jours qu'on a des morts dans sa famille².

¹ *Plateforme*, p. 13.

² *Ibid.*, p. 11.

Nous avons déjà évoqué l'engourdissement de *L'étranger* de Camus devant la perte de sa mère, qui choque parce que Meursault se déleste des convenances et des valeurs sur lesquelles se fonde le monde dont il est issu : il crée la fracture. À l'opposé, le personnage houellebecquien ne jouit pas d'un tel pouvoir. Le schisme a déjà eu lieu, il en est le fruit et toutes les étapes de sa vie en portent témoignage. Nous circulons dans l'œuvre de Houellebecq comme dans un continuum de dissolution, puisque du non-recevoir initial découle une difficulté chronique à se donner ; nous l'apprend la manière dont certains personnages, devenus adultes, assumeront à leur tour le rôle de parent.

Venu de la distance et de l'insensibilité, le sujet, même s'il voudrait qu'il en aille autrement, ne répare rien en se prolongeant. En lui réapparaît la compréhension funeste qu'il n'y a de possible que la séparation, leçon tragique qu'administre dans *La possibilité d'une île* un Daniel 1 si laconique qu'il en glace la sang :

Le jour du suicide de mon fils, je me suis fait des œufs à la tomate. Un chien vivant vaut mieux qu'un lion mort, estime justement l'Ecclésiaste. Je n'avais jamais aimé cet enfant : il était aussi bête que sa mère, et aussi méchant que son père. Sa disparition était loin d'être une catastrophe ; des êtres humains de ce genre, on peut s'en passer³.

Sous le vernis du mépris, c'est lui-même que Daniel aperçoit en son fils, sa propre disgrâce qui indûment se poursuit. Citant la maxime de l'Ecclésiaste, ne l'interprète-t-il pas ironiquement ? La force et la fierté du fauve l'ont quitté depuis longtemps alors que le fils, ayant emprunté la voie du suicide, s'est assuré de rester lion, emportant dans son geste l'orgueil et l'ardeur de sa jeunesse, évitant l'apathie du père. Survivant à son enfant, Daniel est ce chien qui reste là, fatigué, *méchant*, mécréant qui existe sans véhiculer d'idéal, s'avouant rompu à la désespérance. Il diffère en cela du *chien vivant* des Écritures qui, bien que misérable et empêtré dans ses chaînes matérielles, marche dans l'assurance d'une lumière, d'une rédemption qui doit venir. Daniel vit, mais l'indifférence qu'il affiche — le fruit de sa chair attendue à ses jours : il ne bronche pas — est une fenêtre sur sa forclusion dans un monde en mal de transcendance. Le récit a beau être avare de détails au sujet de la relation père/fils, le commentaire suffit : les relais qui font de l'homme un passeur ont bel et bien disparu, et avec eux la capacité à sortir de soi. Les médiocres qu'évoque le Livre tournaient malgré tout le regard vers la promesse d'un dépassement de leur être faillible et

³ *La possibilité d'une île*, p. 29-30.

temporel, mais rien de tel dans les yeux de l'humoriste qui n'aperçoit en son fils que la répétition du même, qu'un cercle vicieux qu'il valait mieux briser, ce dont le fils s'est chargé. *Des êtres humains de ce genre, on peut s'en passer* et Daniel 1, par son attitude sinistre, en offre l'exemple : il valide une société de vases clos, un monde sans horizon. Aussi petits étaient-ils, les chiens de l'Ecclésiaste ne pensaient pas en monades.

*

Dans *Les particules élémentaires*, Bruno ne supporte pas plus que son homologue de *La possibilité d'une île* l'existence de son fils en qui il voit le reflet de la dissolution familiale passée, une annonce de celle qui vient. Comme son propre père Serge Clément, qui ne le considérait que par convention, sur la base d'un vieux fond d'obligation morale, Bruno, à son tour, n'est présent que formellement ; émotivement, il reconduit une culture de la distance et du déshéritage. Il voudrait y remédier, mais ne connaît que ce qu'il a subi et cède à l'égoïsme : la présence de Victor l'opprime. Ce dernier étant encore au berceau, Bruno mélange alcool et somnifères à son biberon, incapable d'admettre les pleurs du nourrisson, sa demande d'attention pendant que lui s'adonne, ivre, au téléphone rose. Le sépare de l'enfant une frontière qu'il ne sait abolir, voire qu'épaissira le passage des saisons. La filiation n'opérant pas, il ne se situe bientôt plus devant lui que dans un rapport concurrentiel, habité par le sentiment d'une menace.

Des années plus tard, parvenu à l'adolescence et ses parents divorcés, Victor, en visite chez Bruno, n'est pas plus bavard qu'une carpe. Les écouteurs aux oreilles, rivé à ses jeux vidéo⁴, il s'est, lui aussi, capitonné ; père et fils en sont, nous dit Bruno, au stade de l'indifférence réciproque, qui précède la haine⁵. Se rejoue alors à son grand dam ce qui le coupait de ses parents, ce qui le rend, à leur suite, indigne : apeuré de voir se rétrécir son espace de liberté, repoussant instinctivement ce garçon dont la jeunesse accuse son déclin, il conçoit qu'il avance ce faisant dans l'erreur, que sa réaction ne peut qu'être délétère dans

⁴ À l'image de son père qui, rappelons-nous, joue à Tetris sur une console Game Boy, au chevet de sa mère agonisante. La fêlure est aussi pérenne par la similitude des actes, les modèles mauvais se perpétuant de génération en génération.

⁵ « Et, Bruno le savait, les choses allaient encore s'aggraver : de l'indifférence réciproque, ils allaient progressivement passer à la haine. » (*Les particules élémentaires*, p. 167).

la durée. « L'amour paternel est une fiction », l'enfant un « piège qui s'est refermé [...] l'ennemi qu'on va devoir continuer à entretenir et qui va vous survivre⁶ » ; ils sont aussi le terreau d'une peine que disent assez le ressassement de Bruno, ses sanglots et ses tremblements lorsqu'il s'en ouvre à Michel.

Car le sujet peut jouer au coq et se cuisiner des œufs à la tomate quand son fils se suicide, justifier son comportement en palabrant sur la marche de l'Histoire qui fait de la famille une valeur périmée et pesante, ce cynisme est un rempart. Derrière se tient l'enfant au collier de feuilles qui, maintenant homme, souffre de n'avoir rien su racheter, de s'être fait perroquet de la disjonction alors qu'une ouverture restait possible :

Comment les choses en étaient-elles arrivées là ? Victor avait treize ans depuis quelques mois. Il y a encore quelques années il faisait des dessins, qu'il montrait à son père. Il recopiait des personnages de Marvel Comics : Fatalis, Fantastik, le Pharaon du futur — qu'il mettait en scène dans des situations inédites. Parfois ils faisaient une partie de Mille Bornes, ou allaient au Musée du Louvre, le dimanche matin. Pour l'anniversaire de Bruno, l'année de ses dix ans, Victor avait calligraphié sur une feuille de Canson, en grosses lettres multicolores : « PAPA JE T'AIME. » Maintenant c'était fini. C'était réellement fini. [...] Ils approchaient de l'état de rivalité, état naturel des hommes. Ils étaient comme des animaux se battant dans la même cage, qui était le temps⁷.

Si la venue au monde de Victor portait les germes d'une renaissance, l'expérience, pour Bruno, se solde sur une certitude amère, celle d'être « un salaud⁸ », et sur le regret d'avoir doublement perdu, hier par l'égoïsme de ceux qui l'ont fait, aujourd'hui par sa lâcheté mimétique. L'enfance est cette période phare qui aurait dû être un temps d'apprentissage, et pourtant la découverte de soi et de l'autre est freinée par la déliaison, qui infléchit la suite des vies. Chaleur et innocence auraient dû la caractériser, alors qu'une sécheresse attristée s'en dégage plutôt, qui du personnage étrangle les facultés à recevoir et à donner, à accorder sa présence à quelque diapason que ce soit ; le sujet y apprend la clôture.

*

Quand, au milieu de sa solitude adulte, Michel Djerzinski retrouve par hasard une photo datant de ses années d'écolier, il pleure, et ses larmes questionnent l'insensibilité

⁶ *Les particules élémentaires*, p. 169.

⁷ *Id.*

⁸ *Ibid.*, p. 186.

qu'on lui prête généralement, suggérant que celle-ci ne fût pas son lot de toute éternité, mais vient plutôt d'une cassure dont il n'a jamais su surmonter les effets :

Assis à son pupitre, l'enfant tenait un livre de classe ouvert à la main. Il fixait le spectateur en souriant, plein de joie et de courage ; et cet enfant, chose incompréhensible, c'était lui. L'enfant faisait ses devoirs, apprenait ses leçons avec un sérieux confiant. Il entrait dans le monde, il découvrait le monde, et le monde ne lui faisait pas peur ; il se tenait prêt à prendre sa place dans la société des hommes. Tout cela, on pouvait le lire dans le regard de l'enfant. Il portait une blouse avec un petit col⁹.

Puis cette belle naïveté se fissure et il n'y a plus que le verdict de *Rester vivant* : toute existence est une expansion suivie d'un écrasement que Houellebecq précipite, laissant le champ libre à la désolation, au désuni qui module les actes et les pensées.

6.2 Sur le collier de feuilles

Fait triplement spectral par un système social qui le surdétermine et le réifie, par une narration qui remet pareillement en cause son statut de sujet et par l'action elle-même qui accuse sa forclusion, l'individu houellebecquien, à chaque étape de son parcours, « découv[r]e l'existence humaine / [c]omme on soulève un pansement¹⁰ ». Or, tout n'est pas dit puisqu'il rencontre parfois, à contresens de cette mise en examen, l'orée qu'est l'amour. Si tout conspire contre la fusion sublime, les récits ont ceci de retors qu'ils laissent parfois croire à son avènement quand plus rien ne permettait de l'envisager. Au fil de l'œuvre s'ouvrent en ce sens des espaces de paix et d'intimité qui, s'ils exaucent les protagonistes, brillent surtout par leur fugacité. « Et en tout, ils apercevaient la fin¹¹ », telle est l'évidence de longue date, celle à laquelle les personnages ne peuvent jamais tout à fait se soustraire, d'autant que leur fait d'emblée défaut l'art des commencements.

Rien ne l'ayant entraîné à assumer sa propre présence ni à accueillir son prochain, Michel Djerzinski, devant les attentions de sa camarade Annabelle Wilkening, l'éveil de son désir d'adolescente, reste de marbre, inhibé par une réserve qui lui interdit d'agir. Un soir de l'été 1975, par une nuit étoilée, alors qu'Annabelle, son demi-frère Bruno et lui sont

⁹ *Ibid.*, p. 23.

¹⁰ « Découvrant l'existence humaine », *Renaissance*, p. 290.

¹¹ *Les particules élémentaires*, p. 239.

en vacances dans une communauté hippie de Haute-Provence et qu'une trentaine de danseurs s'agitent autour d'un feu de joie, Michel demeure à l'écart, sourd aux appels de l'amie, incapable de saisir l'occasion. De guerre lasse, elle s'offre finalement aux bras d'un autre pendant que Djerzinski médite, impuissant, le sens de son échec :

Il eut soudain le pressentiment que sa vie entière ressemblerait à ce moment. Il traverserait les émotions humaines, parfois il en serait très proche ; d'autres connaîtraient le bonheur, ou le désespoir ; rien de tout cela ne pourrait jamais exactement le concerner ni l'atteindre. À plusieurs reprises dans la soirée, Annabelle avait jeté des regards dans sa direction tout en dansant. Il avait souhaité bouger, mais il n'avait pas pu ; il avait eu la sensation très nette de s'enfoncer dans une eau glacée. Tout, pourtant, était excessivement calme. Il se sentait séparé du monde par quelques centimètres de vide, formant autour de lui comme une carapace ou une armure¹².

Pour Michel, le monde, explicitement, continue de vivre *derrière une glace*. Il sait qu'embrasser Annabelle garantirait dans une certaine mesure son salut, que de l'abandon pourrait venir la délivrance, une manière de réconciliation ontologique, mais il est incapable de traverser de l'autre côté (*souhaiter bouger*, nous dit la citation, mais *ne pas pouvoir*) ; en lui s'est cassé tout ressort et il assiste, ne sachant faire autrement, à sa pétrification. Dans cette traversée du désert que constitue *Les particules élémentaires*, il représente le promeneur d'emblée éteint et si c'est à son demi-frère qu'il appartient de brûler, les résultats sont aussi peu concluants.

Première expérience de l'altérité hors du cercle familial, la maternelle devient ainsi, pour Bruno Clément, le théâtre d'une humiliation. Aux garçons, la professeure apprend à fabriquer des colliers de feuilles qu'ils iront ensuite accrocher au cou d'une élue. Dans leur lumière d'automne, les camarades tressent avec aisance, marchent fièrement vers la fillette choisie ; dans sa lumière d'automne, le petit Clément est cet enfant lourdaud et nerveux qui, dès ses jeunes années, ne connaît que le ratage :

Il n'avancait pas, les feuilles cassaient, tout se détruisait entre ses mains. Comment leur expliquer qu'il avait besoin d'amour ? Comment leur expliquer, sans collier de feuilles ? Il commença à pleurer de rage ; l'institutrice ne vint pas l'aider. C'était déjà fini, les enfants se levaient pour quitter le parc. Un peu plus tard, l'école ferma¹³.

Alors que Michel se replie, le drame de Bruno est plutôt de se tendre follement vers l'autre, mais avec une maladresse et un empressement tels qu'il ne récolte que l'opprobre. Après

¹² *Ibid.*, p. 86.

¹³ *Ibid.*, p. 38.

surviendront d'ailleurs d'autres événements révélateurs, témoignages toujours plus crus d'une faillite, indicateurs marquants d'une descente vers le pire. Au cinéma du lycée, aux côtés de Caroline Yessayan dont il s'est épris, il commet l'erreur de lui toucher la cuisse trop rapidement : elle retire sa main, incommodée, et ne lui adressera jamais plus la parole. Plus tard, lors d'un séjour linguistique à la frontière de l'Autriche, son collègue Patrick Castelli entre dans la légende en accumulant les conquêtes (« trente-sept nanas en trois semaines¹⁴ »). Par dépit, avide d'attention, Bruno doit se contenter de montrer son sexe à une caissière de supermarché qui pouffe de rire, et le quotidien dans son ensemble transforme en avanie le besoin d'amour et de reconnaissance. Dans ses déplacements en autobus, l'étudiant s'assoit en face de jeunes filles, ouvre un cartable, baisse sa fermeture éclair, se masturbe et éjacule dans ses notes de cours : comme la strip-teaseuse d'*Extension* il ne récolte qu'indifférence, referme sa braguette¹⁵.

Comment leur expliquer ? S'articulant différemment, les échecs des demi-frères sont pourtant cristallisés par l'épisode du collier de feuilles et cette question qui embrasse la déconfiture affective. Le vœu lyrique se tient là, d'autant plus poignant qu'il est en péril faute d'être nourri ou entendu. *Un peu plus tard, l'école ferma* ; a-t-elle un jour été vraiment ouverte pour le personnage houellebecquien ? Pour celui qu'on a privé de tuteur (disparaîtront jusqu'aux substituts), qui vit négativement les liens du sang et à qui n'ont pas été inculquées les notions d'échange et d'altérité, la métaphore éclaire la source du trouble, ce à quoi elle mène. Que l'on s'approche de Michel, il recule, que Bruno s'avance, on le fuit ou l'ignore tout bonnement, mais la pétrification de l'un et la précipitation de l'autre sont issus d'une même faillite, arpentent le même terrain : le cimetière des occasions

¹⁴ *Ibid.*, p. 64.

¹⁵ Se présentera bien une occasion de contact quand il rencontrera à la plage une dénommée Annick, « boulotte, un petit tas avec un visage timide, une peau trop blanche et des boutons » (*ibid.*, p. 73), son pendant féminin, en quelque sorte. Pourtant, leurs échanges, brefs, pauvres en mots, sont frappés du sceau de la gêne et de la honte. Dans une manière de rituel, Bruno se goinfre de gâteaux à la pâtisserie du coin, monte chez elle qui refuse la pénétration et lui fait une fellation, puis il repart aussitôt. Un soir où le manège doit se répéter, un attroupement attire son attention dans la rue et il constate qu'Annick, qui lui ressemblait tant, s'est défenestrée. En elle, c'est un peu lui que l'on annule, la chance d'enfin atteindre, à travers l'œil de l'autre, la dimension de sujet. Déjà décrit en des termes désobligeants, n'accordant le contact qu'à demi, ce corps pourtant étreint, maintenant disloqué sur le trottoir, le retourne au solipsisme de sa vie qui, contrairement à celle d'Annick, sans qu'un motif ne la justifie vraiment, dure encore. Notons du reste qu'à lire la description d'Annick, on croirait revenue la Brigitte Bardot d'*Extension* : variation presque nulle des figures houellebecquiennes quand la société paradoxalement les somme de se démarquer, de se distinguer pour être.

manquées. *On ne m'a pas appris*, nous dit le poème, et cette infirmité est visible longtemps après, dans ce scénario affectif qui se rejoue sans cesse. Placés en face d'un prochain, les êtres se retrouvent démunis, comme des facteurs porteurs de lettres blanches. À un vide qui vient de loin et se déroule comme un ruban ininterrompu s'ajoute alors la constatation que l'union, parfois possible, est condamnée comme le reste à la disjonction.

6.3 L'amour / le couperet

Il n'empêche que des destins se nattent, ce qui signifie qu'il existe bien une autre dimension, un langage ailleurs que dans la rupture émotive ou le sentiment d'insignifiance. Ce langage est celui de l'amour, qui invraisemblablement surgit parfois dans un contexte s'y opposant. Qui nimbe notamment l'espace du poème, entraînant à sa suite une modification immédiate de la perception et du verbe soudain porteurs d'élan, disponibles au lyrisme. Le recueil *Renaissance* est plein de ces pages irradiées par la vision d'un lieu parfait, d'un monde à part le monde d'où monte « l'idée qu'un nouvel organisme est né, aux gestes harmonieux et limités ; un nouvel organisme dans lequel nous pouvons, dès maintenant, vivre¹⁶. » De la même manière, le poème « Véronique », dans *La poursuite du bonheur*, retrace un enivrement, le dépassement de l'individualité dans l'abandon et la réciprocité. Le sujet cessant de ne se définir que par le déclin de ses capacités, l'angoisse de la fin est temporairement anesthésiée, la distance qui sépare les êtres mise en veilleuse ; c'est le cours du réel même que l'amour vient perturber :

Soudain tout a changé dans une explosion blanche,
Le soleil s'est levé sur un nouveau royaume ;
Il faisait presque chaud et nous étions dimanche,
Dans l'air ambiant montaient les harmonies d'un psaume¹⁷.

¹⁶ « Doucement, le ciel bleu clair », *Renaissance*, p. 308.

¹⁷ « Véronique », *La poursuite du bonheur*, p. 198. Sans taire l'érotisme des vers, il faut noter la pureté de l'explosion, son blanc disant un sperme qui ici ne se monnaie pas, qui n'est pas le fait d'une *passé* experte ou d'une main esseulée, mais rapproche plutôt l'amour du divin. Nul besoin de chercher très loin pour constater comment une strophe si sentimentale, toute à son ascension, est une exception remarquable dans la trivialité d'ensemble des recueils ; un survol de *Renaissance* suffit à le démontrer. Qu'est devenu celui qui achète « des revues de bite / [a]u kiosque avenue de Wagram » (p. 228), qui agite sa « petite quéquette » en public devant des « Hongroises à lunettes » (p. 247) ou se « masturbe au Martini » (p. 248) claquemuré dans sa chambre ? Nous entrons dans un tout autre mode d'être.

Les amants de « Véronique » sont les dépositaires d'une transcendance qui les soustrait au désarroi ordinaire, d'une sublimation, néanmoins temporaire : en se conjuguant à l'imparfait, en avouant que la magie est derrière, le texte se détruit alors même qu'il se fait. Dans la foulée, le poème « Ton regard, bien-aimée, me portait dans l'espace » expose une relation salvatrice qui permet au sujet d'affronter le cynisme des foules, d'échapper au désabusement collectif en formulant ce vœu candide : sauver la communion « de la mort, de l'orgueil et du blasphème¹⁸ », apanage des mortels. Le *nouveau royaume* qui se construit flotte ainsi au-dessus de la mêlée, ses images d'éther et de lumière le situant ailleurs, dans un espace où de l'individu sont suspendues les craintes et limitations, mais il s'agit bien, en cela Houellebecq ne lâchera pas prise, d'un attermoiement. La poésie peut référer explicitement à l'Éden¹⁹, mais la chute a déjà eu lieu et inlassablement se répète dans les affaissements du discours, ses retournements et ses tables rases : « J'ai vu le grand serpent du monde matériel / Qui étouffait en toi le dernier regard tendre²⁰. » C'est sans équivoque que se referment les portes du paradis puisque des amants qui se sont élevés, la connotation biblique retient la fragilité, la chute. Que reste-t-il après coup ?

« Après la crise, la discontinuité de chacun des deux êtres est intacte²¹ », écrit Bataille en 1957, et la dérélition est aggravée au temps du domaine de la lutte qui n'a pas pour fonction de nourrir l'âme et peine à renvoyer au sujet le sens de sa présence, l'impression d'une consistance. Dans l'expérience de la perte se radicalise la voix qui, de retour à la normale, l'illusion levée, découvre ce que ses bouffées lyriques avaient de dérisoires : « Je suis vraiment content d'avoir connu l'amour, / Je me suis démoli pour une chose vivante²². » D'avoir pris son essor puis d'être retombé, l'être sait à quoi s'en tenir, certain qu'il n'y a nulle issue hormis des parenthèses qui ne sont que cela, des parenthèses, nulle manière de se soustraire à la déflation. La poésie joue constamment de ces sauts brusques entre comblement et mise à sac, emportements et éboulements, et le roman lui fait chorus :

¹⁸ « Ton regard, bien-aimée, me portait dans l'espace », *La poursuite du bonheur*, p. 158.

¹⁹ Voir notamment, dans *La poursuite du bonheur*, « Le jardin aux fougères » (p. 201).

²⁰ « Ton regard, bien-aimée », *loc. cit.*, p. 159.

²¹ Georges Bataille, *L'érotisme*, 1979 [1957], p. 113.

²² « Je n'ai plus le courage de me voir dans la glace », *La poursuite du bonheur*, p. 148.

Aucun sujet en somme ne semble autant avoir préoccupé les hommes ; même l'argent, même les satisfactions du combat et de la gloire perdent en comparaison, dans les récits de vie humains, de leur puissance dramatique. L'amour semble avoir été pour les humains de l'ultime période l'acmé et l'impossible, le regret et la grâce, le point focal où pouvaient se concentrer toute souffrance ou toute joie²³.

Telle est la conclusion du clone Daniel 25 qui, dans *La possibilité d'une île*, s'étonne de l'importance qu'accordent ses prédécesseurs à l'enjeu du cœur et du désir qui les laisse alternativement extatiques et brisés, vulnérables parce que vivant d'extrêmes. En conséquence, aucun thème n'est tenu sous si haute surveillance dans ces textes qui ne l'accueillent, dirait-on, que pour en mettre en scène les défaillances, porter le coup final aux protagonistes. « Parfois, je me demandais si nous n'étions pas, elle et moi, le fondement d'un nouveau monde. Un monde rétabli. Un monde sans trou ni crevasse. Un monde sûr et que Dieu aurait réussi²⁴ », avouera, retourné au célibat, le *Solitaire* d'Ionesco. Il a connu lui aussi cette halte heureuse qui redonne à l'existence plénitude et pertinence, une aura presque religieuse²⁵, mais l'étrangeté devant le réel, la conscience de l'inadéquation ont repris leurs droits ; les enchantements n'ont pas vocation à la pérennité. Or, chez Houellebecq, c'est la violence répétitive et arbitraire avec laquelle est assénée cette vérité qui choque, comme si les instants de concordance n'étaient que des miroirs aux alouettes, des moyens termes vers la confirmation du pire. Un *deus ex machina* inversé semble tirer les ficelles de l'univers houellebecquien, brisant systématiquement les liens que l'on croyait noués.

*

Après vingt ans d'éclipse, Michel Djerzinski, le biologiste des *Particules*, renoue par hasard avec l'Annabelle de son enfance. Tous deux abîmés par la vie, ils connaîtront pourtant ensemble tendresse et compassion, la « grâce d'une magie imprévue, [...] des moments d'air frais et de grand soleil tonique²⁶ » qui seront autant de baumes sur deux faillites. Même si *en tout ils aperçoivent la fin*, même s'ils se savent sur la pente descendante et que l'idée d'aimer réveille en Michel une réserve viscérale, des volets

²³ *La possibilité d'une île*, p. 191.

²⁴ Eugène Ionesco, *Le solitaire*, *op. cit.*, p. 124.

²⁵ Que l'on retourne aux racines du mot « religion », on constate d'ailleurs que son rapport à l'amour n'est pas fortuit : elle est ce qui recueille et rassemble (*relegere*), ce qui relie (*religare*).

s'ouvrent dans la maison de l'être, une lumière s'y immisce, aussi timide soit-elle. De sentir contre sa peau la chair vivante d'Annabelle, de savoir qu'elle est à ses côtés désirante malgré l'usure, attentionnée en dépit de la finitude qui les entoure, Djerzinski, déchiré, accède tardivement à l'émotion. Elle naît dans le difficile, se bute à un pessimisme foncier, mais qu'il accepte de faire un enfant à la femme qui l'aime malgré tout ce qui joue contre eux est bien le signe d'une avancée, d'un pas, hésitant certes mais indéniable, vers la renaissance²⁷ ; c'est alors que survient l'arrêt de l'arbitre.

Lors d'une visite chez le gynécologue, Annabelle apprend que de grossesse il n'y aura pas, qu'elle souffre d'un cancer de l'utérus et que l'avortement s'accompagnera d'une hystérectomie. Se sentant « vidée comme un poulet²⁸ », niée dans son identité de femme, elle ne se conçoit plus que comme un fardeau, un corps qui, ne pouvant désormais offrir la joie, n'a plus qu'à disparaître ; elle avale une dose massive de Rohypnol et sombre dans le coma, mourra quelques jours plus tard. N'ayant pu prévenir le geste, Michel y voit le dernier signe de son incapacité, est aspiré une fois pour toutes par le « vide sidéral²⁹ » qui lui tient lieu de vie et s'oublie dans ses recherches scientifiques qu'il mène à terme avant de disparaître à son tour, faisant son linceul des eaux d'Irlande. De s'être trouvé à proximité du bonheur au milieu du marasme, de n'avoir su le retenir, il en ressort raffermi dans la conviction que l'homme est un animal voué à la souffrance et à la séparation, une espèce à éradiquer. Un appel survit pourtant à ce couple improbable dans cette poésie tendre mais tragique qu'étonnamment Michel signe pendant qu'Annabelle s'en va, une espérance diffuse qui nous parle d'une trace

²⁶ *Les particules élémentaires*, p. 239.

²⁷ « Il se dit qu'il aurait dû faire un enfant à Annabelle ; puis d'un seul coup il se souvint qu'il l'avait fait, ou plutôt qu'il avait commencé à le faire, qu'il avait tout du moins accepté la perspective ; et cette pensée le remplit d'une grande joie. Il comprit alors la paix et la douceur qui l'avaient envahi ces dernières semaines. » (*Ibid.*, p. 284).

²⁸ *Ibid.*, p. 277.

²⁹ *Ibid.*, p. 287. Ce vide sidéral, Bruno le ressent lui aussi nommément et parvient à en préciser la nature dès l'adolescence, alors qu'il découvre l'univers de Franz Kafka : « Vers la même époque, il commença à lire Kafka. La première fois, il ressentit une sensation de froid, de gel insidieux ; quelques heures après avoir terminé *Le Procès* il se sentait encore engourdi, cotonneux. Il sut immédiatement que cet univers ralenti, marqué par la honte, où les êtres se croisent dans un *vide sidéral*, sans qu'aucun rapport entre eux n'apparaisse jamais possible, correspondait exactement à son univers mental. » (p. 60-61 ; nous soulignons). L'existence du personnage houellebecquien serait donc ceci : une glaciation continue, débutée très tôt et que chaque événement, chaque rencontre attesterait, les réchauffements eux-mêmes ne s'avérant, en dernière analyse, que des oasis. De s'y dorner un instant, le sujet ne s'en trouve par la suite que plus démun.

[...] Inscrite dans le temps,
Inscrite dans l'espace

Inscrite dans la chair
À jamais sanctifiée
Dans les montagnes, dans l'air
Et dans l'eau des rivières,
Dans le ciel modifié³⁰ [...].

Enfant de la scission, Djerzinski y retourne non sans admettre que des *petites places chaudes* existent effectivement, qu'elles sont la condition de la métamorphose qui arrache l'être au néant individuel, mais il est trop tard pour lui. Houellebecq situe ses récits à l'âge du crépuscule, et les Annabelle qui y scintillent ravivent la nostalgie de ce qui aurait pu ou aurait dû être, sans plus. Les personnages nous rappellent les éphémères, ces insectes qui, mettant longtemps à atteindre l'âge adulte, à quitter la phase larvaire, ne vivent pourtant qu'un jour quand enfin ils peuvent voler. Trompe-l'œil efficace, l'amour, qui voudrait faire croire à une victoire de l'être, finit au contraire par valider le désastre, son caractère irréversible.

Il est trop tard, ce qu'apprend aussi à ses dépens Bruno. Alors que Michel, passif, loin de provoquer les étreintes, renoue par inadvertance avec Annabelle, Bruno, sa vie durant, est aux trousseaux d'un diapason qui se dérobe ; Christiane, rencontrée lors de vacances naturistes, le lui promet enfin. Elle aussi venue d'un divorce, elle aussi blessée par l'existence d'un fils avec qui les ponts sont coupés et par un physique dégradé, elle lui redonne foi au partage et à l'innocence dans le jacuzzi du Lieu du Changement, ce camping n'ayant jusque-là pas tenu ses promesses de plaisir. Ils s'y croisent une nuit alors que l'obscurité rend leurs visages indistincts et elle le prend dans sa bouche indépendamment de tout critère de séduction, des codes du désirable qui depuis longtemps les ont disqualifiés ; non inscrit dans le cadre de la compétition, caractérisé par sa gratuité, l'acte échappe à la pression sociale, aux impératifs de performer et de se démarquer. Ce sera le début d'une relation marquée par la transparence et la générosité, tous deux admettant qu'ils viennent de la faillite et que le meilleur, définitivement, est derrière, chacun s'efforçant de combler l'autre dans la mesure de ses moyens. Une alchimie se produit, et

³⁰ *Ibid.*, p. 286.

leur accorde de voler au temps des fragments de joie. Dans le matin naissant où chante un oiseau, Christiane endormie à ses côtés, Bruno se prend au jeu d'un lyrisme enfantin, comique tant il tranche avec l'esprit d'ensemble, douloureux quand on sait l'épée de Damoclès au-dessus de leurs têtes. Soudain Christiane n'est plus Christiane, mais la Petite Sirène du conte célèbre qui a tout laissé derrière, bu les poisons et traversé les épreuves pour enfin être auprès de celui qui lui était destiné, et Bruno ce prince auprès de qui elle s'éveille, cet horizon qui justifiait l'âpreté du voyage³¹. C'est encore Bruno qui, transformé quoique lucide, s'émeut de la quotidienneté, des gestes simples de l'amante, et ose les mots qui lui permettent enfin d'ajourner le huis clos de son Moi :

Ce qui restait à dire était plus tendre, plus délicat et plus incertain. [...] Ce qu'il éprouvait était étrange, très étrange : il respirait plus facilement, il restait parfois des minutes entières sans penser, il n'avait plus tellement peur. Une après-midi, huit jours après leur arrivée, il dit à Christiane : « Je crois que je suis heureux. » [...] « J'ai envie de vivre avec toi. J'ai l'impression que ça suffit, qu'on a été assez malheureux comme ça, pendant trop longtemps. Plus tard il y aura la maladie, l'invalidité et la mort. Mais je crois qu'on peut être heureux, ensemble, jusqu'à la fin. En tout cas j'ai envie d'essayer. Je crois que je t'aime »³².

La hargne et la vulgarité derrière lesquelles il a coutume de se réfugier s'estompent, et il n'est plus cet adulte qui se dégoûte d'éjaculer en feuilletant par habitude *Hot Video*, ce

³¹ Voir *ibid.*, p. 143. « Quand elle s'éveilla, le soleil brillait, et le prince était devant elle », se souvient Bruno qui réentend la récitante d'un 45 tours de son enfance ; c'est bien en de tels passages que se mesure la déchirure à laquelle nous soumet l'écriture de Houellebecq. On voudrait rire d'une telle candeur, insolite dans le grand portrait, et en même temps, par sa sincérité et tout ce qu'elle engage, cette naïveté, rempart contre la désolation ambiante, oubli temporaire de l'inévitable, nous émeut. D'ailleurs, il est significatif de noter que Bruno en appelle à une version édulcorée, expurgée de sa conclusion douloureuse, du conte, comme s'il refusait de voir ce qui le guette. Pour l'héroïne d'Andersen, le triple sacrifice de son chant mélodieux (la sorcière avec qui elle pactise lui coupe, littéralement, la langue), de son passé (pour pouvoir prendre forme humaine, elle renonce définitivement à sa vie de sirène) et du confort (à chacun de ses pas, elle a l'impression qu'un couteau lui transperce les pieds) est un prix élevé à payer, mais elle n'est pas au bout de ses peines. Parvenue à la cour, elle réalise que le prince ne reconnaît pas en elle celle qui lui a sauvé la vie une nuit de naufrage et qu'il ne l'aimera jamais que « comme on peut aimer une enfant bonne et gentille » (Hans Christian Andersen, *La petite sirène*, dans *Contes et histoires*, 2005 [1837], p. 167) ; c'est dévastée qu'elle assistera à son mariage avec la fille d'un roi voisin. Vu son échec à être l'élue, elle sait que ce soir de noces sera son dernier, qu'elle mourra et se transformera en écume à l'aube : l'avait bien stipulé la sorcière au moment de leur entente. L'occasion lui est pourtant donnée de déjouer la fatalité et de regagner sa vie ancienne en poignardant le prince avant les premiers rayons du soleil, mais elle choisit de n'en rien faire et de disparaître. Ainsi, ce passage des *Particules élémentaires* expose un double fond révélateur. Exprimant une rare trêve dans la vie de Bruno, il agit pourtant comme une mise en abyme du destin qui attend la majorité des personnages houellebecquiens : qu'ils se rapprochent de la félicité, elle se dérobe et les confronte à leur vérité. Pas plus qu'il n'appartient à une Petite Sirène d'accéder à un rêve qui n'est pas conforme à sa nature, l'homme du domaine de la lutte, même lorsqu'il semble en voie de se fondre, même lorsqu'il cède au lyrisme, est invariablement renvoyé à son canton de douleur.

³² *Ibid.*, p. 223.

mangeur compulsif qui arpente les rues avec « l'impression d'avoir entre les jambes un bout de viande suintant et putréfié, dévoré par les vers³³ ». Il se réconcilie avant l'hiver de sa vie, mais c'est, évidemment, sans compter sur la guillotine : les redressements ont ceci de piégé qu'ils annoncent en survenant l'imminence d'une volte-face. Le couperet doit tomber, rappeler au personnage que l'exception confirme la règle : sa condition est irrécupérable.

D'un consentement mutuel, pour profiter des années qu'il leur reste et multiplier ensemble les sources d'un plaisir qu'ils ont trop peu goûté, Bruno et Christiane fréquentent le circuit échangiste. Ils y atteignent un degré d'abandon et d'exultation inégalé qui permet à Bruno de surmonter momentanément ses complexes, pendant qu'au jour le jour ils apprennent à partager l'ordinaire ; la situation est si idyllique qu'elle en est suspecte. D'ailleurs, alors que le couple s'ébat chez *Chris et Manu*, leur club de prédilection, Christiane hurle, s'immobilise. Transportée à l'Hôtel-Dieu où les médecins lui diagnostiquent une nécrose des vertèbres coccygiennes dont le stade avancé la laisse paralysée et incurable, elle sera contrainte à finir ses jours dans une chaise roulante. Bruno propose qu'elle s'installe définitivement chez lui, mais elle rétorque qu'il n'a pas à gaspiller sa vie pour veiller sur une invalide. L'hésitation qui s'ensuit, le fait que Bruno ne réponde pas spontanément à l'objection et décide plutôt d'y réfléchir quelques jours scelle leurs destins. Avant qu'il ne puisse rendre sa décision, Christiane emprunte la route d'Annabelle en se lançant dans les escaliers de son immeuble ; « [n]otre malheur n'atteint son plus haut point que lorsque a été envisagée, suffisamment proche, la possibilité pratique du bonheur³⁴. » Il est ironique que ce soit par la jouissance qu'il aura tant recherchée que le sort assène à Bruno la gifle finale, celle qui une dernière fois lui donne l'heure juste : il n'aura toujours qu'un petit sexe gênant, sera toujours, lui qui n'a su insister auprès de Christiane, émotivement inapte. Malgré la dissemblance de leurs rapports sentimentaux, Michel et lui échouent donc tous les deux, redevenant à l'instant fatidique ces êtres emmurés en eux-mêmes, ultimement incapables de rejoindre leur prochain. Ils resteront jusqu'à la fin, même contre leur gré, des êtres seuls.

³³ *Ibid.*, p. 154.

Les demi-frères définitivement isolés, pensons aussi à ce qui guette le Michel de *Plateforme*. Consacrant ses soirées aux peep-shows et à *Questions pour un champion*, il se dépeint comme un Occidental normal, en proie à la dépression et ne parvenant pas à entretenir de relations intimes sérieuses, préférant voyager et se payer des prostituées thaïes plutôt que de s'exposer à l'échec, sur l'empire duquel il disserte abondamment. Le fonctionnaire vieillit donc dans la famine émotive et la mise à distance, redoutant le miroir que lui tend son prochain : « C'est dans le rapport à autrui qu'on prend conscience de soi ; c'est bien ce qui rend le rapport à autrui insupportable³⁵. » Choisisant l'Orient et le cadre clair de l'échange tarifé, il se soumet à une différence qui pourtant s'estompe dans la nature contractuelle de la relation. S'il se garde de nourrir des liens profonds avec ses pareils occidentaux, en qui il reconnaît trop bien ses propres angoisses, il s'assure tout autant, en payant pour son plaisir, d'inscrire ses rapports dans un contexte régulé, mais une fois de plus une femme désarçonne le sujet. C'est ainsi qu'en sol thaïlandais, il croise Valérie, partenaire d'excursion qui le troublera en forçant son regard et en l'entraînant plus loin que lui-même, récréation plus que récréation. Passée une période de réserve, il découvrira en elle l'âme sœur et une capacité insoupçonnée à quitter ses ornières stériles :

Lorsque j'amena Valérie à l'orgasme, que je sentais son corps vibrer sous le mien, j'avais parfois l'impression, fugace mais irrésistible, d'accéder à un niveau de conscience entièrement différent, où tout mal était aboli. Dans ces moments suspendus, pratiquement immobiles, où son corps montait vers le plaisir, je me sentais comme un Dieu, dont dépendaient la sérénité et les orages. Ce fut la première joie — indiscutable, parfaite³⁶.

Lui succéderont d'autres heures intenses et dans les transports de Michel, sa parole ébahie et allégée, il appert de nouveau qu'une voie permet la transfiguration, libère le sujet de sa coutumière constriction. La *première joie*, la montée que l'on n'attendait plus s'accompagnent d'une révélation : « [l']amour sanctifie³⁷ ».

C'est oublier bien sûr la récurrence de la machette, la manière dont les bouffées lyriques sont préludes aux exécutions. Tout à leur félicité et à leurs projets, se baladant en tandem à travers la Thaïlande, Michel et Valérie comptent parmi la clientèle du bar *Crazy Lips* lorsqu'explose une bombe artisanale. Perpétré par des intégristes musulmans, l'attentat

³⁴ *Ibid.*, p. 245.

³⁵ *Plateforme*, p. 94.

³⁶ *Ibid.*, p. 169.

³⁷ *Ibid.*, p. 190.

emporte Valérie et à l'ivresse se substituent jambes sectionnées, visages déchiquetés, viscères répandues et hurlements. Pourtant, quelques jours auparavant, étreignant son amour sur les pitons rocheux de la baie de Krabi pendant que dans le ciel chatoyaient les feux d'artifice du nouvel an, Michel attestait, comme Bruno devant Christiane, d'un renouveau intérieur :

Au moment où la première fusée éclata, je m'aperçus que sa robe verte, légèrement transparente, était la même qu'elle portait, un an auparavant, lors du réveillon à Koh Phi Phi ; j'en éprouvai une émotion étrange, au moment où elle posait ses lèvres sur les miennes, comme un renversement de l'ordre du monde. Curieusement, et sans l'avoir le moins du monde mérité, j'avais eu une seconde chance. C'est très rare, dans la vie, d'avoir une seconde chance ; c'est contraire à toutes les lois. Je la serrai dans mes bras avec violence, gagné par une subite envie de pleurer³⁸.

Dans le sang et les tripes prend donc fin l'intermède après lequel il n'y a plus de mirage, qu'une frontière densifiée, le monde plus que jamais *derrière une glace* pour le laissé-pour-compte sans appartenance, comme mort à sa présence humaine redevenue sans objet.

*

Contre le climat général d'« apocalypse sèche³⁹ » qui les caractérise, poèmes et romans préservent donc, fragilisée d'emblée dans une société ayant perdu le sens des contacts humains, l'idée de l'amour :

On peut imaginer que le poisson, sortant de temps en temps la tête de l'eau pour happer l'air, aperçoive pendant quelques secondes un monde aérien, complètement différent — paradisiaque. Bien entendu il devrait ensuite retourner dans son univers d'algues, où les poissons se dévorent. Mais pendant quelques secondes, il aurait eu l'intuition d'un monde différent, un monde parfait — le nôtre⁴⁰[.]

note le narrateur des *Particules* de son observatoire placé après notre civilisation, de sa réalité exempte de friction, celle des clones. *On peut imaginer que le poisson*, et celui-ci renferme dans son bondissement et sa replongée le vœu lyrique de l'écriture et l'ironie qui le ronge, les paradoxes d'une voix qui admet vouloir Mary Poppins, mais ne peut se garder d'en consigner les écrasements⁴¹. C'est bien dans cette culture de la déchirure que se multiplient les couperets, Houellebecq disant à la fois l'urgence de l'amour, dernier fil en

³⁸ *Ibid.*, p. 326.

³⁹ *Les particules élémentaires*, p. 15.

⁴⁰ *Id.*

mesure de relier le personnage à ses semblables, et son improbabilité ; qu'y a-t-il après ? À quoi se raccrocher quand le ressentiment ne suffit plus, lorsque l'intellection est vaine et que les discours semblent épuisés ?

Nombreux sont les sujets ayant connu cette transe mystérieuse qui sublime l'individu, accosté cette *île* qui donne son titre au quatrième roman et vient justifier l'espérance, mais après l'amour apparaît un sujet doublement impénétrable, retourné au carcan de l'individualité, à l'écart de toute correspondance.

Une présence annulée et fantomatique, l'homme de la capitulation, et la très étroite fenêtre que ce climat concède au lyrisme⁴².

6.4 Des hommes qui dorment

Mais à cause de toutes ces longues phrases, de toutes ces journées et ces heures interminables pendant lesquelles on avait parlé de mon âme, j'ai eu l'impression que tout devenait comme une eau incolore où je trouvais le vertige.

– Albert Camus, *L'étranger*

Il existe des *petites places chaudes*, des parenthèses privilégiées mais frêles hors desquelles il n'est point, humainement, de salut. D'avoir connu le bonheur qu'elles recelaient, d'avoir compris pourtant qu'il s'agissait d'une chausse-trappe, le héros en ressort définitivement heurté et s'exile de ses contemporains, voire de sa propre personne.

⁴¹ En vertu de ce devoir de vérité dont fait état *Rester vivant*.

⁴² Roland Barthes exprime bien ce *no man's land* de l'être qu'une tension vers l'autre éloigne du monde (de son grouillement courant, son bavardage) et qui, expulsé de l'idylle (ne vivant plus que dans l'abandon), perd jusqu'au goût de la protestation, devient ce passant qui ne veut plus rien voir, entendre ou assimiler : « Toute conversation générale à laquelle je suis obligé d'assister (sinon de participer) m'écorce, me transite. Il m'apparaît que le langage des autres, dont je suis exclu, ces autres le surinvestissent dérisoirement : ils affirment, contestent, ergotent, font parade : qu'ai-je à faire avec le Portugal, l'amour des chiens ou le dernier *Petit Rapporteur* ? Je vis le monde — l'autre monde — comme une hystérie généralisée. Pour me sauver de la déréalité — pour en retarder la venue — j'essaye de me relier au monde par la mauvaise humeur. Je *tiens discours* contre quelque chose [...]. Il suffit d'ailleurs que je pousse un peu plus loin, pour que cette agressivité, qui me maintenait vivant, relié au monde, tourne à la déréliction ; j'entre dans les eaux mornes de

Survient ce que François Ricard, pensant l'écriture kundérienne, nomme le *décrochage ontologique*, ce moment romanesque qui voit le sujet entrer, à force de fatigue, au bout de la discordance, dans un non-lieu mental. Figure emblématique de cet instant, Agnès, dans *L'immortalité*, s'allonge dans l'herbe aux abords d'un ruisseau et sent que le courant, « emportant toute souffrance et toute saleté : son moi⁴³ », lui donne accès à une vie sans enjeu ni blessure subjective, exempte de chassés-croisés affectifs et identitaires. Elle évolue alors dans une zone neutre où le monde et les êtres perdent consistance,

apparaissent sous un jour qu'on dirait crépusculaire, étranger, problématique, comme allégés de leur substance et, tantôt comiques, tantôt pitoyables, sur le point à chaque instant de s'évanouir dans le non-sens. Comme si le regard qui les saisit était déjà le regard de quelqu'un qui ne leur appartient plus⁴⁴.

Le décrochage ontologique, c'est le point d'aboutissement logique de l'inadéquation sujet/monde, le terminus émotif où le personnage descend pour ne plus se prendre au jeu. Là où, usant de raccourcis, on verrait s'échouer des nihilistes, il semble ainsi important de nuancer : n'avons-nous pas plutôt sous les yeux une galerie de déserteurs ? À propos des décrocheurs kundériens, Ricard suggère que leur retraite n'est pas tant « une victoire du moi sur l'hostilité ou l'étrangeté du monde⁴⁵ » qu'une défection. Non pas un acte de résistance, mais une fin de partie qui rend caduque le concept même d'opposition, une suspension de toute participation, aussi visible chez les personnages houellebecquiens. Confrontés à un système de valeurs auquel ils n'ont pas le désir, et surtout les ressources, de répondre, soumis à une pression sociale qu'ils ne parviennent pas à satisfaire, appelés à livrer des combats qu'ils ne peuvent gagner, ils démissionnent. Apparaît dès lors le caractère conséquent d'une œuvre dont les protagonistes abandonnent tous à un certain point la partie, comme le narrateur, d'emblée, les avait abandonnés. Certains d'entre eux pouvaient s'agiter et lutter, se débattre contre des destins pipés ; l'écriture, d'entrée de jeu, s'interdisait toute illusion, passant leurs individualités au crible, les déconstruisant pour en dévoiler les conditionnements, les condamnant alors même qu'ils tentaient de se démarquer. Quand sonne l'heure où ils abdiquent toute foi en l'époque et en leur capacité à s'y accomplir, leurs histoires ne comportant plus de développements tangibles et se

la déréalité. [...] Je suis de trop, mais, double deuil, ce dont je suis exclu ne me fait pas envie. (Roland Barthes, *Fragments*, op. cit., p. 104-105.)

⁴³ Milan Kundera, *L'immortalité*, op. cit., p. 381.

⁴⁴ François Ricard, *Le dernier*, op. cit., p. 169.

résorbant en une espèce de stagnation paresseuse, l'univers houellebecquien atteint en quelque sorte son point d'orgue : il baigne dans cette atmosphère autiste vers laquelle toutes ses composantes convergeaient.

*

Vient un stade, dans *La possibilité d'une île*, où toutes les cartes ont été tirées. Un point de non-retour que Daniel 1 nomme la dernière ligne droite, et qui signe en effet son accession à une vie sans variation, privée de soubresauts, un écoulement d'heures que plus rien ne saurait agiter. Après le départ d'Esther et le suicide d'Isabelle, il choisit, écrivions-nous précédemment, la réclusion dans la région espagnole d'Almería, seul avec le chien Fox vite réduit en bouillie, insulte dernière du destin, par la pelle d'un bulldozer. Dans un paysage désertique, entré dans une « paix funèbre⁴⁶ », l'humoriste se détache de tout trafic vivant, coupe les ponts avec la réalité extérieure. Pouvait-il se réfugier dans un environnement plus propice au dessèchement, si représentatif de sa stérilité ?

Des travaux avaient commencé, partout autour de ma maison et à des kilomètres à la ronde, afin de construire de nouvelles résidences. Il y avait des grues, des bétonneuses, il était devenu presque impossible d'accéder à la mer sans avoir à contourner des tas de sable, des piles de poutrelles métalliques, au milieu de bulldozers et de camions de chantier qui fondaient sans ralentir au milieu de geysers de boue⁴⁷.

Jadis *au milieu du monde*, comme nous le rappelle le sous-titre de *Plateforme*, emporté et submergé par ses flots, le sujet houellebecquien, géographiquement, psychologiquement, n'est maintenant plus qu'un être périphérique. À la ronde se déploie un ballet mécanique, un spectacle de fer et de moteurs qui rend bien compte de son état : se meurt ce qu'il y a en lui d'humain, d'incarné. Si un Moi s'inscrit dans le projet et la durée, naît de la tension entre une mémoire (ce qu'il fut) et une vision (ce à quoi il aspire), comment penser la prostration dans laquelle entre Daniel, de laquelle il ne sortira pas ? N'accapare son esprit que l'analyse de sa disgrâce, qu'une espèce de bilan, qui bientôt perd lui-même son magnétisme :

Je ne sens plus de haine en moi, plus rien à quoi m'accrocher, plus de repère ni d'indice ; la peur est là, vérité de toutes choses, en tout égale au monde observable. Il n'y a plus de monde

⁴⁵ *Ibid.*, p. 167.

⁴⁶ *La possibilité d'une île*, p. 380.

⁴⁷ *Id.*

réel, de monde senti, de monde humain, je suis sorti du temps, je n'ai plus de passé ni d'avenir, je n'ai plus de tristesse ni de projet, de nostalgie, d'abandon ni d'espérance ; il n'y a plus que la peur⁴⁸.

Il n'y a plus que la peur : le Michel de *Plateforme* rôde en filigrane. Valérie morte, il vit d'abord des heures de déni sur son lit d'hôpital, accède ensuite à la haine. Dans les deux cas, qu'il ne puisse admettre le décès de sa moitié ou soit animé par un sentiment de vengeance à l'égard d'un islam radical qui a brisé sa vie, il se situe dans l'attente ou le désir, que ceux-ci soient irréalistes ou mauvais. En refusant ou en détestant, il engage une part de son être, participe toujours aux événements. Pourtant, la haine même finit par s'estomper, laissant le champ libre à la résignation. Quittant la Thaïlande branchée qu'il sillonnait avec Valérie, il choisit la contre-allée qu'est Pattaya et s'efforce de s'y comporter en ermite, méditant au mépris de l'agitation ambiante. La première personne qu'il croise à sa sortie de l'autobus est incidemment un « vieux camé squelettique⁴⁹ », accueil approprié pour celui qui, en atteignant sciemment « le bout de [s]a route⁵⁰ », rejoint en quelque sorte l'antichambre de la mort. Ayant remis sa démission officielle au ministère français de la Culture, minimisant volontairement ses opportunités de contact avec autrui, il est ce promeneur distant qui souhaite à tout prix se préserver de ce qui pourrait l'atteindre. Il évite pour ce faire les foyers d'émotion, va jusqu'à se méfier du désir sexuel, qui demeure un acquiescement de l'être ; le stoïcisme n'est pas loin :

Je pouvais en venir à désirer cette jouissance, ça pouvait constituer un enjeu ; et je ne souhaitais plus connaître un enjeu quelconque. Ma vie était une forme vide, et il était préférable qu'elle le reste. Si je laissais la passion pénétrer dans mon corps, la douleur viendrait rapidement à sa suite⁵¹.

De s'être donné à autrui, Michel sait qu'il n'a connu qu'une trêve. L'ordinaire revenu, il retrouve une conscience magnifiée de sa médiocrité et du peu qu'il a à attendre de la suite des choses, sinon une augmentation de sa souffrance. Cette résolution de se faire *forme vide* est une manifestation romanesque du *pas de côté* qu'appelle « Approches du désarroi » : blessé par la société contemporaine, dans l'impossibilité éprouvée d'y être autre chose qu'un figurant, le sujet se retire du spectacle plutôt que d'en subir les contrecoups, de ne le vivre jamais que négativement. La forme vide, c'est l'homme de l'abstention, celui

⁴⁸ *Ibid.*, p. 427.

⁴⁹ *Plateforme*, p. 360.

⁵⁰ *Id.*

⁵¹ *Ibid.*, p. 367.

qui se fait un devoir d'éteindre son Moi pour ne plus le subir. Rien ne survit à l'entreprise de table rase sinon une inquiétude à l'idée de rendre l'âme, une crainte de l'inconnu⁵² qui, comme dans le cas de Daniel 1, ne concerne déjà plus l'ici-bas et ses aléas. Il n'y a plus que la peur de ce qu'il y a après, alors que l'existence courante acquiert un tour secondaire⁵³.

*

Par décrochage ontologique, il faut donc entendre une sortie de piste. Le cynisme, la hargne, l'espérance, la certitude désolée, tout sentiment témoignant d'un tenir bon ou d'une mainmise sur le cours des choses s'étiole. Au complexe funéraire, quand Bruno Clément, au bord de l'évanouissement, observe le cercueil de Christiane avant que les préposés ne le scellent, les livres, symboliquement, se referment : « Dans un état de bizarre détachement sensoriel, comme s'il flottait à quelques centimètres du sol, il vit les employés assujettir le couvercle à l'aide d'une perceuse visseuse-dévisseuse⁵⁴. » La brutalité de l'existence est omniprésente jusque dans l'évocation des outils qu'emploie l'homme, et pour l'enseignant des *Particules* le moment est venu de retourner à la clinique psychiatrique, ce qu'il fait de son plein gré, rendant des armes dont il n'a plus la force de se servir. À partir de là, s'il y a une vie après Christiane, elle n'entretient avec le monde ambiant que des rapports ténus. Sous lithium en permanence, il déserte d'une scène à l'autre la sphère du réel, entre dans un univers de substitution lui redonnant une innocence qui, aux heures lucides, ne lui est plus accessible. C'est ainsi que, pendant que leur mère agonise à leurs côtés, il expose à Michel, dépourvu d'à-propos, dissocié de la gravité de l'instant,

un scénario de film paradisiaque sur le thème de la Jérusalem nouvelle. Le film se passe dans une île entièrement peuplée par des femmes nues et des chiens de petite taille. À la suite d'une catastrophe biologique les hommes ont disparu, ainsi que la quasi-totalité des espèces animales. Le temps s'est arrêté, le climat est égal et doux ; les arbres portent des fruits toute l'année. Les

⁵² Inquiétude que l'on pourrait rapprocher de cette angoisse qui perce dans *L'étranger* de Camus quand Meursault, autrement magistral d'indifférence, veut se figurer son exécution à venir : « J'écoutais mon cœur. Je ne pouvais imaginer que ce bruit qui m'accompagnait depuis si longtemps pût jamais cesser. Je n'ai jamais eu de véritable imagination. J'essayais pourtant de me représenter une certaine seconde où le battement de ce cœur ne se prolongerait plus dans ma tête. Mais en vain. » (Albert Camus, *L'étranger*, *op. cit.*, p. 164).

⁵³ Il est intéressant de noter que la retraite du personnage, comme la sérénité qui devrait l'accompagner, sont imparfaites. S'il était un matérialiste convaincu et vivait dans l'assurance que rien ne subsiste passée la vie physique, il attendrait paisiblement la fin, mais qu'une inquiétude le tenaille nous indique qu'une part de lui résiste. Comme nous le verrons bientôt, il ne faut pas conclure trop rapidement à la mort lyrique du sujet.

⁵⁴ *Les particules élémentaires*, p. 249.

femmes sont éternellement nubiles et fraîches, les petits chiens éternellement vifs et joyeux. Les femmes se baignent et se caressent, les petits chiens jouent et folâtent autour d'elles⁵⁵.

Du décès de Christiane jusqu'au moment où le récit abandonne Bruno à sa fantaisie, l'imagination de ce dernier se débride donc en accéléré, manière de mettre à distance ce qui le heurte : le sujet a cessé de négocier avec ce qui l'entoure⁵⁶.

Alors que Bruno réagit au deuil en fuyant le concret, son demi-frère, confronté à la perte d'Annabelle, est tout à fait conscient que le très mince fil qui aurait pu le ramener dans le giron de ses semblables vient de se rompre. Il s'est approché autant qu'il le pouvait de l'amour, mais, dans la chambre d'incinération du crématorium, l'histoire s'arrête et il retourne à sa consternation naturelle : « Au moment où les flammes jaillirent des énormes brûleurs, Michel détourna la tête. Pendant environ vingt secondes, un éclat rouge persista à la périphérie de son champ visuel ; puis ce fut tout⁵⁷. » Homme de joies mathématiques, plus apte à trouver l'apaisement dans l'abstraction qu'auprès de son prochain, il est sidéré quand son être est impliqué affectivement, sommé de se positionner humainement en regard des phénomènes. Arrêtons-nous à cette scène belle de pudeur, qui raconte la dispersion des cendres d'Annabelle dans le jardin familial de ses parents :

Le soleil commençait à décroître. C'était une poussière — une poussière presque blanche. Elle se déposa doucement, comme un voile, sur la terre entre les rosiers. À ce moment on entendit, dans le lointain, la sonnerie du passage à niveau. Michel se souvint des après-midi de ses quinze ans, quand Annabelle venait l'attendre à la gare, et se serrait dans ses bras. Il regarda la terre, le soleil, les roses ; la surface élastique de l'herbe. C'était incompréhensible. L'assistance était silencieuse ; la mère d'Annabelle avait servi un vin d'honneur. Elle lui tendit un verre, le regarda dans les yeux. « Vous pouvez rester quelques jours, Michel, si vous voulez », dit-elle à voix basse. Non, il allait partir ; il allait travailler. Il ne savait rien faire d'autre. Le ciel lui parut traversé de rayons ; il se rendit compte qu'il pleurerait⁵⁸.

Ce qu'a de saisissant Djerzinski, ce n'est pas tant son insensibilité que son perpétuel état de décalage : il est celui qui ne parvient à réagir qu'en retard. Il n'a pas su danser avec

⁵⁵ *Ibid.*, p. 258. Toute la vie de Bruno s'articule bien autour de la quête d'un refuge, ou du moins de quelque chose qui le tirerait du cauchemar qui est son ordinaire. Qu'il pense pouvoir trouver ce quelque chose dans un endroit nommé le *Lieu du changement* est significatif, mais la conclusion demeure sans pitié : c'est dans le déraillement psychologique et les brumes de la médication qu'il y accède.

⁵⁶ Constatant que les médecins de Bruno lui permettent d'écrire, Michel devine aisément qu'il s'agit là d'une protection : « La plupart des psychiatres voient d'un bon œil les griffonnages de leurs patients. Non qu'ils leur attribuent une quelconque valeur thérapeutique ; mais c'est toujours une occupation, pensent-ils, ça vaut toujours mieux que de se lacérer les avant-bras à coups de rasoir. » (*Ibid.*, p. 259).

⁵⁷ *Ibid.*, p. 288.

⁵⁸ *Ibid.*, p. 288-289.

Annabelle étant adolescent, il ne s'est abandonné que quand le cancer la rongait déjà, et ses larmes tardives scellent son inaptitude. C'est à contretemps que transparait chez lui un état d'âme, lorsque la synchronie n'est plus une option ; la suite est connue. Il s'envole vers l'Irlande d'où il mène ses recherches avec un sérieux monacal, retranché et, selon divers témoins, curieusement paisible dans cet isolement. « J'ai toujours eu l'impression qu'il ne se sentait plus le moindre contact avec quoi que ce soit de vivant⁵⁹ », dira de lui Walcott, directeur du centre ayant accueilli ses expérimentations. Il devine là les signes d'une dévastation, mais sur la route de Clifden, méditant aux décompositions spectrales et séquences codantes, Djerzinski ne voit rien d'autre qu'un aboutissement prévisible. « [S]a vie entière devait conduire à ce moment⁶⁰ », à ces mois où, pur esprit, il élaborerait ses théories décisives à l'abri des sollicitations humaines, et partant de la souffrance d'un Moïse dissolvant dans cette non-participation.

Sans le rempart qu'était Christiane, Bruno bascule hors d'un réel qu'il ne peut plus supporter. Si *le monde joue à vivre derrière une glace*, c'est qu'il s'y est trop brûlé, tandis que Michel voit s'envoler dans les cendres d'Annabelle toute raison d'adhérer. Sans cette lueur qu'elle recelait, rien désormais ne le retient d'emprunter une tangente toute cérébrale, imperméable à l'agitation des hommes. Comme les sujets de *Plateforme* et de *La possibilité d'une île*, les demi-frères n'existent plus que dans l'absence. Décrochage ontologique, donc, manifestation maintes fois réitérée de cette étrangeté qu'*Extension du domaine de la lutte*, en exergue à son chapitre de clôture, capturait : « Aussi paradoxal que cela puisse paraître, il y a un chemin à parcourir, mais il n'y a pas de voyageur. Des actes sont accomplis, mais il n'y a pas d'acteur⁶¹. »

⁵⁹ *Ibid.*, p. 304.

⁶⁰ *Ibid.*, p. 289.

⁶¹ *Extension du domaine de la lutte*, p. 152. Notons que cette phrase est significativement extraite du *Sattipathuna-Sutta*, texte de mise en pratique de la méditation bouddhiste devant mener à l'extinction des souffrances physiques et morales. Nous aurons l'opportunité de revenir à cette dimension religieuse du discours au chapitre suivant, mais contentons-nous de relever pour le moment quelle désaffection traduit ce passage : l'homme s'est retiré de l'homme.

Puisqu'il y est sans y être, ne prend part qu'en apparence aux événements alors que dans les faits il est privé du pouvoir ou du vouloir, le personnage s'efface, s'inscrivant dans une généalogie d'exilés qui avant lui ont dit cette fin des émissions. Elle se perçoit dans le singulier bonheur de l'Agnès de Kundera qui, quelques heures avant de mourir, abandonne son individualité dans l'eau tiède du ruisseau, soulagée de devenir pure présence, sans qu'il lui soit nécessaire d'offrir ou de défendre son Moi. Dans les rocambolesques allées et venues du *Ferdydurke* de Gombrowicz, de Joseph Kowalski qui, étourdi par trop de messages contradictoires, affolé par les propositions et les désirs qui l'assaillent, finit par perdre pied et rejette tout en bloc, sa personne y compris. Lorsqu'il a l'impression de marcher à côté de lui-même, promenade absurde où il s'observe agir sans s'identifier, la dissociation est consommée. Il y est sans y être, frère du *Solitaire* d'Ionesco « entouré par le monde mais pas au monde⁶² », figurant interdit à l'instar du Roquentin de Sartre qui se considère existant plutôt que sujet et s'estime égal à « une pierre, une plante, un microbe⁶³ ». Bien après la nausée de ce dernier, Bruno Clément remarque qu'il aurait pu être indistinctement « un surmulot, une salière ou un champ d'énergie⁶⁴ », à la différence que le hasard en a décidé autrement et que la conscience individuelle l'écrase. Des actes sont accomplis et il en éprouve longtemps la charge avant de se redécouvrir monade et qu'en lui quelque chose ne bifurque à jamais. Que lui importent après Christiane le regard d'autrui et le miroir qu'il lui renvoie, quel intérêt à poser des gestes, à émettre des paroles puisqu'il ne fait plus que marcher vers sa mort ?

À Alger, le Meursault de Camus peut accepter ou non la promotion parisienne que lui offre son patron ou la demande en mariage de Marie ; peu lui chaut. Il aurait pu pleurer devant la dépouille de sa mère, ne pas tuer l'Arabe sur la plage brûlante de soleil. Des actes ont été accomplis, mais, devant les reproches de l'aumônier, il justifie son indifférence :

J'avais vécu de telle façon et j'aurais pu vivre de telle autre. J'avais fait ceci et je n'avais pas fait cela. Je n'avais pas fait telle chose alors que j'avais fait cette autre. Et après ? [...] Que m'importent la mort des autres, l'amour d'une mère, que m'importaient son Dieu, les vies qu'on choisit, les destins qu'on élit, puisqu'un seul destin devait m'élire moi-même et avec moi des milliards de privilégiés qui, comme lui, se disaient mes frères. Comprenait-il, comprenait-il donc ? Tout le monde était privilégié. Il n'y avait que des privilégiés⁶⁵.

⁶² Eugène Ionesco, *Le solitaire*, op. cit., p. 59.

⁶³ Jean-Paul Sartre, *La nausée*, op. cit., p. 122.

⁶⁴ *Les particules élémentaires*, p. 201.

⁶⁵ Albert Camus, *La nausée*, op. cit., p. 176-177.

Soutenant que chacun n'est que sa fin, il n'accorde guère de considération aux sentiments, aux jugements et aux émotions se déployant autour de lui. Privé d'espoir et en cela libéré de l'attente, banalisant tout dès lors que ce *tout* s'achemine vers une même destination, il n'est derrière sa logique glaciale qu'un autre existant, un humain qu'on dirait déserté, comme l'est aussi, nous l'avons vu, l'*Homme qui dort* de Perec. Muré dans sa chambre d'étudiant, ce dernier désapprend les réflexes sociaux, n'écoute plus les exhortations extérieures et coupe toute communication, œuvrant à s'annuler. Étendu sur sa banquette ou sur son lit, il contemple, fasciné, les labyrinthes que dessinent les fissures de son plafond et cette « bassine de matière plastique rose⁶⁶ » où il a mis six bas à tremper ; l'absorbe entièrement cet espace restreint et hors du temps dont l'inventaire devient toute sa réalité :

[R]ien ne reste de cette trajectoire en flèche, de ce mouvement en avant où tu as été, de tout temps, invité à reconnaître ta vie, c'est-à-dire son sens, sa vérité, sa tension [...]. Et, s'il faut un décor à ta vie, ce n'est pas la majestueuse esplanade (généralement, une spectaculaire illusion de perspective) où s'ébattent et s'envolent les enfants aux joues rebondies de l'humanité conquérante, mais, quelque effort que tu fasses, quelque illusion que tu berces encore, c'est ce boyau en soupente qui te sert de chambre, ce galetas long de deux mètres quatre-vingt-douze, large d'un mètre soixante-treize, soit un tout petit peu plus de cinq mètres carrés, cette mansarde dont tu n'as plus bougé depuis plusieurs heures, depuis plusieurs jours [...]⁶⁷

Trente ans après la parution d'*Un homme qui dort*, Michel Djerzinski passe deux semaines couché dans son lit, obnubilé à son tour par l'espace rétréci qui lui tient lieu d'horizon. Néanmoins, il est de ces télescopages qui, chez Houellebecq, imposent un second regard. Si le personnage participe d'une *généalogie de la dépossession et de l'exil*⁶⁸, l'œuvre maîtrise l'art de l'aporie. À l'instar de l'homme qui dort, Djerzinski semble s'abolir dans une vigie attentive, mais le second terme de sa réflexion engage une autre dynamique :

Pendant plusieurs jours, il contempla le radiateur situé à gauche de son lit. En saison les cannelures se remplissaient d'eau chaude, c'était un mécanisme utile et ingénieux ; mais combien de temps la société occidentale pourrait-elle subsister sans une religion quelconque⁶⁹ ?

La question, troublant la léthargie, suggère qu'il n'est jamais de repos plénier pour le sujet houellebecquien. Qu'il se fasse *décrocheur*, des indices sont là qui le montrent encore taraudé par ce qu'il faut bien nommer, de nouveau, une espérance : transcender la division

⁶⁶ Georges Perec, *Un homme, op. cit.*, p. 24.

⁶⁷ *Ibid.*, p. 23-24.

⁶⁸ Nous reprenons la belle formule de Jean-Michel Maulpoix, évoquée au chapitre 1. Elle désigne la trajectoire heurtée du sujet poétique moderne, sa disparition progressive, mais le roman, le montrent les précédents exemples, n'est pas en reste, lui qui pose également la question du vacillement de l'être et donne à voir des éclipses ontologiques.

⁶⁹ *Les particules élémentaires*, p. 162.

et la souffrance d'être. Car l'homme peut perdre le goût ou la force de résister et verser dans l'étrangeté à n'embrasser que du vide, en lui loge un phénix qui défie l'irréversible, une certaine idée de l'absolu, d'un recours à la pesanteur de sa condition. La présence du radiateur est-elle d'ailleurs si indifférente qu'elle en a l'air, l'objet ayant pour fonction de procurer de la chaleur au sujet durant les périodes froides ? À défaut de réconfort humain, le personnage peut au moins, compensation bien mince, non viable dans la durée, se réfugier près d'un calorifère.

6.5 L'aporie

Combien de temps la société occidentale pourrait-elle subsister sans religion ? Interrogation déroutante mais combien révélatrice de Djerzinski qui intellectualise ce qui ailleurs sera éprouvé, formulé sur un mode nettement plus sensible. Isolé dans sa maison, son « mausolée merdique⁷⁰ », Daniel 1, des brumes de son abattement, sent fondre le scepticisme et la dérision qu'il entretient envers le mouvement élohimite, initialement fréquenté avec réserve. C'est qu'il s'explique de mieux en mieux « la portée de la Promesse⁷¹ » qui rassemble les convertis, comprend que les rites auxquels ils participent sont un prétexte, une fenêtre à travers laquelle ils aperçoivent la possibilité scientifique de l'immortalité, et avec elle de la suppression de l'angoisse individuelle. Lorsqu'il accepte de donner son A.D.N. en vue d'une future réplique, il s'agit donc, d'une part, d'un choix raisonné, et d'autre part de l'appel d'un homme usé : et si ses successeurs pouvaient réellement échapper à « [l]'hypertrophie du moi qui saigne⁷² » ? Communiant au même rêve que les autres adhérents, il retrouve en lui, à proximité du suicide, un sentiment qui s'approche de la foi ; constamment nié, empêché, le désir d'une réconciliation continue d'obséder le sujet.

⁷⁰ *La possibilité d'une île*, p. 402.

⁷¹ *Ibid.*, p. 390.

⁷² « Au-delà de ces maisons blanches », *La poursuite du bonheur*, p. 134.

Au-delà de ces maisons blanches,
Il y a un autre univers
Quelque chose en moi se déclenche,
J'ai besoin d'un autre univers⁷³[,]

admet candidement le narrateur de *La poursuite du bonheur*. Errant entre les discothèques et les hypermarchés, il est un autre individu que l'inadéquation a transformé en spectre, que l'amour a laissé pour mort et qu'au pied du mur ravive l'hypothèse d'un dépassement. Sa parole retrouve un poulx intrigant, aussi perceptible chez l'informaticien d'*Extension*. Dans la forêt de Mazas où l'abandonne le roman, il reconnaît la faillite globale de son existence, conçoit qu'il restera celui qui ne sait susciter l'harmonie, se marier à l'ici-bas. Allongé dans une prairie, il réalise que la nature, où il était venu trouver refuge, dont il perçoit les beautés, est imprenable, au même titre que la femme, éphémère, que son métier, dont il a perdu le sens. On présumera donc du pire quant au dénouement du périple : un effacement dans l'anonymat, une mort à brève échéance, le récit s'achevant sur ce flou.

Malgré tout, avant le terminus qu'est Mazas, les déconnexions de plus en plus fréquentes de l'informaticien, bouffées oniriques loin du sens commun, font signe vers une vérité autre, témoin ce songe qui suit un dîner avec Jean-Pierre Buvet, ami curé en proie à la dérélition. Très tôt, le rêve se mue en cauchemar où se succèdent couloir d'hôpital, hangar frigorifique, figurines inquiétantes, visage fracassé, dames âgées assassinées au vilebrequin et à la scie égoïne, défilé d'images qui marquent la brutalité du monde et l'horreur d'y vivre. Justement en raison de cette chute, la scène d'ouverture n'en est que plus prenante :

Je plane au-dessus de la cathédrale de Chartres. J'ai une vision mystique au sujet de la cathédrale de Chartres. Elle semble contenir et représenter un secret — un secret ultime. Pendant ce temps des groupes de religieuses se forment dans les jardins, près des entrées latérales. Elles accueillent des vieillards et même des agonisants, leur expliquant que je vais dévoiler un secret⁷⁴.

Bien sûr, ce secret demeurera celé⁷⁵ ; il implique pourtant, du fait d'être approché, qu'un feu couve sous le deuil du sujet. La cathédrale de Chartres reconduit cette paradoxale

⁷³ *Id.*

⁷⁴ *Ibid.*, p. 141.

⁷⁵ Faible surprise quand même le curé Buvet, lors de l'entretien précédant le rêve du narrateur, avoue ne plus ressentir la Présence et douter de la révélation qui pourtant doit le justifier dans sa parole. L'ecclésiastique étant en butte au vide spirituel, comment un informaticien serait-il initié à quelque grande vérité transcendante ? L'éclipse recouvre tout.

situation du personnage qui, bien qu'il semble parvenu au terme de la débandade, au cul-de-sac définitif, remet en cause le point final. Non pas l'échec et mat de son parcours social et affectif (il le commente d'abondance), non pas le fait qu'il ne puisse plus sauver la mise (il se sait inapte, a baissé pavillon), mais l'idée que c'est bien tout, qu'il n'y aura ni après ni au-delà.

*

Quand le personnage a tiré un trait sur cette vie-ci et ne la voit plus que selon la perspective du dissocié, sous le regard du désinvesti, ses bornes persistent : il n'est qu'un organisme inscrit dans la limitation, soumis à sa finitude et impuissant, à titre personnel, à transformer la donne. Michel Djerzinski, qui connaît aussi ses heures oniriques, distingue d'ailleurs en songe ce qui maintient l'homme dans le malheur :

Il vit le conflit mental qui structurait l'espace, et sa disparition. Il vit l'espace comme une ligne très fine qui séparait deux sphères. Dans la première sphère était l'être, et la séparation ; dans la seconde sphère était le non-être, et la disparition individuelle. Calmement, sans hésiter, il se retourna et se dirigea vers la seconde sphère⁷⁶.

Le rêveur émerge sur ce, laissant en plan la précision, regagnant aussitôt le poids de ses jours matériels. Qu'il puisse s'abstraire des échanges humains, atteindre le statut d'être périphérique, il reviendra toujours, tant qu'il vivra, à sa clôture.

« Je m'éveille, et le monde retombe sur moi comme un bloc⁷⁷. »

Y a-t-il vraiment une île en marge de la lutte et des arrachements, un *secret* qui mènerait à l'échappée belle ?

⁷⁶ *Les particules élémentaires*, p. 236.

⁷⁷ « Je m'éveille, et le monde sur moi retombe comme un bloc », *Renaissance*, p. 218.

CHAPITRE 7

UN CORPS ABSOLU (LE SACRÉ ET LA SCIENCE)

7.1 La franchise de l'œil

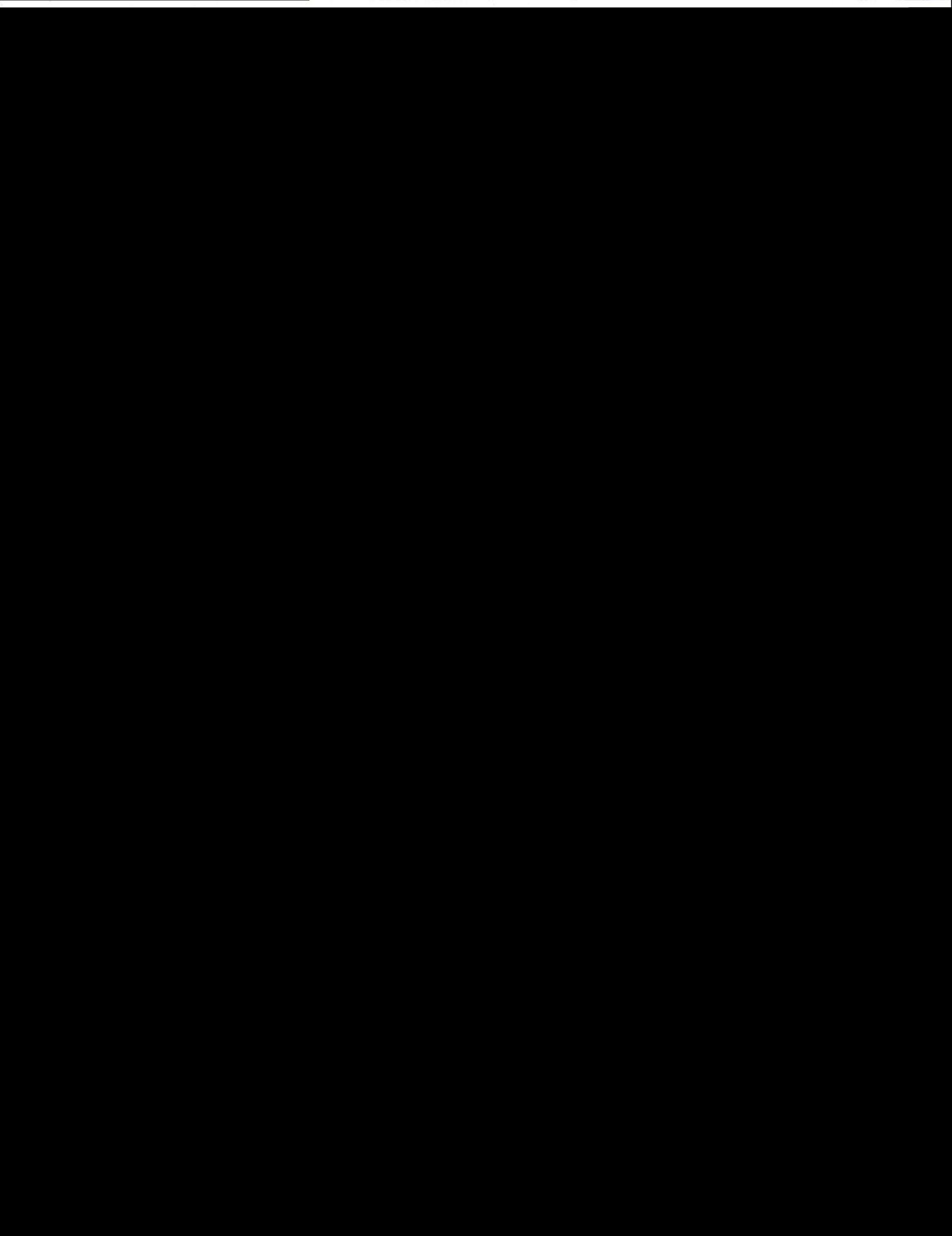
Jusqu'à présent, il est un thème que nous avons effleuré de chapitre en chapitre sans jamais lui concéder l'avant-plan, un foyer de signification qui, chez Houellebecq, révèle beaucoup plus que sa seule surface : le corps. Exploré par l'art contemporain « de manière autopsiante, radicalement objective¹ », pareillement désacralisé dans une littérature qui le représenterait crûment, tel quel, il serait réduit à sa stricte matérialité. Somme d'organes, ensemble de fonctions, il présenterait plus de parentés avec la marche d'une machine qu'avec l'incertitude humaine, ses mouvements étant enregistrés, décomptés et mesurés plutôt qu'investis émotivement, pensés selon leur charge d'être. Dans un essai intitulé *Le nouvel ordre sexuel*, Christian Authier, pensant cet éclairage brutal, voit apparaître, sous l'écheveau des discours et la multiplicité des postures qui s'en dégagent, « une nouvelle carte du Tendre sous le signe du *hard*² ». Il y inscrit l'œuvre de Houellebecq, portrait hyperréaliste de l'homme de la mondialisation libérale, radioscopie d'un suicide collectif où le vivre-ensemble et le sens de l'autre, et donc de soi, tombent en désuétude. Les corps entrent en contact, mais ne communiquent plus, se détaillent et s'évaluent sans se rejoindre, délestés de toute transcendance, trop occupés qu'ils sont à lutter contre l'outrage du temps et l'indifférenciation.

Or, pour nous qui parcourons l'œuvre en sondant le rapport du Moi au monde, le corps houellebecquien représente surtout la métaphore la plus crue d'une incapacité à en être, à imposer sa présence : il est la sépulture de l'élan lyrique, ou à tout le moins la manifestation la plus tangible de son empêchement. La libéralisation devrait accroître ses possibles et lui donner accès à l'illimitation, mais l'auteur le caractérise plutôt négativement en insistant sur ses « déféctuosités³ ». Dans les descriptions pointilleuses de

¹ Nadeije Laneyrie-Dagen, « "Le corps, lieu des plus folles angoisses" », septembre 2001, n° 298, p. 48.

² Christian Authier, *Le nouvel, op. cit.*, p. 8.

³ *Extension du domaine de la lutte*, p. 21. Il est probant de noter que l'être souffre bien de « déféctuosités », et non de défauts, ce qui suffit à le faire un peu moins homme, un peu plus machine. Nous nous tenons alors



caractéristique avec laquelle le constat est mis en scène achève de capitonner l'individu. Il ne lui est pas donné, sauf exceptions et nous savons celles-ci éphémères, de briser ce schéma que condense la chute d'*Extension* :

Le paysage est de plus en plus doux, amical, joyeux ; j'en ai mal à la peau. Je suis au centre du gouffre. Je ressens ma peau comme une frontière, et le monde extérieur comme un écrasement. L'impression de séparation est totale ; je suis désormais prisonnier en moi-même⁸.

Comment le lecteur se méprendrait-il en présence de termes si limpides ? La frontière, l'écrasement ne prêtent pas à naïveté, d'autant que la ponctuation, dont nous avons déjà évoqué la fonction constrictive au chapitre 2, martèle le malaise. Virgules et points-virgules saccadent la parole du narrateur, le rapport heurté du sujet à ce qui l'entoure imprimant sa mesure jusque dans la syntaxe du texte houellebecquien.

*

Des avanies physiques comme métaphores de la disruption, les illustrations abondent, mais un autre cap est franchi lorsque pointe une volonté d'annihilation : c'est ce qui se produit quand l'informaticien d'*Extension* s'éveille en érection dans son lit et songe à trancher son sexe à l'aide d'une paire de ciseaux. Imaginer froidement le « moignon sanguinolent⁹ », n'est-ce pas vouloir s'abstraire du cycle de la reproduction et du recommencement, rendre irréversible la sentence ? Il n'y aurait plus de *place chaude* possible ni rien passé soi-même, sinon un être stérile qui, quelques heures plus tard, caresse un nouveau dessein : « Cette fois mon projet est de prendre une paire de ciseaux, de les planter dans mes yeux et d'arracher¹⁰. » Évoqué de biais, le mythe d'Œdipe atteint dans cette version dégradée, d'un prosaïsme stupéfiant, un autre degré de violence, d'abord parce qu'au préalable le pénis était visé, ensuite dans la mesure où il ne suffit pas de se crever les yeux. Encore faut-il en rajouter et *arracher*, ce qui donne à penser que la posture diffère ici de celle du héros mythique, procédant d'une idée plus réfléchie, longuement ruminée. Alors que le désir de mutilation houellebecquien — l'exprime le « cette fois » qui

vérité : au durcissement du verbe correspond celui, amplement commenté chez Houellebecq, des relations humaines.

⁸ *Extension du domaine de la lutte*, p. 156.

⁹ *Ibid.*, p. 143.

¹⁰ *Id.*

implique une antériorité — paraît venir d'un processus de mûrissement, le geste d'Œdipe est spontané, provoqué par une prise de conscience subite de son état. N'ayant jamais su faire face à l'odieux de sa condition quand l'y invitaient pourtant les prophéties des oracles, ce dernier ne supporte pas de se découvrir parricide et incestueux et répond en se crevant les yeux. Ainsi, à l'image d'Œdipe devant le Sphinx, le personnage houellebecquien est peut-être celui devant qui aucune énigme extérieure ne tient (il démonte les rouages sociaux avec une acuité implacable, aucun événement ne résiste à son entreprise de déchiffrement), mais il se démarque du Thébain dès lors qu'il ne détourne pas le regard de sa propre histoire, en supporte la vision autant que faire se peut. Figure tragique, Œdipe déploie une sagacité sans égal, mais s'agissant de sa propre vie, il ne peut se soustraire à l'ignorance qui lui tient lieu de destin, déterminé en ce sens. Malgré sa pénétration d'esprit, il demeure celui qui n'a pas un portrait clair de son identité et de la portée de ses actes, et c'est précisément ce en quoi le sujet d'*Extension* s'en distingue. Quand le geste du roi signe l'horreur du regard qui doit enfin affronter qui il est, l'œil chez Houellebecq, lucide dès le départ, n'a jamais fait que fixer cette horreur, la contempler dans une lumière franche, aussi inadmissible soit-elle¹¹. Si le narrateur du premier roman admet s'être protégé le plus longtemps possible dans un « paradis théorique¹² » et impersonnel, dissertant plutôt que ressentant, c'est qu'il voulait repousser la montée de l'oppression et l'instant du trop-plein, non qu'il niait ou ignorait quoi que ce soit. À propos de sa condition, aucun mensonge ne tient, et la tentation de se crever les yeux est alors le symbole d'une abdication : mieux vaut quitter la clarté blessante de ce monde-ci et s'en remettre, si tant est qu'elle existe, à une réalité autre.

7.2 L'inactuel

Quand ce n'est pas de ne pas voir, mais de trop bien voir qui pose problème, la volonté de prendre son corps à parti reflète donc, au-delà d'une discordance par rapport au monde et du dégoût de soi, un désir de s'abstraire. Cas récurrent que celui du sujet qui se

¹¹ Comme nous l'avons vu au chapitre 5, il va jusqu'à soumettre l'instant de sa conception à l'examen critique : rien ne lui échappe.

¹² *Extension du domaine de la lutte*, p. 156.

fait un devoir de formuler, mais aussi de stigmatiser sa disgrâce, discours et gestes se conjuguant alors. C'est ce qui se produit entre autres chez le narrateur de *La poursuite du bonheur* qui « [s]'exerce à mourir¹³ », le physique exprimant à la fois une condition insoutenable et le fait que celle-ci doive trouver son terme ou le moyen de son dépassement. Dans cette optique, le corps n'est peut-être aussi qu'une enveloppe transitoire, ce que suggèrent, fil d'Ariane déterminant, d'aussi surprenantes que multiples références bibliques. Alors qu'Œdipe avançait sous la coupe de dieux qu'il n'entendait pas, les personnages houellebecquiens, nés dans un univers spirituellement faible, semblent revendiquer quelque chose qui tient de l'anachronisme, eux qu'apparemment personne ne guette, dont aucune instance n'observe les allées et venues. Ce n'est guère des schèmes du ciel dont ils sont captifs, mais bien de ceux d'une société dans laquelle ils se retrouvent en porte-à-faux, nauséeux. Si le domaine de la lutte peut se passer de fins supérieures, celui qui n'y cadre pas devient bientôt, plus qu'une anomalie, l'être d'un manque métaphysique, celui par lequel l'étrangeté arrive. Ainsi, alors que les héros mythologiques ne peuvent guère penser un monde sans dieux, ceux de Houellebecq ont le loisir, lorsqu'ils n'attendent plus rien du présent, d'en rêver un sans hommes.

*

Combien de temps la société occidentale pourrait-elle subsister sans religion ? Il est chose certaine fascinant de constater que le premier roman de Michel Houellebecq, *Extension du domaine de la lutte*, porte en épigraphe un extrait de l'*Épître aux Romains* de l'apôtre Paul qui met en exergue le devoir de taire les appétits terrestres, les passions qui aveuglent et détournent l'homme du chemin : « La nuit est avancée, le jour approche. Dépouillons-nous donc des œuvres des ténèbres et revêtons les armes de la lumière¹⁴. » Songer à se crever les yeux, n'est-ce pas alors vouloir se détourner des lumières triviales de

¹³ « Incapable de nostalgie », *La poursuite du bonheur*, p. 155.

¹⁴ *Extension du domaine de la lutte*, p. 5. Le passage est extrait de l'*Épître aux Romains*, XIII, 11-14, que nous reproduisons ici en mettant entre crochets les variations mineures qui tiennent à l'édition consultée et qui n'affectent en rien le sens du texte : « D'autant que vous savez en quel temps nous sommes : voici l'heure de sortir de votre sommeil ; aujourd'hui, en effet, le salut est plus près de nous qu'au moment où nous avons cru. *La nuit est avancée, le jour [est tout proche]. [Rejetons] donc les œuvres des ténèbres et revêtons les armes de la lumière.* Conduisons-nous honnêtement, comme en plein jour, sans ripailles ni beuveries, sans coucheries

l'humain dans l'attente de feux autres qui les sublimeraient et feraient de la cécité, avec un beau sens du paradoxe, un gage de voyance ? Haine de soi et désir de mutilation naissent d'une conscience exaspérée, mais ce mépris du corps a la couleur d'un moyen terme, comme si l'entreprise punitive était, derrière son masochisme de surface, un tremplin vers la transcendance. Certes, pareille attitude, évoquant par son abnégation et son rejet du temporel le discours christologique, soulève l'incrédulité : dans son ensemble, la pensée religieuse apparaît aujourd'hui rétrograde, réactionnaire parce qu'antithétique avec une civilisation héritière des Lumières qui supporte mal ce qu'elle ne peut évaluer, déchiffrer, soumettre à l'empire de sa raison. Reste cependant que le fonds culturel chrétien habite à n'en pas douter la dérégulation houellebecquienne, et c'est alors le contexte qui devient problématique, la désacralisation accélérée de l'Occident ayant eu pour effet d'appauvrir l'ascendant d'une telle parole, d'en rendre l'expression taboue. Pourtant, une interrogation à valeur spirituelle est bien en jeu chez Houellebecq, mettant l'écriture sous tension parce que créant le schisme, posant la question d'une insuffisance ontologique dans une société se donnant comme pleine, en mesure de combler tout manque, de gérer la faille. Cette interrogation s'immisce en des textes qui consignent avec rigueur le sang et l'affaissement des chairs, l'emprise des canons sociaux et le vide qui guette celui qui s'en éloigne quand libéralisme et matérialisme font foi de tout — sont la nouvelle foi. Tournant le dos à une époque qui a mis de l'avant la souveraineté du sujet et érigé son contentement en finalité de l'existence, elle retrouve souterrainement la source des Écritures et inscrit mine de rien l'œuvre de Michel Houellebecq dans une filiation qu'on ne suspecte pas d'emblée, mais qui demeure déterminante.

Nul besoin de chercher midi à quatorze heures : le récit fondateur de la Bible repose sur une fêlure, et celle-ci deviendra l'obsédant motif qui, des siècles durant, animera l'esprit chrétien. Parce qu'ils ont fait fi de l'avertissement de Dieu alors qu'ils vivaient pourtant dans un état édénique, Adam et Ève, ayant goûté au fruit de la connaissance, ont vu leur liberté nouvellement acquise, la tentation de l'individualité, se transformer en « essai funeste¹⁵ » et ouvrir sur la dislocation. Dès le moment où il accède à la conscience de soi,

ni débauches, sans querelles ni jalousies. Mais revêtez le Seigneur Jésus Christ et ne vous abandonnez pas aux préoccupations de la chair pour en satisfaire les convoitises. »

¹⁵ Selon le mot de Bossuet cité dans Claudie Vanasse, « Le corps de la possédée », mai 2001, n° 252, p. 82.

l'être découvre aussi la misère et la division, et cette erreur deviendra le boulet du croyant, la faute qu'il doit assumer et expier dans l'attente de la rédemption, du retour dans l'Unique. Les souffrances et l'ascension du Christ lui serviront de modèle, tout en jetant le discrédit sur l'existence terrestre qui constamment menace l'homme de perdition : l'idée revient, capitale, chez la majorité de ceux qui commentent la Parole ou cherchent Dieu à travers l'écriture. Quand au XVI^e siècle l'Espagnole Thérèse D'Avila, dans l'ascèse que consigne *Le château intérieur*, se rapproche de Dieu en éprouvant progressivement « le néant de notre être et l'étendue de notre misère¹⁶ », elle marque bien un désir de fuir ses limites temporelles et récuse par sa quête la bassesse de la condition humaine, nourrie par les notions de chute, d'impureté et de séparation. Cette même pensée explique encore qu'à l'âge classique, Blaise Pascal, luttant contre la faiblesse de sa nature, puisse demander à Dieu : « Rendez-moi incapable de jouir du monde¹⁷ » ; c'est, par un curieux renversement, ce qui arrivera des siècles plus tard au sujet houellebecquien. Au temps du déshéritage (de la suppression des valeurs qui fondaient jadis l'espace mental de l'individu), dans une époque qui exalte la liberté avec autant d'ardeur qu'on en mettait autrefois à s'en méfier, la faute n'est pas de jouir : c'est de ne pouvoir jouir qui est suspect et qui, à bien des égards, équivaut à une mise au ban. Désentravée de ses attaches passées (prétendant pouvoir s'en dispenser), cette société fournit aux individus qui la composent les conditions de l'exultation, l'élevant en dogme. Ce faisant, elle oublie, en valorisant la satisfaction immédiate, en éradiquant les sources de déplaisir, que la souffrance fait aussi partie de l'aventure humaine, et c'est ainsi qu'une donnée intrinsèque à notre condition se transforme en non-sens irrecevable :

Désormais, privée de ses alibis religieux, la souffrance ne signifie plus rien, elle nous encombre comme un affreux paquet de laideurs dont on ne sait que faire. [...] Tout ce qui résiste au clair pouvoir de l'entendement, à la satisfaction des sens, à la propagation du progrès prend alors le nom de souffrance : la société du bonheur proclamé devient peu à peu une société hantée par la détresse, talonnée par la peur de la mort, de la maladie, du vieillissement. Sous un masque souriant, elle flaire partout l'odeur irrespirable du désastre¹⁸.

¹⁶ Thérèse D'Avila, *Le château intérieur*, dans *Œuvres complètes. IV*, 1982 [1577], p. 111.

¹⁷ Extrait de la *Prière pour demander à Dieu le bon usage des maladies*, cité dans Roselyne Rey, *Histoire de la douleur*, 2000 [1993], p. 105.

¹⁸ Pascal Bruckner, *L'euphorie*, *op. cit.*, p. 54. En fait, il semble que nous soyons passés, en l'espace de quelques siècles, d'un extrême à un autre. Exacerbés, aussi bien le catholicisme que le tandem matérialisme \ libéralisme discriminent en monopolisant l'espace du possible, en interdisant l'écart. Certes, il existe une position médiane, qui se fait jour à l'époque de la Renaissance et qu'exprime l'humanisme d'un Montaigne. Des *Essais* se dégage un vœu de dignité, l'homme n'y étant plus une créature innocente qui aurait basculé dans la perdition, mais un sujet incarné, doté de sensibilité et de raison et en mesure de reconnaître

*

Ce désastre, l'œuvre de Houellebecq, les chapitres précédents l'auront démontré, nous y renvoie constamment, peuplée de personnages non seulement anéantis, mais doublement exclus. Comme Adam, Ève et leurs descendants, ils sont ces bannis qui errent à la recherche d'une complétude, à la différence qu'ils sont sans appui : à quoi riment autour d'eux les idées de rédemption ou de rachat ? L'idée d'une transcendance ne soulèverait qu'un vague rire condescendant à l'ère du contentement et Houellebecq expose, dans « Approches du désarroi », quel gouffre s'est ouvert sous les pieds de l'individu pendant que le christianisme était balayé :

La mort de Dieu en Occident a constitué le prélude d'un formidable feuilleton métaphysique, qui se poursuit jusqu'à nos jours. Tout historien des mentalités serait à même de reconstituer le détail des étapes ; disons pour résumer que le christianisme réussissait ce *coup de maître* de combiner la croyance farouche en l'individu [...] avec la promesse de la participation éternelle à l'Être absolu. Une fois le rêve évanoui, diverses tentatives furent faites pour promettre à l'individu un minimum d'être ; pour concilier le rêve d'être qu'il portait en lui avec l'omniprésence obsédante du devenir. Toutes ces tentatives, jusqu'à présent, ont échoué, et le malheur a continué à s'étendre¹⁹.

Houellebecq, dont l'œuvre semble par moments renouer avec cette *promesse* qu'il évoque, serait-il alors un chrétien « malgré lui », contre le déficit de sens dont il mesure l'empire et auquel ses protagonistes ne trouvent plus, humainement, de réponse ? D'avoir goûté au fruit de la connaissance, Adam et Ève ont perdu le privilège de Dieu ; d'avoir tant réfléchi à sa déchéance et exposé ce qu'elle devait à l'état d'une civilisation, l'être houellebecquien s'est aliéné les hommes, qu'il n'observe plus qu'à distance. Dans les deux cas, le savoir fracture, mais l'homme de la lutte semble s'exiler à un autre degré en invoquant l'ancien monde, manifestation ultime de son inactualité, anamnèse (littéralement : rétablissement de la mémoire) qui circonscrit un défaut de présent : il vient peut-être d'un lieu qui n'est plus accessible à l'esprit de ces temps. N'est pas fortuit, à cet égard, l'exergue du chapitre « La

l'intégralité de sa condition. Roselyne Rey pose bien ce changement de paradigme grâce auquel apparaît « un corps non plus perçu comme une simple enveloppe charnelle, rendant l'âme prisonnière et rabattant ses élans vers la fange terrestre [...], un corps non plus transfiguré dans ses souffrances par l'imitation de Jésus-Christ, ni davantage magnifié pour le plaisir et la beauté qu'il révèle, mais un corps assumé dans la vérité de ses sensations, dans son mélange de douleurs et de joies, dans son humilité quotidienne et sa médiocrité. » (Roselyne Rey, *Histoire*, *op. cit.*, p. 68). Malheureusement, ce qui est sûrement un idéal à atteindre trouve peu d'appui chez l'homme toujours prompt aux emportements et aux absolus ; le balancier contemporain, nous dit Bruckner, ne penche plus que d'un seul côté.

¹⁹ « Approches », *loc. cit.*, p. 75-76. Houellebecq souligne.

Résidence des Boucaniers » d'*Extension du domaine de la lutte*, soit cette fameuse phrase de Roland Barthes : « Tout d'un coup, il m'est devenu indifférent de ne pas être moderne²⁰. » La participation à l'époque n'étant plus possible, le *décrocheur* tente de retrouver ce que la société, tout à ses kermesses, renvoie au périmé, une autre manière d'être qui passe d'abord par une démission, la négation de ce monde-ci.

Figure répétitive du corpus, et sur laquelle les poèmes insistent tout particulièrement : celle de l'individu qui tire sa révérence au profit d'un ermitage sévère, dont le corps fait les frais et dont les mots prennent acte en mettant l'accent sur la matérialité dans ce qu'elle a de plus vulgaire. Un pénis flasque, une peau devenue viande « translucide et jaune²¹ » : l'écriture traduit ce qui subsiste quand « [l]a présence subtile, interstitielle de Dieu / [a] disparu²² », c'est-à-dire un regard catastrophé qui ne supporte plus de ne se rapporter qu'à lui-même, d'être captif de son incarnation. Entendant ses veines craquer, saignant, s'écoeurant du mouvement de ses entrailles, le personnage prend position en marquant à même sa chair cette nausée que nous évoquions : « Mes sourcils me dégoûtent. / J'en arrache une partie ; cela forme des croûtes²³. » De plus en plus directe, la description tient bien de la *monstration* dans son refus de l'euphémisme ; pensé autour de la plaie et de la suppuration, le sujet, à l'écart des enjeux sociaux, se transforme en masse souffrante, témoignage de son Moi sans résonance. Au zénith, il rampe²⁴, « scarifié²⁵ », sur le plancher de son appartement, y cherchant un objet contondant. Lorsqu'enfin il le trouve, le texte parle de lui-même :

S'il y a quelqu'un qui m'aime, sur Terre ou dans les astres,
Il devrait maintenant me faire un petit signe
Je sens s'accumuler les prémices d'un désastre,
Le rasoir dans mon bras trace un trait rectiligne²⁶.

Si nous avons observé que chez Houellebecq la matérialité du personnage est l'étalon d'un cancer collectif, le particulier menant au général et portant le malaise à

²⁰ Roland Barthes, cité dans *Extension du domaine de la lutte*, p. 106.

²¹ « Une journée avec elle », *Renaissance*, p. 22.

²² « Les immatériaux », *La poursuite du bonheur*, p. 166.

²³ « Je n'ai plus le courage de me voir dans la glace », *ibid.*, p. 148.

²⁴ Éloquente régression : la station debout n'est plus une option. *Rampant*, le sujet poursuit en quelque sorte sa déshumanisation.

²⁵ « Apaisement », *La poursuite du bonheur*, p. 158.

²⁶ « Il est vingt et une heure, l'obscurité s'installe », *ibid.*, p. 135.

l'échelle occidentale, reste que la déchirure, à la base, est intime. « *Exit* le corps fictif, rêvé ou idéalisé. Le corps dont parlent les écrivains est un corps en lutte, un corps vivant à sa mesure et vivant sa mesure comme vérité²⁷ », observe Catherine Argand à propos du statut du corps dans la littérature française contemporaine, mais quelque chose se trame ici qui donne une toute autre portée à la remarque. *Vivant sa mesure comme vérité*, le sujet qui trouve encore l'élan d'espérer *dans les astres* pousse plus loin l'angoisse et occupe une posture autrement plus complexe que sa seule situation sur l'échiquier social. Dans un environnement spirituellement faible, il se retire continûment, étranger, mortifié ; il y a là plus qu'une annulation. Suggérant que « [s]on but n'est pas dans cette vie²⁸ », il fait de sa chair le lieu d'une prise à témoin :

Je te hais, Jésus-Christ, qui m'a donné un corps
Les amitiés s'effacent, tout s'enfuit, tout va vite,
Les années glissent et passent et rien ne ressuscite,
Je n'ai pas envie de vivre et j'ai peur de la mort²⁹.

Admission tragique, véritable double contrainte, le vers final réclame une troisième voie. Harangué, le Christ est, plus que tout, espéré, mais de quoi est-il question ? Même vécus négativement, la fièvre du samedi soir et les « combat[s] de chien du désir³⁰ » demeurent des événements concevables. À l'identique, la violence des discothèques ou les enjeux d'un couple se distribuent autour d'un axe du vouloir qui ne relève pas de l'abstraction, mais dans quoi entre-t-on en changeant de régime ? Comment s'articule la parole lorsqu'elle foule une dimension qui excède l'entendement, quand la représentation force les bornes de la raison ?

7.3 Disparaître en Dieu

Catherine Tekakwitha se sauva en courant, loin de ces gens accroupis et affamés,
loin des feux, des os, des excréments, elle bondit à travers la porte,
sauta la palissade, sous la voûte des bouleaux
qui se dressaient pâles dans le clair de lune.

— Leonard Cohen, *Les perdants magnifiques*

²⁷ Catherine Argand, « Mon corps ce héros », septembre 2001, n° 298, p. 45.

²⁸ « J'ai peur de tous ces gens raisonnables et soumis », *La poursuite du bonheur*, p. 116.

²⁹ « Mon corps est comme un sac traversé de fils rouges », *ibid.*, p. 117.

³⁰ « Je traverse la ville où la nuit s'abandonne », *ibid.*, p. 149.

Que l'univers où évolue le personnage houellebecquien soit censément étanche au sentiment religieux, celui-ci y revient nonobstant, réclamant de « nouvelles latitudes³¹ » quand tout le rive à la matière. Bien sûr, le chapitre précédent nous a montré que des intermédiaires l'autorisent parfois à croire possible une forme de réconciliation ontologique ici-bas ; le prosaïsme, qui est son ordinaire, le rend toutefois à raison. « À quoi comparer Dieu ? D'abord, évidemment, à la chatte des femmes³² », soutient Michel dans *Plateforme*, oubliant momentanément que l'observation est d'emblée compromise, que la discontinuité est paradoxalement la seule chose qui unit les hommes ; à l'heure des bilans, ces dites *chattes* auront plus relevé du fantasme que donné accès à la félicité. S'il existe, comme le voudrait le poème, *un espace insécable et fécond*, il est d'un autre ordre, intérieur avant tout, affranchi des attachements communs, qui même heureux ignorent la pérennité.

Dire Dieu au temps de Houellebecq, c'est donc au premier chef formuler un appel qui opère une rupture dans la trame des misères factuelles, dérègle la « machine anecdotique³³ » du réel ; les sacs Prisunic, les néons, les hôpitaux, les circulaires Monoprix et les peep-shows deviennent secondaires pour l'œil modifié. C'est ainsi que, socialement inapte, une adolescente obèse renaît, détournée de l'humiliation journalière et gagnée par l'espérance, lorsqu'elle aperçoit « un grand Jésus, dans le lointain, [qui] boîte³⁴ » et fait écho à son calvaire personnel. Ailleurs, une scène dominicale détonne, renversant aussi la perspective. Retraçant les stations ternes du quotidien, le promeneur de *La poursuite du bonheur* dévoile soudain qu'il est claquemuré dans son appartement et qu'il tient entre ses bras une poupée gonflable. Immédiatement, son ton change, aussi péremptoire qu'inattendu, ses exclamations et ses exhortations tranchant sur la mesure usuelle :

Demain, il y aura des salades auvergnates
Dans les cafés bondés où les cadres mastiquent ;
Aujourd'hui c'est dimanche. Splendeur de Dieu, éclate !
Je viens de m'acheter une poupée en plastique

³¹ « Apaisement », *ibid.*, p. 151.

³² *Plateforme*, p. 169.

³³ « Où est mon corps subtil ? Je sens venir la nuit », *La poursuite du bonheur*, p. 123.

³⁴ « Ma sœur était très laide à l'âge de dix-sept ans », *ibid.*, p. 121.

Et je vois s'envoler des étoiles de sang,
Je vois des yeux crevés qui glissent sur les murs ;
Marie, mère de Dieu, protège mon enfant !
La nuit grimpe sur moi comme une bête impure³⁵.

À travers les *yeux crevés* est de retour la symbolique de la cécité et avec elle, derrière la fureur surréelle de la description, ce qu'il importe d'enfin voir, ce qui possiblement se découvre quand le sujet n'est plus que son intériorité. Faisant son deuil du monde matériel, le regard, passant sans préavis de la poupée à la Vierge, d'une plate hygiène sexuelle au Créateur, réclame un secours qui nous permet d'apprécier quel désaccord métaphysique est en jeu. Les êtres ne sont sans doute que ce qu'ils sont, de « furtif[s] arrangement[s] de particules élémentaires³⁶ », des *individus*³⁷ voués à la séparation et au malheur, sentence rendue de manière presque sérielle. D'où proviennent alors ces prières subites, ces étincelles qui rallument le discours et lui donnent une teinte religieuse ? L'œuvre naît bien de cette déchirure qu'elle annonce, *contre la vie* dans le sillage de Lovecraft, consacrée à circonscrire l'abject, mais s'admettant désireuse d'y remédier, de rejoindre Mary Poppins, qui peut prendre le visage de Dieu.

*

Seul dans sa chambre d'hôtel (lieu transitoire idéal : celui de l'homme qui, justement, n'a plus de lieu), le sujet balise éloquemment le rêve caressé en sourdine, le point vers lequel tend sa pensée :

Occidental, sentimental, primaire, je n'arrive pas vraiment à sympathiser avec le bouddhisme (avec ce qu'implique le bouddhisme : cette patiente étude du corps, dirigée par l'intellect ; cette étude presque scientifique du corps dans une démarche mystique et pratique). En d'autres termes je reste un romantique, émerveillé par l'idée d'envol (de pur envol, spirituel, détaché du corps). J'estime la chasteté, la sainteté, l'innocence ; je crois au don des larmes et à la prière du cœur. Le bouddhisme est plus intelligent, il est plus efficace ; il n'empêche que je ne parviens pas à y adhérer³⁸.

Preuve de la prégnance d'une culture décalée, le miracle de la montée, de l'élévation du

³⁵ « Où est mon corps subtil ? Je sens venir la nuit », *ibid.*, p. 123.

³⁶ H. P. Lovecraft, p. 17.

³⁷ Et encore nous savons que le terme « individu » pose problème chez Houellebecq, qu'il mérite bien l'italique que nous lui imposons ici tant le Moi est relativisé, voit sa singularité être diminuée, ce qu'il a de distinctif se dissout dans ses conditionnements.

³⁸ « Vendredi 11 mars. 18 H 15. Saorge », *La poursuite du bonheur*, p. 174.

Christ qui rachète le péché originel et invite l'humain à suivre ses brisées se reconnaît là en quelques lignes. Le vœu lyrique est aussi perceptible dans cette opposition entre la démarche raisonnée que propose le bouddhisme et l'intensité du rêve chrétien : manque au bouddhisme, plus posé, plus intellectuel, le caractère viscéral et exacerbé d'une parole qui voudrait s'arracher à cette vie, en dépasser les contingences. Du reste, le poème « Vendredi 11 mars. 18h15. Saorge » fait sienne, en trame de fond, une scission qui s'avère l'une des pierres de touche de la pensée chrétienne : la poésie de Houellebecq se tient dans cette fêlure capitale de la spiritualité occidentale qui veut, comme l'écrit Sean James Rose, « que la Vérité soit en dehors de la matière même de notre humanité³⁹ », de notre incarnation sans cesse exposée à la dégradation et à la mort. En souhaitant se délester des passions vulgaires qui font sa pesanteur et qui le rendent platement humain (*j'estime la chasteté, la sainteté, l'innocence*), le croyant aspire à recevoir Dieu. Se tournant vers lui, il « [a]ttend comme un embrasement⁴⁰ » et la question, de nouveau, nous soumet à l'impensable : comment représenter ce qui arrache le sujet à l'immanence, sublime sa conscience matérialiste ?

Aspirer à l'infini, c'est, selon Levinas, être animé par un désir « d'un autre ordre que celui de l'affectivité ou de l'activité hédonique où le désirable s'investit, s'atteint et s'identifie comme objet du besoin, et où l'immanence de la représentation et du monde se retrouvent⁴¹. » Interrogeant le Ciel, le sujet mendie de l'incommensurable, un rapport dont les limites lui sont inconnues. Pour celui que l'écriture quadrille, paramètre, dissèque, la transformation est importante, significative l'attente de l'*ascensio* et d'un « deuxième sauveur⁴² ». Parce qu'il aborde événements et sensations « sans réaction subjective, comme un savant observe un objet⁴³ », se fondant sur une culture du juste milieu qui vise à se garder des excès et à maîtriser par la connaissance aussi bien le corps que l'esprit, le bouddhisme est perçu comme étant plus intelligent, mais qu'importe pour celui dont l'émotion ne se dissipe pas plus que l'intuition d'une unité perdue ? Ainsi, la mélancolie qui voile l'univers houellebecquien s'explique aisément, l'œuvre étant peuplée de

³⁹ Sean James Rose, « Le corps oriental », septembre 2001, n° 298, p. 47.

⁴⁰ « Incapable de nostalgie », *La poursuite du bonheur*, p. 155.

⁴¹ Emmanuel Levinas, « Un Dieu "transcendant jusqu'à l'absence" », *Dieu, la mort et le temps*, 1993, p. 250-251.

⁴² « Avec un bruit un peu moqueur », *Renaissance*, p. 255.

⁴³ *Ibid.*, p. 101.

personnages dont rien n'étanche la soif et qui, conséquemment, languissent aux portes du désir humain comme à celles du désir divin. Sous l'emprise de ce romantisme chrétien dont il admet ne pouvoir se dissocier, l'être se condamne à ne jamais connaître de repos véritable, trouvant matière à relance jusque dans l'épuisement des possibles⁴⁴. Georges Bataille ne s'y trompait pas en affirmant qu'« [i]l n'est pas de sentiment qui jette dans l'exubérance avec plus de force que celui du néant⁴⁵. »

*

Si donc Dieu s'avère le dernier recours d'un sujet à qui plus rien d'humain ne répond, comment Michel Houellebecq le dépeint-il ? Il est d'abord défini comme une présence lumineuse qui irradie et absorbe le sujet, centre gravitationnel de tout ce qui est ; en cela, Houellebecq n'invente rien, mais réactive plutôt des motifs marquants de l'imaginaire chrétien. La description rappelle en fait le dessaisissement décrit par Sainte Thérèse, à qui l'ascèse donnait accès à des éblouissements soumettant l'âme entière. Lorsque l'homme, ayant veillé et médité plusieurs nuits durant, reçoit la grâce du ravissement, *La poursuite du bonheur* soutient « [q]u'au centre de l'espace se révèle et prend forme quelque chose qui ressemble à un soleil⁴⁶ ». Au zénith du phénomène se produit ce que la mystique nomme le mariage spirituel, une disparition de l'être en Dieu qui prend chez Houellebecq la forme d'un « point dont la contemplation prolongée conduit

⁴⁴ À l'égard de cette vie, le bouddhiste adopte un détachement que l'on pourrait, dans une certaine mesure, apparenter au *pas de côté* dont parle Houellebecq dans « Approches du désarroi ». Toutefois, le pas houellebecquien ne marque qu'une pause, les heures de *décrochage ontologique* du personnage relevant surtout d'une présence exténuée, non d'un processus étudié. Même éteint, il redoute ce qui doit suivre, exprime le besoin d'un Sens. Le redynamisant, l'hypothèse de Dieu le réinscrit en outre dans le cycle du désir et de la déception, de l'attente et du tremblement existentiel. Toute autre est la philosophie prônée par Bouddha qui, dès son premier discours, « La Roue de la Loi », invite à emprunter le seul sentier qui puisse délivrer l'être, sentier qui se situe à équidistance de deux pôles d'attraction : « Il est deux extrêmes, ô bhikkus, qui doivent être évités par un moine. Quels sont-ils ? S'attacher aux plaisirs des sens, ce qui est bas, vulgaire, terrestre, ignoble et engendre de mauvaises conséquences, et s'adonner aux mortifications, ce qui est pénible, ignoble et engendre de mauvaises conséquences. Évitant ces deux extrêmes, ô bhikkus, le Tathāgata a découvert le Chemin du Milieu qui donne la vision, la connaissance, qui conduit à la paix, à la sagesse, à l'éveil et au Nibbāna. » (Cité dans Walpola Rahula, *L'enseignement du Bouddha. D'après les textes les plus anciens*, 1978 [1961], p. 122. Notons que le terme *bhikkus* signifie moine et que le *Tathāgata* est l'un des noms de Bouddha, alors que le *Nibbāna* signifie nirvana).

⁴⁵ Georges Bataille, *L'érotisme*, op. cit., p. 78.

⁴⁶ « Le corps de l'identité absolue », *La poursuite du bonheur*, p. 171.

l'âme à un saut vers l'absolument identique⁴⁷ ». L'individualité est alors réduite en cendres, abolie par l'entrée dans une totalité qui exauce le sujet et lui permet de regagner l'Unique. Dieu monopolisant les champs de la conscience et de la sensation, devenant « le moteur de toute la vie psychique, où l'âme n'a plus le commandement d'elle-même⁴⁸ », le Moi se retrouve délayé jusqu'à ne plus constituer un concept pertinent. Tentant de définir une telle expérience, Fernand Ouellette emploie un beau néologisme, notant qu'il est impossible, sinon dans la mort, d'aller plus loin dans la « *surrection*⁴⁹ » au pouvoir de l'Autre.

En d'autres termes, la dynamique continuité/discontinuité qui fascinait Bataille, la précarité consubstantielle aux échanges humains s'estompent, et ce miracle de l'accord parfait était déjà l'objet, dans *Extension du domaine de la lutte*, d'une réflexion que le narrateur, en maison de repos à Rueil-Malmaison, livrait à sa psychologue :

Certains êtres éprouvent très tôt une effrayante impossibilité à vivre par eux-mêmes ; au fond ils ne supportent pas de voir leur propre vie en face, et de la voir en entier, sans zone d'ombre, sans arrière-plans. Leur existence est j'en conviens une exception aux lois de la nature, non seulement parce que cette fracture d'inadaptation fondamentale se produit en dehors de toute finalité génétique mais aussi en raison de l'excessive lucidité qu'elle présuppose, lucidité évidemment transcendante aux schémas perceptifs de l'existence ordinaire. Il suffit parfois de placer un autre être en face d'eux, à condition de le supposer aussi pur, aussi transparent qu'eux-mêmes, pour que cette insoutenable fracture se résolve en une aspiration lumineuse, tendue et permanente vers l'absolument inaccessible. Ainsi, alors qu'un miroir ne renvoie jour après jour que la même désespérante image, deux miroirs parallèles élaborent et construisent un réseau net et dense qui entraîne l'œil humain dans une trajectoire infinie, sans limites, infinie dans sa pureté géométrale, au-delà des souffrances et du monde⁵⁰.

De miroirs parallèles, de deux aspirations dont les cours se croisent et ne font qu'un, l'ordinaire houellebecquien ne fournit guère d'exemple, hormis celui de ces femmes qui portent en elles « la Jérusalem céleste⁵¹ », mais n'ont pas vocation à l'éternel. Fragile, la vision ne saurait s'accomplir intégralement, ainsi que ce passage lui-même le laisse entendre en conclusion, qu'en régime transcendant : l'œil ne se fixe-t-il pas *au-delà du monde* ? Alors que l'espèce, intrinsèquement, vue la métaphysique matérialiste qu'elle a faite sienne⁵², semble programmée pour l'Apocalypse à plus ou moins brève échéance, que

⁴⁷ *Ibid.*, p. 172.

⁴⁸ Louis Bordet, *Religion et mysticisme*, 1959, p. 100.

⁴⁹ Fernand Ouellette, « L'expérience mystique en son lieu au-delà de toute connaissance », mai 2001, n° 252, p. 64. Ouellette souligne, et n'hésitera pas, dans le même article, à parler d'une « dévoration ».

⁵⁰ *Extension du domaine de la lutte*, p. 146-147.

⁵¹ « Le corps de l'identité absolue », *La poursuite du bonheur*, p. 171.

⁵² Revoir, à cet effet, l'éloquent prologue des *Particules élémentaires*, qui synthétise bien ceci, ou encore, dans *Interventions*, l'essai « Approches du désarroi », cité précédemment.

l'écriture a pour toile de fond une ruminantion eschatologique quasi-constante⁵³, l'œuvre cède à la tentation de croire. Sans un horizon qui puisse venir la sublimer, quel devenir attend cette civilisation ? Romans et poèmes suggèrent que la limite soutenable est en voie d'être dépassée et l'image fait le reste. Dans « le corps de l'identité absolue⁵⁴ » que le discours voudrait cerner, même le concept de communauté retrouve une pertinence. L'homme à qui il est donné d'être admis dans ce Grand Tout n'est plus celui de la dérélition, de l'atomisation et de la lutte, mais vient plutôt « du lieu où tous nos êtres disparates marchent de front et où tout décalage est aboli⁵⁵ ». Il n'a plus à se mortifier par mépris de sa condition ou volonté de la dépasser, maintenant affranchi de ces « qui suis-je ? » et « comment être ? » qui faisaient son fardeau. Son Je gênant se métamorphose en Nous et la *stimmung*, qui n'était qu'une potentialité perdue, s'actualise, soulignant aussi, à travers cette réconciliation, ce que le sentiment a de culturel. Se découvre alors un autre visage de l'accord tant recherché, un lyrisme unifiant qui n'est plus le fait d'une sensibilité isolée, mais d'une convergence vers un idéal qui les contient tous. Le verbe se dépouille et abandonne ce qu'il avait de si cassant, n'allant plus qu'à l'essentiel, qu'à ce qui reste une fois les obstacles levés :

Peuple assoiffé de vie,
Connais ton créateur.
Je me retrouve dans la nuit :
Il bat, mon cœur⁵⁶.

⁵³ Et ce, aussi bien dans les recueils que dans les romans. « Les champs de betteraves surmontés de pylônes », poème de *La poursuite du bonheur*, annonce notamment l'imminence d'un cul-de-sac : « Un devenir douteux battait dans nos poitrines, / Comme une annonciation. / La civilisation n'était plus qu'une ruine ; / Cela nous le savions. » (p. 206) Ne croyons pas la prose en reste, quand en quelques lignes *Plateforme* tient un discours similaire : « Jusqu'au bout je resterai un enfant de l'Europe, du souci et de la honte ; je n'ai aucun message d'espérance à délivrer. Pour l'Occident je n'éprouve pas de haine, tout au plus un immense mépris. Je sais seulement que, tous autant que nous sommes, nous puons l'égoïsme, le masochisme et la mort. Nous avons créé un système dans lequel il est devenu simplement impossible de vivre ; et, de plus, nous continuons à l'exporter. » (p. 369).

⁵⁴ « Le corps de l'identité absolue », *La poursuite du bonheur*, p. 171.

⁵⁵ « Il est de moments dans la vie où l'on a presque l'impression d'entendre l'ironique froufrou du temps qui se dévide », *ibid.*, p. 170.

⁵⁶ « Peuple assoiffé de vie », *ibid.*, p. 163.

7.4 Science et mémoire d'un paradis

À toutes les étapes de notre parcours, des démentis ont toutefois commandé que nous relativisions les aveux des personnages houellebecquiens, et l'histoire se répète. Sans suggérer une chose et son contraire, ces apparentes contradictions prennent plutôt le pouls des tensions inhérentes de l'être en qui se disputent la raison et l'émotion, le regard objectif et la part sensible. S'éclaire ainsi l'antinomie de surface entre l'exaltation religieuse et ce qu'il faut bien considérer comme ses effondrements, quand les feux s'éteignent et qu'il n'y a plus rien à contempler que « [l]e cadavre vidé de la structure divine⁵⁷ » ; l'esprit méthodique, l'écriture qui dissèque et se garde d'éprouver semblent alors reprendre leurs droits. Convoqué, Dieu devient la pierre angulaire d'une conception du monde qui s'inscrit avec difficulté dans un *zeitgeist* où l'informationnel, la technicité, le scientifique ont préséance. L'attracteur qu'il représente, le sens qu'il confère au poids d'être, la promesse qu'il renferme : tout cela laisse un goût suranné à l'homme d'aujourd'hui que le culte du progrès, depuis les Lumières, a affranchi de ses idoles anciennes, vues comme des échappatoires même si des appels émus nous confirment qu'il y a manque. L'écriture arpente dès lors un espace précaire où l'existence individuelle, qui ne trouve plus de principe supérieur auquel se rapporter, en invoque et en désavoue la nécessité tout à la fois. Dans un système réputé autosuffisant, l'appétit spirituel est en somme une tumeur qui enfle dans l'intimité du sujet, un malaise inavouable.

À ce propos, Sloterdijk remarque qu'il existe une version moderne, laïcisée, de la rédemption qui ne s'inscrit pas sous le signe d'une aspiration transcendante, mais se donne comme réalisée d'emblée, disponible et donc à saisir au présent, tout au contraire du projet chrétien s'articulant dans la durée :

Aujourd'hui, les gens sont en soi libres et souverains, et basta. [...] Les rédempteurs n'ont jamais fait que nous préparer de différentes manières à la liberté. Il s'agit de faire croire qu'on l'a atteinte. C'est le sens de toutes les simulations. Là où s'achève l'histoire de la religion débute l'histoire du design. [...] L'individu souverain, toujours un pauvre cochon, mais déjà le roi de la mode⁵⁸.

⁵⁷ « Avant, mais bien avant, il y a eu des êtres », *Le sens du combat*, p. 64.

⁵⁸ Peter Sloterdijk, « Dans l'œil du cyclone religieux », *Essai d'intoxication*, op. cit., p. 126-127.

Les chapitres précédents ne nous permettent pas d'oublier que de *pauvres cochons* errent, désâchés, au cœur de la société houellebecquienne, ni d'ignorer la nuance, capitale : le sens du design et de la simulation leur fait cruellement défaut. Les grandes valeurs qui font l'épine dorsale de l'époque et les garanties d'être qu'elles dispensent leur étant inaccessibles, l'immanence faisant foi de tout, à quel saint pourraient-ils alors se vouer sans paraître démodés, hors propos ? Privé de verticalité, l'homme que dépeint Houellebecq n'est bientôt que la conscience aiguë de sa limitation et se retrouve, dans la double acception du terme, interdit. À l'écart de ses semblables, il est aussi, comme le sujet des *Pensées* de Pascal, décontenancé lorsqu'il essaie d'estimer quelle place lui échoit dans le Grand Tout, n'ayant aucune balise à laquelle se reporter :

Car enfin, qu'est-ce qu'un homme dans la nature ? Un néant à l'égard de l'infini, un tout à l'égard du néant, un milieu entre rien et tout, infiniment éloigné de comprendre les extrêmes. La fin des choses et leurs principes sont pour lui invinciblement cachés dans un secret impénétrable⁵⁹.

Y a-t-il alors moyen de vivre autrement qu'inquiet ou brisé ? Quelques personnages tirent de la réponse tout ce qu'elle a de funeste et mettent leur désenchantement au service d'un projet ambitieux : libérer l'homme de l'homme. Le rêve chrétien de la rédemption, qui justifiait le devenir et donnait au temporel le caractère d'une mission permettant au croyant de supporter la rigueur du chemin, se déplace vers un autre idéal : l'affranchissement, par manipulation génétique, des contingences humaines. L'espace insécable et fécond auquel songe l'être en prière, *Les particules élémentaires* et *La possibilité d'une île* tenteront ainsi de le faire advenir. Quand la poésie s'enfièvre, voulant reconstruire une société « [q]ui conduise à l'éternité / [c]omme l'anneau va vers la chaîne⁶⁰ », la prose, irriguée par la raison, foment son avènement. Dieu s'étant retiré, le vide s'étendant dans le sillage de cette absence, des êtres se proposent de rendre possible un monde dont disparaîtraient la déchéance physique et le besoin de distinction, racines du calvaire individuel et de la lutte, terreaux de la division et de la dessiccation collective. À la religion se substitue dès lors l'utopie scientifique, mais est-ce dire que celle-ci ne garde pas mémoire de l'appétit spirituel qui hante l'humain ?

⁵⁹ Blaise Pascal, *Pensées*, 2004 [1977], fragment 185, p. 155.

⁶⁰ « L'indifférence des falaises », *Renaissance*, p. 256.

*

Considérons de nouveau la trajectoire de Michel Djerzinski : l'éminent biologiste ne retire aucun profit personnel de sa compétence pourtant indéniable. Affichant une imperméabilité que l'on dirait à toute épreuve, il paraît immunisé contre l'agitation de ses contemporains, leurs batailles économiques et sexuelles qui recouvrent un désir de reconnaissance sociale et affective. De son enfance à sa disparition, il représente mieux que quiconque ce *décrocheur ontologique* dont nous avons parlé plus tôt. Préférant très tôt l'abstraction des équations différentielles aux jeux des camarades, placide quand les autres s'emportent, ennuyé dans le vagin des femmes, il est celui pour qui le monde, sans discontinuer, se trouve *derrière une glace* ; ce désintéret n'est-il pas trompeur ? En périphérie de ses semblables, il est cet observateur qui cogite discrètement, élaborant des théories dont l'application posthume sera le levier d'une ultime rupture métaphysique :

Les conséquences pratiques, évidemment, étaient vertigineuses : tout code génétique, quelle que soit sa complexité, pouvait être réécrit sous une forme standard, structurellement stable, inaccessible aux perturbations et aux mutations. Toute cellule pouvait donc être dotée d'une capacité infinie de répliquions successives. Toute espèce animale, aussi évoluée soit-elle, pouvait être transformée en une espèce apparentée, reproductible par clonage, et immortelle⁶¹.

L'idée rencontrera des résistances, mais la perspective de ne plus connaître l'usure, la vieillesse et la mort, d'être délivré de la souffrance physique et psychologique qui en découlent et alimentent le pathos du Moi, l'emporte graduellement. Avec les misères du corps se résorberont celles du sentiment, la peur et l'égoïsme, la solitude et l'oppression, la violence et la honte, toutes nées de la limitation humaine. Initiateur de cette espèce qui remplace dans le calme une race fatiguée, Djerzinski, son histoire nous le prouve, n'agit pourtant pas par volonté de puissance, pas plus qu'il ne pratique la science pour la science en elle-même ; un horizon de compassion fédère en sourdine ses réflexions et ses expérimentations. En Irlande, confronté au pragmatisme résolu de Walcott, chef du Centre de recherches génétiques de Galway qui accueille ses travaux, il conçoit que l'on puisse voir dans le besoin d'ontologie « une maladie infantile de l'esprit humain⁶² », et cependant sa pensée prend tout de même son essor sur les doutes et les fragilités de ses pareils, le devoir d'y remédier.

⁶¹ *Les particules élémentaires*, p. 307.

⁶² *Ibid.*, p. 300.

En fait, analytique, presque désincarné, Michel apparaît comme un pur esprit, mais que l'on gratte ce vernis et nous découvrons un scientifique qu'obsède l'innocence en allée, le processus qui, petit à petit, de flétrissure en arrachement, transforme l'espérance en amertume et cette vie en une longue déflation. Revoyons-le prostré dans son appartement, qui pleure en regardant une photo de ses années d'écolier, ébranlé par le sourire confiant qu'il affichait alors. Pensons aux émotions confuses que remuent en lui ses retrouvailles tardives avec Annabelle, mélange de réconfort, de regret et de résignation. Dans les couloirs de l'hôpital, ne lui écrit-il pas un poème très tendre pendant qu'elle se meurt ? On devine qu'une sensibilité et une spiritualité nourrissent subtilement, mais de manière cruciale, la démarche intellectuelle du chercheur⁶³. Impassible, ressentirait-il pareille urgence à modifier la donne existentielle ? Il ressemble lui aussi à ces oiseaux migrateurs dont Lakis Proguidis raconte les cercles vains, tournant autour d'une Atlantide disparue, gardant souvenance d'un paradis qui fut, ou qui aurait pu être. La *fusion sublime* n'aura pas lieu, mais elle façonne indubitablement le paysage mental du personnage, reste ce point fixe qui l'appelle, même dans le cas du si détaché Djerzinski. D'où vient sinon cette nostalgie qui sans rémission colore l'œuvre, surgissant parfois à l'insu de la prose, omniprésente dans les recueils :

Nous voulons quelque chose comme une fidélité,
Comme un enlacement de douces dépendances,
Quelque chose qui contienne et dépasse l'existence ;
Nous ne pouvons plus vivre loin de l'éternité⁶⁴.

La rencontre de deux êtres laisse parfois croire à sa recreation terrestre, mais le biologiste sait depuis longtemps que « les conditions du royaume sont fragiles⁶⁵ » ; comment entraver la dépression d'ensemble ?

Ce problème, Daniel I y fait face à sa manière dans *La possibilité d'une île*, semblant de prime abord vauté dans le confort d'un détachement cynique ; ne flairons-nous pas la moquerie lorsqu'il décide de fréquenter les Élohimites ? Néanmoins, le récit

⁶³ On notera d'ailleurs cette remarque à première vue anodine : après la disparition de Michel Djerzinski, le poème dédié à Annabelle est découvert « au milieu de la masse de notes retrouvées à Clifden » (*Les particules élémentaires*, p. 285), lieu des révélations théoriques. C'est dire que l'émotion n'est pas incompatible avec l'entreprise de Michel : elle est cette zone trouble qui, toujours sous-jacente, la stimule.

⁶⁴ « Il est vrai que ce monde où nous respirons mal », *La poursuite du bonheur*, p. 177.

⁶⁵ *Les particules élémentaires*, p. 33.

progressive suivant le dévoilement de sa vulnérabilité, et ce n'est pas hasard s'il entre en sympathie avec cette communauté d'êtres venus trouver, dans un projet scientifique pour l'essentiel similaire à celui des *Particules*, la promesse d'un monde nouveau. L'intraitable de la parole, l'apparent désinvestissement à l'égard d'autrui sont en somme, pour lui aussi, les paravents d'un désarroi inadmissible. Pour cette raison, sa rencontre avec Esther, dont il sera follement amoureux, n'est qu'un atterroissement de l'évidence, du temps qui n'a pitié de personne, du fait qu'il ne peut guère être, en raison de son physique, à cause de son âge, « le roi de la fête⁶⁶ » ; il a pu, par son sarcasme et son goût de la provocation, tenter de minimiser l'impact de cette vérité. C'est dans cet esprit que des scénarios de films comme *Broute-moi la bande de Gaza (mon gros colon juif)*, le disque *Nique les Bédouins*, les sketches mettant en vedette des naturistes néo-nazis ou des partouzeuses anorexiques se révèlent dans la durée des masques futiles, sous lesquels il ressent l'usure et la discordance, le sens unique de ses vœux : « l'amour non partagé est une hémorragie⁶⁷ ». Individualisant la souffrance, il est à même d'éprouver toute la portée de cette idée de Schopenhauer qu'il se plaît à citer : le monde n'est pas un panorama, et l'expérience personnelle de la misère affective perturbe son rapport au monde, à l'instar de Michel devant Annabelle. Cherchant à pallier la désertification qu'il ressent, Daniel 1 baisse, dirait-on, sa garde en présence des membres de l'Église élohimite, à laquelle il se joindra plus tard en acceptant de donner son ADN en échange d'une promesse d'immortalité :

Je compris alors pourquoi je n'avais jamais introduit de sectes dans mes sketches : il est facile d'ironiser sur les êtres humains, de les considérer comme des mécaniques burlesques lorsqu'ils sont, banalement, mus par la cupidité ou le désir ; lorsqu'ils donnent par contre l'impression d'être animés par une foi profonde, par quelque chose qui outrepassse l'instinct de survie, le mécanisme grippe, le rire est arrêté dans son principe⁶⁸.

Et quand le *mécanisme grippe*, c'est bien sûr qu'une redistribution des enjeux paraît possible, d'où la fascination de l'humoriste qui demeure avant tout un être biologiquement condamné, spirituellement inquiet, en quête d'une issue.

*

⁶⁶ *La possibilité d'une île*, p. 116.

⁶⁷ *Ibid.*, p. 316.

⁶⁸ *Ibid.*, p. 238.

Toute la démarche de Djerzinski est une réponse à l'état des lieux qui nous est donné dès le prologue des *Particules élémentaires* et qui s'avère également la ligne réflexive de *La possibilité d'une île* : il faut infléchir le cours d'une civilisation qui s'enlise dans la rumination et la haine paresseuse, dont les membres se croisent sans parvenir à se rejoindre, tout à leur agitation morbide. Soupeser ce que cette condition a d'endémique, et mettre en œuvre les moyens de sa suppression. S'agit-il d'eugénisme ? Des critiques ont avancé le mot, le chargeant d'associations négatives, y percevant l'ombre des despotismes et des dérives éthiques qui ébranlèrent le vingtième siècle, alors qu'à l'origine le terme n'est pas porteur de ces connotations qui l'assombriront. Selon Wesemael, la clôture des *Particules*, « apocalyptique⁶⁹ », serait avant tout révélatrice de « l'imagination déséquilibrée⁷⁰ » du chercheur ; on peut certes admettre que Houellebecq, idéologiquement, avance sur une corde raide, reconnaître la posture ambiguë de qui veut servir l'homme en organisant sa disparition. Cependant, quand Wesemael ajoute que « [l]es utopies clownesques et absurdes, inspirées des théories nietzschéennes sur le Surhomme (le clone) et de la science-fiction, ne résolvent rien d'essentiel⁷¹ », il nous semble que les motivations fondamentales du projet de Michel Djerzinski sont cavalièrement ignorées. Lorsque la sexualité n'est plus liée à la reproduction et que s'efface ainsi l'angoisse de la filiation et de la mort, lorsque le temps, jadis un discriminant sans merci, est sans enjeu et que nous est dépeinte une espèce ignorant « la tragédie et les sentiments extrêmes⁷² », comment soutenir que rien d'essentiel n'est résolu ? *La possibilité d'une île* force pareille interrogation puisque les clones, « ne vibr[ant] plus de terreur ni d'extase⁷³ », entretiennent un tout autre rapport au réel. Coupés des sources d'émotions vives, n'ayant aucun contact physique avec autrui, ils mènent une existence que l'on peut considérer comme un exercice de désapprentissage. Étudiant le passé, ils assistent « sans regret à la disparition de l'espèce⁷⁴ » dont ils retiennent principalement les déchirements et la violence intrinsèque. Aussi

⁶⁹ Sabine van Wesemael, *Michel Houellebecq, op. cit.*, p. 91. Si l'on retourne au texte, ce serait plutôt le monde tel qu'il va qui est « apocalyptique » et qui, catégorisant les individus selon des critères iniques (l'argent et la séduction), départageant le bon grain de l'ivraie suivant une compétition plus ou moins sourde, assurément sauvage dans son principe, déploie un « eugénisme » d'autant plus insidieux qu'il avance sous le manteau radieux de l'air du temps et du progrès, toujours présenté comme un bond vers l'avant.

⁷⁰ *Ibid.*, p. 92.

⁷¹ *Ibid.*, p. 186.

⁷² *Les particules élémentaires*, p. 156.

⁷³ *La possibilité d'une île*, p. 11.

⁷⁴ *Ibid.*, p. 26.

éloignés du rire que des larmes, entraînés à éteindre en eux passions et pulsions, ils ne connaissent des ancêtres que les témoignages négatifs et les derniers survivants qu'il leur est permis d'apercevoir à distance, hordes barbares et malades. À l'attention du clone est donc soumis le pire de l'humain, sa part torturée et les excès auxquels le pousse l'instinct de survie, tableau affligeant qui accentue l'écart entre une race qui disparaît et les néo-humains qui, en sagesse, semblent la surpasser. Les visions futuristes des *Particules élémentaires* et de *La possibilité d'une île* se présentant alors comme des ruptures radicales, des processus de délivrance et d'apaisement, peut-on en diminuer la portée ou en détourner le propos sous des prétextes moraux sans dénaturer l'œuvre ?

7.5 Du double fond de l'utopie

Avant même que ne s'accomplissent ses desseins, Djerzinski, discutant avec Bruno à propos du *Meilleur des mondes* de Huxley, note précisément quel discrédit pèse sur toute notion d'amélioration de la race, semblant devancer les objections qui viendront. Les atrocités perpétrées par le nazisme, la conjugaison de la barbarie et d'une idéologie soi-disant progressiste ont mené à la condamnation d'office de l'eugénisme, considéré machinalement comme une menace et une attaque contre l'humanisme plutôt que d'être perçu comme ce qu'il est à la base : un moyen concret de perfectionner l'espèce et d'en apaiser les maux. Ce qui tient théoriquement du « but souhaitable⁷⁵ » est pris en grippe parce qu'ayant revêtu le masque de l'horreur, mais il importe ici de distinguer les leçons de l'Histoire de l'anticipation littéraire. De s'arrêter à l'étrangeté des propositions houellebecquiennes, au climat qui les caractérise et aux mots qui les décrivent en regard de prédécesseurs qui, comme lui, ont rêvé un monde à venir ; rien, dans l'épilogue des *Particules*, ne nous permet de croire que ce futur fait figure, pour ceux qui en sont, d'*apocalypse*.

Parcourant le roman de Huxley, le lecteur est placé devant une utopie qui se craquelle, ce qui valide les remarques de Djerzinski : l'eugénisme, lorsque perçu comme

⁷⁵ *Ibid.*, p. 159.

une atteinte à l'intégrité individuelle, est un péril à dénoncer. L'organigramme social du *Meilleur des mondes* est pourtant fondé de façon telle que chacun devrait y trouver le bonheur, programmé pour qu'il ne puisse en être autrement. Dans les laboratoires de Notre Ford, des êtres sont créés de toutes pièces : des éprouvettes où ils sont conçus suivant des manipulations chimiques qui les font d'un type social précis jusqu'aux salles d'éducation où ils sont entraînés, par hypnose, à aimer leur condition et à s'y conformer, ils sont les filles et les fils d'un système inaliénable qui annihile méthodiquement le sujet. Physiquement, mentalement, tout en eux, des pensées aux réactions, est étroitement planifié, si bien qu'est érigée une communauté lisse et hiérarchisée au sein de laquelle chacun, satisfait, occupe une fonction prédéterminée et jouit de privilèges adaptés à son état, selon une logique du contentement adapté. La plus infime angoisse assaille l'individu ? Le soma, une drogue régulant la félicité, une panacée qui empêche les excès émotifs, est à portée. La morosité s'installe ? Le SPV (Succédané de Passion Violente) vient à la rescousse, dispensant une dose de sensations fortes, mais expurgées de tout danger. Ce Londres imaginaire serait-il donc un idéal à atteindre ?

Dans la « Préface nouvelle de l'auteur », Huxley remarque que sa vision d'une « tyrannie-providence⁷⁶ » pourrait advenir plus rapidement qu'il ne l'avait anticipé quelque quinze ans plus tôt, lors de l'édition originale : « Aujourd'hui, il semble pratiquement possible que cette horreur puisse s'être abattue sur nous dans le délai d'un siècle⁷⁷. » Cette horreur, le Britannique emploie bien le mot, fonde d'ailleurs l'armature de l'œuvre : que se passe-t-il quand l'hétérodoxie des réfractaires choque le bel ensemble de la Cité ? Comment accueille-t-on la différence individuelle, l'acte singulier ? Pivot du récit, Bernard Marx devrait, comme tous les autres Alphas, caste à laquelle il appartient, prendre plaisir aux routines qui sont les siennes, participer dans la joie aux activités collectives et, par l'entremise des drogues et des divertissements que tous consomment, mâchant sa gomme à l'hormone sexuelle, consacrer ses temps libres à un bonheur balisé ; les choses se déroulent pourtant autrement. Portant « le sentiment exacerbé de son moi⁷⁸ », il est identifié par ceux

⁷⁶ Aldous Huxley, « Préface nouvelle de l'auteur », *Le meilleur des mondes*, 1971 [1946 pour la « Préface nouvelle »], p. 24.

⁷⁷ *Ibid.*, p. 23.

⁷⁸ Aldous Huxley, *Le meilleur*, *op. cit.*, p. 124. Huxley souligne.

qui l'entourent comme un paria, et les spéculations vont bon train concernant ce défaut de constitution. Erreur de laboratoire ? Tare — avoir conscience de soi, éprouver sa présence individuelle — dont l'origine ne sera pas précisée, mais qui le mène néanmoins à l'exclusion. « [I]solé, en raison du vide qui, chez lui, n'avait été comblé, en raison de sa satiété inexaucée⁷⁹ », Bernard est l'astre noir qui tranche sur la béatitude de ceux qui ont cessé de penser par eux-mêmes, pour qui tout désaccord est résolu.

Ce qu'il ressent, John, alias le Sauvage, que Bernard ramène à la civilisation à la suite d'un voyage dans les réserves, l'éprouvera avec une intensité d'autant plus remarquable qu'il arrive au *Brave New World* en provenance d'un monde encore indompté. S'attendant à connaître l'idylle parmi des êtres qu'il croit évolués, le Sauvage déçante, effrayé par « cet essaim d'identité que rien ne permet de distinguer⁸⁰ », heurté par la vision de ces gens dépourvus des transports qui à ses yeux font tout aussi bien le sel que le sens de la vie. Voyant la beauté de l'humain dans ses déchirements, réclamant « le droit d'être malheureux⁸¹ », il dénonce les conditionnements qui éradiquent l'inconfort et perturbe ainsi, à l'instar de Bernard, un système qui n'admet pas l'écart. Persécuté, il finira par se pendre, tandis que Marx sera exilé sur une île déserte où sont expédiés les esprits forts ; à travers leurs regards, *Le meilleur des mondes* devient cauchemardesque. Potentiellement génératrice de désordre, leur insatisfaction ne peut avoir cours sans être réprouvée, dans la mesure où elle est le lieu d'une scission philosophique : John et Bernard ne conçoivent pas que le monde se réduise à son immanence, à cette société qu'aucun principe supérieur ne justifie, qui se suffit et n'admet rien d'exogène. Hérétiques, leurs idées, si elles se répandaient, pourraient faire croire

que le but de la vie est quelque part au-delà, quelque part au-dehors de la sphère humaine présente, que le but de la vie n'est pas le maintien du bien-être, mais quelque renforcement, quelque accroissement de la conscience⁸².

Bien sûr, pareille proposition est antithétique avec le totalitarisme du bonheur qui organise le Londres de Huxley. Administrateur Régional Mondial de l'Europe Occidentale,

⁷⁹ *Ibid.*, p. 154.

⁸⁰ *Ibid.*, p. 352.

⁸¹ *Ibid.*, p. 357.

⁸² *Ibid.*, p. 300.

Mustapha Menier reconnaît que la passion, le doute ou la quête de sens, toutes choses qui de l'Homme excitent le désir de connaître, sont beaucoup plus attrayants qu'une joie construite et contrôlée. Cependant, la stabilité du corps social et le rendement d'une « population optima⁸³ » valent selon lui leur sacrifice. À quoi bon risquer inutilement que les hommes s'enfièvent quand ils peuvent être heureux grâce au soma, « le christianisme sans larmes⁸⁴ » ? Les récalcitrants ont forcément tort dans un système qui ne laisse rien au hasard et s'assure, en toutes ses composantes, de contenter ses membres. Atypiques, Bernard et John exposent pourtant la face cachée de l'idéal, ce pourquoi il bascule dans la dystopie : personne n'a droit d'y échapper. Si d'aucuns le souhaitent, ils apprennent que la félicité est sans envers, même si le fait qu'elle soit contestée la rend soudain toute relative.

Ce schéma se répète dans *1984* de George Orwell, alors que Winston Smith voudrait se soustraire à l'amour de Big Brother, à l'ascendant de discours qui lui parlent de fraternité et d'unisson, d'une participation euphorique au corps collectif. Entretien avec sa collègue Julia une relation clandestine, donnant libre cours à des initiatives personnelles, il s'expose à une Police de la Pensée traquant tous ceux qui vont à l'encontre des prescriptions du Parti. Parce qu'il rompt l'unanimité en se posant comme sujet, il remet en cause les fondements de l'édifice et doit en subir les conséquences. Les relations interpersonnelles, les moments de solitude, tout est soumis au regard de la Loi, qui ne supporte aucune extériorité. Des moyens dont se dotent les dirigeants de l'Océania pour asseoir, sous couvert de bonté et de justice, leur pouvoir, Smith décèle ainsi le point commun⁸⁵ : l'environnement de *1984* est celui d'un régime dictatorial, et sous le miel des discours officiels rôdent la paranoïa, la mesquinerie et la répression qui, au jour le jour, brisent la volonté des individus. Lorsqu'enfin, toute résistance étant futile, il se retrouve entre les mains des réformateurs, Winston n'a d'autre choix que de tout admettre, la

⁸³ *Ibid.*, p. 375.

⁸⁴ *Ibid.*, p. 399.

⁸⁵ Notamment un révisionnisme historique qui donne toujours raison à Big Brother, la pratique de l'autosuggestion, la culture de la délation (la surveillance de tous par tous) et un manichéisme idéologique qui, créant des ennemis à loisir, conforte les sujets dans leur appartenance. Les quatre ministères qui assurent le fonctionnement de l'Océania, simplement par l'ironie de leurs noms, en expriment d'ailleurs l'hypocrisie constitutive, le double fond. Le ministère de la Vérité travaille à la falsifier et à répandre la propagande, de la Paix à maintenir la haine de l'Autre et l'état de guerre, de l'Abondance à n'offrir que le minimum afin de justifier les conquêtes à venir et celui de l'Amour à réformer les dissidents en broyant tout ce qui existe en eux d'idiosyncrasie, de résistance.

grandeur de Big Brother et le fait que deux et deux font cinq, des crimes qu'il n'a pas commis et la faiblesse de son esprit déviant, erratique, forcément malade. Étape par étape sa réserve est systématiquement détruite, soumise à des procédés de torture physique et mentale dont nul ne sort indemne. Quand, son redressement terminé, il regagne sa liberté, c'est celle d'une épave, d'un être drainé de toute faculté critique et de toute personnalité, gavé de mots d'ordre et d'injonctions, prêt à absorber ce qui se doit de l'être. « Tout était pardonné, et son âme était blanche comme neige⁸⁶ », nous dit la finale du roman ; la détention n'a pas de fin dans cet univers qui nie les contre-allées. En définitive, l'anticipation d'Orwell, prenant appui sur un demi-siècle ayant connu sa part d'atrocités et préfigurant l'avènement d'un homme sans subjectivité, inexistant hors de l'idéologie imposée, ouvre sur l'inquiétude ontologique : « Si vous désirez une image de l'avenir, imaginez une botte piétinant un visage humain... éternellement⁸⁷. »

*

Sans partager le cadre scientifique du *Meilleur des mondes*, 1984 s'y apparente donc en raison de cette crainte : l'être sous tutelle, non pas à la triste figure mais sans figure, drone plus que « roseau pensant⁸⁸ ». L'harmonie que promettent les deux romans tient, en un sens, de la contrefaçon : elle ne s'obtient qu'au prix de la suppression des voix discordantes, d'un contrôle serré des esprits tenus sous surveillance, condamnés à l'adhésion. Incurie est donc un terme banni du vocabulaire des dirigeants de l'Océania ou du Londres de Notre Ford, mais leurs parades rhétoriques sont des écrans de fumée : ces deux sociétés sont encore sujettes à la séparation et à la division, dont les germes ne sont jamais tout à fait éradiqués. Que l'on s'y acharne à tuer dans l'œuf le sentiment individuel et que ce sentiment malgré tout refasse surface, ne pouvant se guérir que par le conditionnement, la violence ou la mise au ban, éclaire cela dit *a contrario* l'utopie houellebecquienne. Peut-on sérieusement lire les projections des *Particules élémentaires*

⁸⁶ Georges Orwell, *1984*, 1969 [1949], p. 428.

⁸⁷ *Ibid.*, p. 385-386.

⁸⁸ Blaise Pascal, *Pensées*, *op. cit.*, fragment 186, p. 161. « L'homme n'est qu'un roseau, le plus faible de la nature, mais c'est un roseau pensant. Il ne faut pas que l'univers entier s'arme pour l'écraser ; une vapeur, une goutte d'eau suffit pour le tuer. Mais quand l'univers l'écraserait, l'homme serait encore plus noble que ce qui le tue puisqu'il sait qu'il meurt et l'avantage que l'univers a sur lui, l'univers n'en sait rien. »

comme des fables sur les absolutismes, des mises en garde contre d'éventuelles dérives éthiques ?

Selon Frédéric Rouvillois, l'utopie, menée à l'extrême de sa logique, est appelée à se fissurer et à révéler sa part noire. Calquant le fonctionnement d'une machine, la Cité utopique postule, dans sa volonté de triompher de l'incertitude et du hasard, de dominer une nature instable, la nécessité de réguler ses occupants, de mettre au pas ce qui contrevient à son idéal du Même :

[L]a perfection utopique ne peut supporter le risque de la liberté : la possibilité d'une contradiction, d'une contestation de ses valeurs et de ses lois. Rêve d'échapper à la contingence, elle ne saurait tolérer le libre arbitre qui perpétuerait en son sein cette dimension aléatoire, cette scandaleuse imprévisibilité qui demeure le lot des cités imparfaites⁸⁹.

Cette version terrestre du Royaume (et donc, ce Royaume déjà dégradé, contenant en germe son effondrement) se doit de sanctionner le Mal, ce qui s'écarte de son objectif, la fin justifiant les moyens. Les châtiments seront concrets, rééduqués ou rayés les fautifs, aucune marge n'étant tolérable, aucune réalité ne devant exister à l'extérieur de la sienne. Se synthétise ainsi ce que dissimule de contestable le modèle de la Cité utopique ; par leur fascination du pire, les œuvres de Huxley et d'Orwell la poussent dans ses derniers retranchements, au seuil de l'implosion. Intervient alors Houellebecq et ce regard particulier sous lequel le pire n'est pas un horizon, mais un fait advenu, en acte, qui s'éprouve dans le quotidien des hommes. Au bout de la démonstration ne subsistent que deux fenêtres fragiles : le rêve d'un dieu désuet d'une part, celui d'une science restaurant la concordance d'autre part, et ce lyrisme inattendu qui les rapproche.

7.6 Portée du *Book of Kells*

L'utopie des *Particules élémentaires* a en effet ceci de désespérant qu'elle évacue toute astreinte et se réalise comme si elle allait de soi, tenant de la délivrance et n'ayant donc pas besoin d'opprimer pour s'instituer. Du modèle, elle retient principalement la notion d'un paradis créé par l'homme, mais ignore toutefois les rigueurs et les entraves

⁸⁹ Frédéric Rouvillois, *L'utopie*, 1998, p. 39.

usuellement liées à son avènement et à son maintien. Est dans son bon droit le lecteur heurté par l'idée de néo-humains issus des laboratoires, mais ces présupposés moraux ne concernent pas le texte qui nous parle d'une race vouée à la paix, à une félicité sans heurt ni tension qui ramène l'être à son état d'avant la Chute :

[C]e que reconstruit l'homme de l'utopie rappelle invinciblement le lieu dont son premier ancêtre fut chassé, l'espace clos du bonheur inaltérable, le jardin sans ornières, sans ronces ni serpent où s'accomplit la réconciliation avec une nature désormais obéissante⁹⁰.

Or, l'Éden génétique de Houellebecq va plus loin que le parallélisme formel (la reconstitution d'une perfection inentamable) et il faut nous arrêter au ton employé, à la façon dont le langage, nullement martial, plutôt envoûtant, colore la représentation. Les raisonnements calculés de Mustapha Menier, les vérités falsifiées de Big Brother n'ont pas lieu d'être puisque le calcul et la falsification ne sont, ici, d'aucun usage.

Dans le chapitre précédant l'épilogue des *Particules* est dressé, avant que ne soit pudiquement évoqué le suicide de Djerzinski, un bilan de l'activité intellectuelle du chercheur entre 2000 et 2009. De ce résumé chronologique de travaux qui conduiront à des résultats décisifs, une date se détache, 2005, année où le solitaire de Clifden découvre à Dublin le *Book of Kells*, manuscrit attribué à des moines irlandais que l'on date approximativement de l'an 800 et qui suscite chez ses lecteurs « des épanchements d'admiration presque extatiques⁹¹ ». Aux dires de Frédéric Hubczejak, qui sera le chef de file de la mise en œuvre du projet Djerzinski, c'est la contemplation du *Book of Kells* qui permettra au biologiste, « par le biais d'une série d'intuitions qui rétrospectivement [...] paraissent miraculeuses⁹² », de triompher des résistances méthodologiques et mathématiques auxquelles il se butait et d'achever dans la foulée la thèse qui apportera à l'homme l'immortalité physique par contrôle de son évolution.

Intuition, miracle : on ne saurait sous-estimer l'impact de tels mots, ni diminuer la portée symbolique du *Book of Kells* qui les motive. Considéré comme un chef-d'œuvre de l'enluminure médiévale, le *Leabhar Cheanannais*, de son nom irlandais, contient les quatre

⁹⁰ *Ibid.*, p. 33-34.

⁹¹ *Les particules élémentaires*, p. 300.

⁹² *Id.*

Évangiles du *Nouveau Testament*, qui s'enrichissent visuellement de motifs somptueux, d'illustrations placées par les analystes sous le signe de l'inouï. La Vierge et l'Enfant, les apôtres, le Christ à la droite du Père, sa tentation, son supplice et les figures de proue de l'iconographie chrétienne y sont représentés avec un luxe de détails inégalé, un amour manifeste qu'exprime le mariage d'un sujet élevé et de l'infiniment petit. Tout est organique dans ces noces géométriques qui n'affichent pas, selon les historiens de l'art, la moindre trace de rupture ou d'imperfection. L'étude du livre avec les instruments d'optique les plus performants dont disposent les spécialistes a ainsi permis de conclure que l'une de ses décorations, n'occupant que 2,5 cm², est faite de 158 entrelacs de rubans blancs bordés de noir et ne présente aucune fêlure visible, aucun point de disjonction. Dès lors, il n'y a pas à s'étonner de la fascination de Djerzinski en présence de l'ouvrage, lui qui a toujours été incapable d'accepter, même dans les détails les plus insignifiants du quotidien, la dislocation :

Enfant, il ne pouvait pas supporter la dégradation usuelle des objets, leur bris, leur usure. Ainsi conserva-t-il pendant des années, les réparant à l'infini, les emmaillotant de scotch, les deux morceaux brisés d'une petite règle de plastique blanc⁹³.

Anecdote banale ? Adulte, Michel Djerzinski ne supportera pas plus la société qui l'entoure et dont le *scotch*, après tout, est aussi la métaphore. Sous des dehors absents, il est, répétons-le, l'homme que travaillent l'atomisation et la faillite spirituelle de l'Occident. Constatant le déclin de la religion, il pointe bien une béance, pour peu que nous entendions de nouveau la religion suivant son étymologie, ce qui rassemble et recueille (*relegere*), ce qui relie (*religare*)⁹⁴. Partant, la surprise de le voir accéder à la révélation au contact du *Book of Kells* en est-elle vraiment une ? L'essence du christianisme s'y retrouve, consignée sur des pages d'un autre temps, sur un papier si fragile que l'évangélaire est tenu sous verre à Dublin, bel artefact d'un message menacé, mais vivace dans le cœur de l'homme, visible dans son désir de faire corps. Djerzinski, qui a consacré sa vie au moyen d'endiguer la souffrance d'être, de « redonner un sens à la fraternité, la sympathie et l'amour⁹⁵ »,

⁹³ *Ibid.*, p. 163.

⁹⁴ Ce qui explique que certains phénomènes représentatifs de l'époque, risibles à première vue, trouveront grâce à ses yeux et à ceux de ses continuateurs, ou seront à tout le moins compréhensibles. Ainsi en est-il des sectes, mais aussi du mouvement *New Age*, « qui répondait à une réelle souffrance issue d'une dislocation physique, ontologique et sociale [...] il constituait en réalité un puissant appel à un changement de paradigme. » (*Les particules élémentaires*, p. 311).

⁹⁵ *Ibid.*, p. 299.

contemple le travail de moines qui ont consacré leur vie à la Parole et œuvré par leur art à cerner ce pouvoir d'attraction qui invite à la fraternité, à la sympathie et à l'amour. Une porte se déverrouille, comme si le don de soi trouvait une justification pendant que la résistance individuelle se perd dans les méandres de l'ouvrage. Comment décrirait-on autrement l'osmose et ses conséquences ? Ce qui est sûr, c'est que le sens de l'utopie des *Particules élémentaires* ne se dévoile que partiellement si nous faisons abstraction de ce qui l'a inspirée et de l'insistance que met la narration à l'inscrire dans une dimension religieuse. Ce n'est pas innocemment qu'est cité un commentaire datant de 1185, soit celui de Giraldus Cambrensis décrivant le *Book of Kells* et l'effet qu'il produit :

En les [les dessins et entrelacs du livre] regardant négligemment, en passant, on pourrait penser que ce ne sont que des barbouillages, plutôt que des compositions soignées. On n'y verra rien de subtil, alors que tout y est subtil. Mais si l'on prend la peine de les considérer très attentivement, de pénétrer du regard les secrets de l'art, on découvrira de telles complexités, si délicates et si subtiles, si étroitement serrées, entrelacées et nouées ensemble, et de couleurs si fraîches et si lumineuses, que l'on déclarera sans ambages que toutes ces choses doivent résulter non de l'œuvre des hommes, mais de celle des anges⁹⁶.

*

Ultime pirouette des *Particules élémentaires* : ce n'est qu'en accédant à une vision poétique du monde que Djerzinski, esprit logique, rompu à l'observable et au démontrable, découvre la clé, « en se plongeant dans cette architecture infinie de croix et de spirales⁹⁷ » qu'il voit sa pensée s'éclaircir. Il rédige alors la *Méditation sur l'entrelacement*, réflexion qui s'achève sur une envolée lyrique n'ayant plus rien à voir avec l'aridité que l'on prête au personnage :

À cela, il y a très peu de commentaires : l'amant entend l'appel de son aimée, par-delà les océans et les montagnes ; par-delà les montagnes et les océans, la mère entend l'appel de son enfant. L'amour lie, et il lie à jamais. La pratique du bien est une liaison, la pratique du mal une déliaison. La séparation est l'autre nom du mal ; c'est, également, l'autre nom du mensonge. Il n'existe en effet qu'un entrelacement magnifique, immense et réciproque⁹⁸.

Soudain, l'écriture s'emballe, délaisse la sécheresse théorique. Des enluminures du Moyen Âge à ces élans qui rompent avec l'égalité d'humeur du scientifique, une frontière est levée,

⁹⁶ *Ibid.*, p. 300-301.

⁹⁷ *Ibid.*, p. 301.

⁹⁸ *Ibid.*, p. 302. Il est possible, dans la trajectoire de Djerzinski, de lire une mise en abyme du roman. D'abord froid, dégagé, distant, Djerzinski nous est présenté sous un tout autre jour dans l'épilogue. Pareillement, l'œuvre de Houellebecq, autopsiant l'état d'une civilisation, décrivant crûment la misère affective contemporaine, fait soudain volte face le temps d'un épilogue qui baigne tout d'un éclairage nouveau.

et voilà que Michel Djerzinski, confiant d'avoir rempli sa mission, avance sur la Sky Road « en de longues promenades rêveuses ; il march[e] dans la présence du ciel⁹⁹. » S'amenuise la complexité des concepts et le sujet s'évapore, cédant la place à l'utopie réalisée de l'épilogue, à une race entrée dans le « halo de joie » dont faisait mention le prologue, s'ébrouant « à proximité immédiate de la lumière¹⁰⁰ ». Au-delà de la biologie moléculaire et de l'adjonction au récit de données de prime abord plus rébarbatives que propices au lyrisme, il y a ces phrases de Hubczejak, le mur franchi de l'objectivité :

Il n'y a pas de *silence éternel des espaces infinis*, car il n'y a en vérité ni silence, ni espace, ni vide. Le monde que nous connaissons, le monde que nous créons, le monde humain est rond, lisse, homogène et chaud comme un sein de femme¹⁰¹.

La liquidation de l'Homme tel que nous le connaissons, pensée à l'extérieur du texte, peut inquiéter le lecteur ; elle se joue pourtant ici sur ce registre apaisé, ayant plus à voir avec le ravissement que la catastrophe, l'enchantement que la purge dans sa formulation. Du *roseau pensant* les angoisses se sont dissipées, de ses malheurs la source a été tarie : l'Éden retrouvé, suggérons-nous, et rien qui ne vienne, si nous nous en tenons à l'œuvre, en entacher le portrait. *Rond, lisse, homogène et chaud comme un sein de femme* alors que l'homme d'autrefois n'accédait qu'à grand-peine à l'amour et au comblement et vivait dans le sentiment de l'incomplétude, ce monde nouveau prend sans conteste le visage de l'idéal. Des siècles auparavant, Blaise Pascal rendait compte des maux de l'être qui, incertain de sa place dans l'espace et le temps, se tournait vers le Ciel ou interrogeait le visible, mais n'atteignait jamais la quiétude : « Le silence éternel de ces espaces infinis m'effraie¹⁰². » Vaut alors d'être souligné le clin d'œil d'Hubczejak qui, en déconstruisant la proposition pascalienne, du fait d'en prendre le contrepied, redit l'accalmie descendue sur la civilisation Djerzinski. « [D]ernier hommage¹⁰³ » à l'humanité, *Les particules élémentaires* s'achève ainsi par une victoire de l'homme sur l'homme qui rétablit la *stimmung* et reconstitue, par ses propres moyens, quelque chose de l'idylle originelle.

⁹⁹ *Ibid.*, p. 303.

¹⁰⁰ *Ibid.*, p. 9.

¹⁰¹ *Ibid.*, p. 310.

¹⁰² Blaise Pascal, *Pensées*, *op. cit.*, fragment 187, p. 161.

¹⁰³ *Les particules élémentaires*, p. 317.

Sept ans plus tard, *La possibilité d'une île* amplifie l'effet de l'utopie en entrecroisant selon un principe d'alternance la narration de Daniel 1, humain meurtri, et celles de Daniel 24 et 25, ses clones entrés dans l'immortalité ; la perspective allégée de ces derniers redouble la misère et la désespérance de leur ancêtre. À une présence se brisant contre le besoin d'un sens et d'une justification qui la transcenderaient, ils opposent l'ascèse patiente de ceux qui participent à l'avènement des Futurs, ces êtres dont l'on sait finalement peu sinon qu'ils restaureront les conditions d'un bonheur illimité, d'une intermédiation désintéressée, innocente. D'ici là, les jours des néo-humains sont dévolus à la méditation, tournés qu'ils sont aussi vers une Terre promise qui permettra de tout résoudre, d'éliminer les ultimes résidus de l'individualité au profit d'une totalité vécue positivement, d'une communion inaliénable. Que sait-on des Futurs ? Qu'ils « ne sont pas des êtres, au sens où nous l'entendons¹⁰⁴ » et que parlant d'eux les clones de Daniel ne sont plus dans l'attestation objective des phénomènes, la vérité scientifique à partir de laquelle s'élabore leur attitude dédagée. « Je suis la Porte, et le Gardien de la Porte. Le successeur viendra ; il doit venir¹⁰⁵ », prétend Daniel 24, inscrivant son discours dans une dimension prophétique qui a plus à voir, dans l'effet projeté, avec les illustrations du *Book of Kells* qu'avec la connaissance pure dont il se réclame. On peut même arguer que cette connaissance n'est pas tout dans la croyance qui anime les néo-humains tant ceux-ci, voulant définir leur fonction, se présentent comme des étapes dans ce qui a les allures d'une forme de parousie. Ainsi, les enjeux génétiques n'étouffent pas la tonalité religieuse du propos, ce qui se vérifie dans les aveux désarçonnants de Daniel 25 :

[Je] regrettai l'absence de Dieu, ou d'une entité du même ordre ; j'élevai enfin mon esprit vers l'espérance en l'avènement des Futurs. Les Futurs, contrairement à nous, ne seront pas des machines, ni même véritablement des êtres séparés. Ils seront un, tout en étant multiples. Rien ne peut nous donner une image exacte de la nature des Futurs. La lumière est une, mais les rayons sont innombrables. J'ai retrouvé le sens de la Parole [...] ¹⁰⁶.

De nouveau, l'utopie sera reçue diversement selon les critères idéologiques du lecteur, mais le texte précède ces critères et se dérobe aux conclusions hâtives : où se trouve donc, en de telles lignes, la catastrophe ?

¹⁰⁴ *La possibilité d'une île*, p. 15.

¹⁰⁵ *Ibid.*, p. 71.

¹⁰⁶ *Ibid.*, p. 473.

*

Qu'il s'en remette à un ciel déconsidéré ou entreprenne de modifier génétiquement sa nature, l'individu houellebecquien est celui qui, même s'il semble à court d'issue, n'a pas tout à fait abdiqué sa nostalgie du paradis et le lyrisme qui s'y rattache. Par le recours au sacré ou à la science se précise ultimement la figure d'un être paradoxal, avisé de ses limitations sans jamais s'y résigner tout à fait, reconnaissant ce qui le nie en qualité de sujet bien que renaissant au fil de ses tourments, desséché et attendant malgré tout « le Retour de l'Humide¹⁰⁷ ».

Entre les mains de Dieu ou du laboratoire, cet être nous étonne pourtant en tenant, contre le doute ambiant, le discours de celui dont serait résolu le vertige ontologique.

On accordera au lecteur de partager un moment cette espérance.

¹⁰⁷ *Ibid.*, p. 115.

CONCLUSION L'INDÉCIDABLE

I- Éloignements (retour sur ce qui manque)

Avant même que ne s'exprime le désir d'accéder au *corps de l'identité absolue*, avant que la science ne s'offre comme substitut à ce vœu, n'oublions pas d'où vient le personnage houellebecquien qui peine à se reconnaître comme sujet, à développer le sentiment d'une consistance individuelle. La société que dépeint l'œuvre fragilise son Moi, la narration participe d'une même entreprise de découronnement, et cette concordance d'effets ne lui confère qu'une bien mince marge de manœuvre. Ainsi, dans le « Soyez abjects, vous serez vrais » de l'art poétique *Rester vivant* qui initie, en quelque sorte, l'œuvre de Michel Houellebecq, nous entendons bien, à la suite de Kristeva, que l'abject est bordé de sublime. Nous avons affaire à l'homme de l'entre-deux qui perturbe les régimes existants, à la fois interpellé et rebuté par son besoin d'une fusion, en tous les cas déchiré. Dans les rejets et aspirations qui le font, il est un espace précaire, une présence vacillante et, du fait qu'elle est sans écho, menacée d'évanouissement. Que ce soit devant ses pareils ou sa demande d'une transcendance, il reste cet observateur frontalier qui ne sait pas participer ou appartenir, une voix empêchée et ambiguë, perchée sur la lisière entre l'être et le non-être. Or, il convient peut-être, au moment de quitter cette voix, d'en retracer la trajectoire, le lieu d'où elle provient, celui qu'elle voudrait rejoindre et l'écartèlement final qui lui est réservé. Même les issues, lorsqu'elles daignent apparaître, montrent le visage de l'incertain.

*

Souvenons-nous d'abord de ce qui définit socialement le sujet : il est bien malgré lui l'homme du domaine de la lutte chez qui toute velléité lyrique se bute aux portes d'un monde qui, aussi libre se prétende-t-il, se révèle quadrillé, surdéterminé et donc antagoniste à l'expression de singularités. Le théorème fondamental de ce *domaine de la lutte* est

relativement simple, prenant le contrepied de l'idéologie de la libération des mœurs qui a marqué le second versant du XX^e siècle. Cette libération, ayant mené à une liquidation des valeurs traditionnelles qui organisaient l'ancien monde et le devenir de l'homme, a privé l'individu occidental de ses assises séculaires et ramené la société à des fondements primaires : un combat où le plus fort tire son épingle du jeu, une compétition gravitant autour de deux attracteurs principaux, soit la sexualité et l'argent. La logique qui s'installe alors n'est guère différente de celle de l'offre et de la demande, ceux qui répondent aux standards accédant à la reconnaissance, les autres errant sans recours sur le champ de bataille du désir. Houellebecq se tenant du côté des vaincus, l'œuvre avance dans le sentiment d'inadéquation et l'évidence dépressive. Cette désespérance a pourtant la particularité d'être paramétrée, de se déployer autour de critères qui la dépersonnalisent ; la défaite même s'intériorise difficilement, soumise qu'elle est à une série de chicanes, s'expliquant autour d'axiomes qui chosifient le personnage. En plus de n'être pas *dans le coup*, ce dernier est balisé, décomposable en statistiques et pourcentages, inscriptible en des palettes de profils et en des grilles indicielles dans ce qui tient d'une entreprise d'équarrissage de l'émotion et du spirituel. Fixer un pedigree, évaluer une valeur marchande, déterminer un type, autant de mesures qui contribuent à une réification de l'être, le font étalon plutôt que sujet et donc mettent en péril la notion d'individu. Défini par ces déterminations extérieures, le personnage est en outre pris en charge par un système qui, reconnaissant son désir inemployé, en fait une problématique à résoudre, une exigence à satisfaire avant de l'envisager comme une authentique douleur humaine. L'industrie pornographique, la prostitution, le tourisme sexuel, autant d'options qui dessinent un parcours fléché où l'homme n'est plus tant homme que demande à combler, trop-plein à canaliser afin de préserver l'équilibre d'ensemble.

Donnée, chiffre, catégorie, client : le sujet perd jusqu'à sa personnalité et la narration, par les stratégies qu'elle met en place, se fait complice de ce dessaisissement. Le cadre que constitue le domaine de la lutte aurait suffi à le désubliminer, mais l'écriture houellebecquienne en rajoute, multipliant les commentaires propres à ébranler le Moi. Se positionnant sciemment à la croisée des savoirs, elle en effectue une découpe objective qui le laisse exsangue, toutes les disciplines étant bonnes à convoquer lorsque vient l'heure

d'étouffer la prétention individuelle. L'Histoire est forcément une actrice importante de cette dynamique, ses flux entraînant un sujet qui se pense à l'aune d'une époque dont il est symptomatique, lui qui est « normal à 80 %¹ », *représentatif de*, interdit de démarcation. Empruntant volontiers à la sociologie et à l'ethnographie, Houellebecq se plaît d'ailleurs à faire du personnage un spécimen, les saillies émotives de ce dernier valant moins que ses traits caractéristiques. L'exceptionnel des idiosyncrasies se résorbe sous le poids d'un collectif qui transforme le Je en outil de vulgarisation des comportements, et le travail de sape ne s'arrête pas en si bon chemin. Se réclamant dès *Extension* de Claude Bernard, l'écriture traite parfois ces dits spécimens comme si elle était un laboratoire où l'être, pivot de l'expérience, ne servait ni plus ni moins qu'à vérifier des hypothèses, qu'à supporter une démonstration. Historiquement et sociologiquement conditionné, le personnage devient donc purement utilitaire aux yeux de l'expérimentateur. Enfin, le prisme de la science achève de liquider le peu de foi placée en l'idée de sujet en atteignant son confort hiérarchique, ce que Sloterdijk nomme le *narcissisme anthropologique*. Se comprennent sous cet angle les recours à l'entomologie qui renvoient l'homme à sa vulnérabilité, les parallèles zoologiques qui le rapprochent de la bête. Nonobstant ses certitudes, il n'est qu'un maillon de la chaîne alimentaire, un mortel dont la supériorité est toute relative ; qui se compare ne se console pas, au contraire, tant la narration démontre, par la comparaison, que l'animal a peu à nous envier. Demanderait-on alors au corps d'agir comme signe distinctif, de fréquentes observations le réduisent à un jeu d'atomes, à un arrangement déchiffrable de connecteurs, de synapses et de neurones, plus près de rappeler les mécanismes d'une machine que de tendre le miroir d'une personnalité. En somme, l'écriture elle-même prolonge ce que le domaine de la lutte met en place, une réduction alarmante de l'être, une mise sous tutelle du Moi qui lui retire toute envergure. Sur le contexte dans lequel se développent poèmes et romans, elle surenchérit, et c'est sous ces auspices négatifs que le personnage est sommé d'évoluer.

Comment en arriver à une concordance à soi et au monde quand le seul fait d'imposer sa présence est problématique ? Projet difficile qui a en outre contre lui une expérience pénible de l'altérité, le cheminement du sujet prenant la forme d'une série de

¹ *Extension du domaine de la lutte*, p. 32.

brisures. Placé dans le feu de l'action (reconnaissons que l'expression, dans le présent cas, a quelque chose d'emphatique : quel feu et quelle action ?), il entretient bien une espérance, mais peut-elle souffrir l'épreuve du réel ? Toute l'œuvre de Houellebecq, reposant sur ce choc entre le désir d'un embras(s)ement et la confirmation de la disjonction, pourrait se condenser autour de cette image : un homme qui essaie de jeter des passerelles dans un monde sans résonance. Tel est le sens du feu de l'action : des appels qui n'atteignent pas leur destination, une remarquable fin de non-recevoir, la vacuité de la transmission. La société comme un mur, et les gens qui la font réduits aux rôles qu'ils endossent, dont ils adoptent les codes et costumes. Pourtant, un autre palier est franchi puisque le héros houellebecquien, qu'il soit informaticien, travailleur culturel, scientifique, enseignant ou humoriste, campe sa fonction sans conviction, en proie à un sentiment d'étrangeté qui gagne du terrain, portant sur son environnement et sa propre personne l'œil du désinvesti. À l'ère de l'interconnexion et du réseautage qui garantit à chacun une multiplication des potentialités d'échange et de communication, il nourrit contradictoirement l'impression de ne relayer que du vide, de collaborer à un effritement du sens. En fait, le sentiment d'une compétence n'opère plus chez lui, n'alimente plus une nécessité intérieure : il est un écran derrière lequel se dévoilent l'inanité des gestes qui devraient permettre d'être reconnu socialement, la comédie d'une parole devenue peine perdue. Du langage de la lutte apparaît alors la déplétion émotive quand les échanges, marqués par la distanciation, s'ancrent dans le calcul et l'utilitarisme, le non compromettant. L'« effacement progressif des relations humaines² » donne ici sa pleine mesure, se manifestant à travers des dialogues qui tombent à plat, un jargon tissé de *scenarii archétypaux* et de protocoles où ne filtre plus d'humanité, un primat de la technicité et de l'efficacité sur le sensible : nul doute, dans cette veine, que l'intellection ne donne pas les résultats escomptés. Devient suspect un savoir inopérant à racheter les carences relationnelles du sujet dès lors que connaître le réel, c'est, semble-t-il, s'éloigner de ses semblables. C'est également ressentir en permanence, malgré l'aliénation, la nostalgie d'une communion, le regret de ce qui aurait pu être, mais ne sera pas. Que faire de cette soif que la société n'est pas en mesure d'étancher et qui vient de loin ?

² *Ibid.*, p. 42.

En fait, si les concepts de communauté et de partage sont inopérants, n'en a-t-il pas toujours été ainsi ? De la désaffectation sociale l'œuvre révèle la face intime en retraçant une généalogie de l'inaptitude, une succession d'engourdissements et d'arrachements qui éclairent tous les non-rapports. Quand *Rester vivant* exige de l'écrivain qu'il remonte à l'origine et en fasse apparaître le nœud de souffrance, Houellebecq se montre cohérent, la famille n'étant plus le berceau d'entrelacements futurs, ne se posant plus comme modèle de transmission. Enfant, le sujet est privé d'un centre autour duquel construire son identité, placé qu'il est sous le signe de l'erreur et de l'encombrement, ceux qui l'ont fait brillant par leur absence ou leur désintérêt. Aucun sentiment de filiation ne se développant, aucune aptitude au contact n'étant stimulée, du milieu familial émergent des êtres béants, qui n'ont pas appris à sortir d'eux-mêmes ou à accueillir leur prochain, des orphelins qui doivent affronter seuls la vie en société, sa dureté intrinsèque. Cette fêlure première dans une large mesure définit la suite des choses, d'où sa pérennité : méconnaissant les manières d'agir, les attitudes à adopter devant l'autre, l'individu peut-il offrir ce qu'il n'a pas reçu ? Nous le voyons plutôt entrer dans un continuum de dissolution, toute relation rappelant en quelque côté le stigmate initial, le manque de racines affectives. Adolescent, il se montrera paralysé ou gauche devant la perspective de l'amour, impropre au don de soi, trouble que précisera la vie adulte. Certains personnages auront à leur tour des enfants, mais ne répareront rien ce faisant : ils réécriront prévisiblement le scénario, s'avéreront inaptes à accepter leur descendance et ne sauront lui offrir cette *place chaude* qui leur a tant fait défaut. L'ensemble de l'œuvre baigne dans ce quant-à-soi crépusculaire et si des femmes quelquefois viennent irradier le discours, elles sont des exceptions, pour ne pas dire des intermèdes. Qu'elles soient la source de moments heureux, Annabelle, Christiane, Valérie, Esther, Isabelle et Véronique quittent ou meurent systématiquement, façon de répéter qu'il n'y aura pas d'échappatoire, de renvoyer plus violemment l'homme à sa solitude ontologique. Quelle issue reste-t-il alors dans le domaine de la lutte ? Aucune, et c'est pourquoi tous les personnages houellebecquiens en viennent, tôt ou tard, à décrocher. À se retirer de la mêlée, à couper les très minces fils qui les relient toujours à leurs contemporains, aux valeurs et aux impératifs qui définissent ce monde dont ils n'ont pu trouver la clé. Plus qu'un recul ou qu'une prostration temporaire, le décrochage est une sortie de piste : ne plus vouloir ni critiquer, ne plus garder mainmise sur les événements,

mais effectuer un *pas de côté* définitif, se faire, nous dit un fonctionnaire, « forme vide³ ». Cette démission devrait être la dernière, n'ouvrir sur aucun désir et sonner le glas de tout lyrisme, que ne subsiste qu'un sujet annulé, une présence fantomatique attendant la fin. Le Moi, admettant l'impossible, rendrait les armes et il n'y aurait plus qu'à tirer un trait sur la quête d'une *stimmung* et d'un sens qui, sous toutes ses coutures, apparaît compromise.

*

Cette démission *devrait* être la dernière, le Moi *rendrait* les armes ; le conditionnel est bien de mise. « Notre malheur n'atteint son plus haut point que lorsque a été envisagée, suffisamment proche, la possibilité pratique du bonheur⁴ », remarquait le narrateur des *Particules élémentaires*, et inversement on pourrait, paraphrasant Bataille, remonter en sens inverse le cours de la réflexion : peut-être n'est-il aucune sensation plus susceptible de raviver une flamme que celle de la viduité. C'est lorsque effectivement le sort semble en être jeté que la parole houellebecquienne est parcourue de soubresauts utopiques, animée d'une énergie qu'on ne la savait plus capable de déployer. Lorsque le sujet abandonne l'humanité qu'il s'éprend d'un ailleurs, entrevoit un horizon où la fusion et la plénitude ne sont plus des chimères, où l'inquiétude s'estompe et l'apaisement redevient concevable. Si la concorde est bridée ici-bas, si le Moi s'y désubstantialise, il existe *la possibilité d'une île*, d'une resublimation du discours. Certes, celui qui a décroché n'a rien du rêveur facile, marquant son retrait du monde à même son corps qu'il malmène et qui devient le mémorial de sa clôture, l'indicateur d'une lucidité intenable. Reprenant par là un motif bien chrétien (si vérité il y a, elle ne loge pas à l'enseigne de l'incarnation physique), il refuse la donne matérialiste et prononce le nom qui le fait basculer dans l'inactuel : Dieu. Un Dieu qui autorise l'essor lyrique, en qui renaissent l'indivis et l'innocence et s'abolit l'angoisse individuelle, un foyer d'émotion inédit.

Ce retour de l'espérance peut aussi prendre une forme plus raisonnée, ce que nous prouvent les démarches de Djerzinski ou des Élohimites, tentatives scientifiques de recréer

³ *Plateforme*, p. 367.

⁴ *Les particules élémentaires*, p. 245.

l'Éden en modifiant génétiquement l'homme. Immortelle, affranchie de ses limitations physiques, du devenir et de la souffrance, la nouvelle race est celle qu'aucune avanie ne peut atteindre, que sa constitution inscrit dans un état idyllique. Contrairement à tant d'anticipations qui s'annoncent paradisiaques, mais dévoilent un visage cauchemardesque, il est question chez Houellebecq d'une perfection inentamable, et de l'esprit religieux qui rôde derrière. En effet, on imagine Djerzinski essentiellement guidé par l'objectivité inflexible du biologiste, alors que c'est des Évangiles que lui viendra l'inspiration déterminante, l'intuition allant de pair avec une vision qui retrouve le sens de l'infinitude. Dans la foulée, la façon dont sont décrits les Futurs de *La possibilité d'une île* atteste d'une même poétisation du discours, non astreint à la terminologie du laboratoire. Science et foi se rejoignent donc et il est invitant de croire résolue l'impasse du sujet, de conclure à sa délivrance, mais nous parlions, pesons le mot, d'un *soubresaut*. Même au-delà de l'humanité, il appert que nous progressons dans la déchirure, des indices suggérant que la réconciliation n'est jamais que relative. Plutôt que d'une victoire ontologique du sujet, nous sommes de nouveau en présence d'un vertige et non d'une ascension, d'un lyrisme qui est tout à la fois désir et conscience critique. Ce mouvement alternatif de la parole qui n'en finit plus de chuter et de se relever, Jean-Michel Maulpoix en a bien cerné l'essence :

Le lyrisme connaît ses leurres. Il retourne l'antique puissance de célébration en puissance d'examen. Horizontal, il a en vue le proche et le semblable plutôt que les lointains. Vertical, il transporte et transmet. Oblique, il sait que toute identité est traversée par l'altérité de l'intérieur. Ni messianique, ni prophétisant, il ne vole plus vers l'Idéal ni ne prétend ouvrir les portes de la « vraie vie ». Son attention, pourtant, se concentre toujours sur ce qui manque. Il en prend soin. Il l'interroge et le presse de se dire⁵.

II- L'appel spirituel entre urgence et dérision

À l'image de Baudelaire pour qui l'on connaît son respect, Houellebecq, s'il risque l'envol, n'en est pas moins avisé de la pesanteur qui s'accroche à sa parole et qui la mine. Entrer dans un nouveau régime d'être ? Cette voix le voudrait, mais, comme celle de l'aîné, se reconnaît « cloche fêlée⁶ » ; de quelque manière, les emballements finissent par

⁵ Jean-Michel Maulpoix, « La poésie n'est pas une maladie honteuse. Pour un lyrisme critique », mars 2001, <http://www.maulpoix.net/honteuse.html> (consulté le 24 octobre 2007).

⁶ Charles Baudelaire, « La cloche fêlée », *op. cit.*, p. 96.

rendre un son mitigé, des notes de réserve, renvoyés aux engrenages désublimants de la lutte, en proie à la déflation. Possiblement existe-t-il un lieu « où la parole est chant, où la démarche est danse⁷ », cependant que le sujet, tenaillé par le doute, l'appelle plus qu'il n'y accède⁸ ; persiste chez l'être houellebecquien une faculté à transgresser par à-coups la dépression ordinaire et son aridité, des intermittences dont il ressent le double tranchant. Il y a un tragique du clair-obscur qui est le sien, perceptible dans le jeu du jour (les feux brutaux du réel) et de la nuit (l'attente ascétique d'une révélation) dont les poèmes font un usage fréquent. Le jour, c'est le triomphe d'un spectacle rébarbatif, le zéro de l'osmose entre l'individu et une Cité hostile, triviale, amplement décriée ; la nuit marque le retour du possible, la reprise d'une vigie durant ces heures où, venues délivrer un message, « les ténèbres palpitent comme de petites bouches ». Seulement, « le matin revient, sec et blanc, sans espoir⁹ », et une opposition en soi tout à fait banale illustre ce qu'il en est d'une faim qui, tout en s'exprimant, annonce son inassouvissement. Les élans spirituels ne peuvent ainsi être appréciés à leur juste valeur si n'est pas pris en compte cette prescience de l'échec qui, les fragilisant de l'intérieur, leur donne tout leur prix. Montant en chandelle puis retombant sur la terre ferme, à mi-chemin de l'altitude et de la boue, le Moi habite ce que Maulpoix nomme « l'entresol¹⁰ », se trouvant finalement, où qu'il pose son regard, *persona non grata* :

Je n'atteindrai jamais à la pleine patience
De celui qui se sent aimé dans l'éternel
Mon parcours sera bref, erratique et cruel,
Aussi loin du plaisir que de l'indifférence¹¹.

Parce qu'il n'est pas ce mécréant qu'il serait plus rassurant d'avoir à dépeindre sans zone d'ombre ou part dérobée, parce qu'il nous soumet au décalé et au difficile de sa soif, le personnage nous prend au dépourvu : tout en invoquant Dieu, il voit ce que sa foi doit à celle du charbonnier. Quand Narcisse a pris la mesure de sa petitesse, il faut encore qu'il

⁷ « Il est des moments dans la vie... », *La poursuite du bonheur*, p. 170.

⁸ Comme Vladimir et Estragon chez Beckett, il espère un Dieu qui tarde ; il jouit toutefois d'une capacité à l'imaginer qui n'est pas celle des clochards d'*En attendant Godot*. Rivés à l'événementiel et à l'anecdote, ceux-ci tuent le temps plus que le temps ne les tue, et ne sont donc pas habités par la même urgence.

⁹ « Vacances », *ibid.*, p. 130.

¹⁰ Jean-Michel Maulpoix, « La poésie », *loc. cit.* : « Lyrisme critique : habiter, bien sûr, l'entresol (puisque nous ne sommes ni des oiseaux ni des plantes) mais reprendre de l'altitude. Ne pas se résigner à la boue du n'importe quoi. [...] Marcher sur le fil de la voix. Garder la main, tenir parole. Parler juste dans l'incertain. La poésie n'est pas une maladie honteuse. »

¹¹ « La route », *La poursuite du bonheur*, p. 197.

s'inflige une blessure supplémentaire, qu'il attende un signe en sachant toutefois que tout conspire en faveur du silence. Outrepassant l'intime, il circonscrit ce faisant un enlèvement collectif, demeurant un enfant de l'Occident et de son « système dans lequel il est devenu simplement impossible de vivre¹² », le fils d'une époque roidie mais paradoxalement indisponible à l'inquiétude spirituelle :

Nos vêtements trop larges abritent des chairs grises
À peu près immobiles dans la fin de journée ;
Notre âme minuscule, à demi condamnée,
S'agite entre les plis, et puis s'immobilise¹³.

Que reste-t-il des manèges d'une écriture qui cingle vers les hauteurs, mais se montre finalement inapte à quitter l'humiliante mesure humaine ? Un sujet reclus qui multiplie les notations aigries, n'avançant plus que dans le sentiment aigu de la finitude. Quête de soi, d'une fraternité, des femmes ou de Dieu : où se situe finalement la distinction, sinon dans l'éloignement continu de celui que sa déception contraint à se retirer toujours plus de la mêlée ? La tragédie de *La poursuite du bonheur*, titre d'un recueil qui définit bien cette course entravée qui fait l'œuvre, c'est exactement de s'avouer poursuite, de ne pouvoir cesser d'appeler la communion cependant que s'accumulent les témoignages de l'impossible. Entre ses effondrements et sa résilience improbable, cette écriture des décombres, en mal d'une maison de l'être, est un précis de dualité, et d'autant plus quand nous prenons le pouls de la dérision qui l'accompagne.

*

La démarche permettant à Thérèse D'Avila d'accéder à un ordre supérieur comporte sa part de souffrances, mais l'investissement implique un investissement et une réponse. *Dévorante*, dirait Fernand Ouellette, l'expérience accapare la conscience, abolit en son point culminant toute extériorité : l'alliance monopolise l'entièreté de l'être. C'est un phénomène similaire auquel le lecteur est convié quand la parole huellebecquienne semble se fondre dans *le corps de l'identité absolue*, mais que dire de l'ironie qu'elle laisse malgré tout entendre et de la confrontation qui en découle ? Tout juste avant d'invoquer cet espace

¹² *Plateforme*, p. 369.

¹³ « La disparition », *La poursuite du bonheur*, p. 204.

transcendant duquel « émanent la joie, la lumière et le bien¹⁴ », le narrateur de *La poursuite du bonheur* se trouve dans un bar, enclave pittoresque, congrégation de solitudes et d'usures diverses. S'y tiennent des vieillards qu'il dénombre non sans dédain, s'y agite un tenancier, et il n'en faut guère plus pour qu'il tire du tableau un sarcasme aigre-doux qui, d'avance, vient saboter tout transport :

J'ai compté. Il y en a douze. Comme les apôtres. Et le garçon de café serait-il censé figurer le Christ ? Et si je m'achetais un tee-shirt « Jésus »¹⁵ ?

Il y a des lunes que le sujet pose sur ses fièvres un regard circonspect, infirme ses engouements — que ces fièvres touchent ici au céleste semble sans effet. Dans ses efforts de liaison, dans sa volonté de rejoindre un univers à la Mary Poppins, il y a des lunes qu'il se bute à une lourdeur sans remède ; repose sur cette tension le discours d'un automobiliste filant à vive allure sur l'autoroute germanique. Roulant en direction de Francfort, il se sent disposé à rencontrer des frères avec lesquels il philosopherait sur le sens de la vie « entre deux saucisses », fredonne des hymnes parmi les camions « transport[ant] des viandes¹⁶ », enthousiasme qui rend le lecteur mi-figue mi-raisin, car comment gérer le contraste ? Sens de la vie et saucisses, hymnes et viandes, même culture de l'inconciliable, même cynisme qui irrigue et tempère l'écriture, sans offrir de solution à la déréliction.

« Surtout pour le principe, de temps en temps, on rit¹⁷ », certes, mais ce rire *pour le principe*, foncièrement insincère dans ce qu'il a de formel, n'a pas vocation réparatrice. Aucun personnage n'en fournit meilleur exemple que Daniel I qui, dans *La possibilité d'une île*, disserte d'abondance sur l'inanité de son métier, un faux-fuyant qu'il estime délétère parce qu'il n'appelle pas l'avenir ni n'exhause le présent. Avant lui, dans *Les particules élémentaires*, Walcott, directeur du Centre de recherches génétiques de Galway, exposait à Djerzinski semblable méfiance :

L'humour ne sauve pas ; l'humour ne sert en définitive à peu près à rien. On peut envisager les événements de la vie avec humour pendant des années, dans certains cas on peut adopter une attitude humoristique pratiquement jusqu'à la fin ; mais en définitive la vie vous brise le cœur. Quelles que soient les qualités de courage, de sang-froid et d'humour qu'on a pu développer tout au long de sa vie, on finit toujours par avoir le cœur brisé. Alors, on arrête de rire. Au bout

¹⁴ « Le corps de l'identité absolue », *ibid.*, p. 173.

¹⁵ « Mercredi. Mayence-Vallée du Rhin-Coblence », *ibid.*, p. 169. Houellebecq souligne.

¹⁶ « J'étais seul au volant de ma Peugeot 104 », *ibid.*, p. 125-126.

¹⁷ « Une vie, petite », *ibid.*, p. 118.

du compte, il n'y a plus que la solitude, le froid et le silence. Au bout du compte, il n'y a plus que la mort¹⁸.

Le second degré, la raillerie, la dérision peuvent donc rendre temporairement supportable le réel, mais ils ne l'infléchissent nullement et ont fonction première, dans le présent cas, de fracturer le discours, d'y introduire un scepticisme que l'on souhaitait disparu.

Héautontimorouménos : mot grec signifiant « le bourreau de soi-même » par lequel Baudelaire exprimait la posture de celui qui, ironisant, se moquant du monde et de la place qu'il y occupe, admet l'échec d'une telle attitude. Il n'est en fait qu'un « de ces grands abandonnés / [a]u rire éternel condamnés » et qui, paradoxalement, « ne peuvent plus sourire¹⁹ », image dont pourrait user le sujet houellebecquien. Ce dernier ressemble, à bien des égards, à cet Héautontimorouménos, espérant et mettant à sac son espérance, voulant dépasser cette fange à laquelle son verbe, sardonique, le rappelle.

*

Lorsque Daniel 1 adhère à la promesse élohimate et s'avoue saisi d'un « intense désir de disparaître, de [s]e fondre dans un néant lumineux, actif, vibrant de potentialités perpétuelles », ému à l'idée que ceux qui viendront après lui n'auront plus à porter le fardeau du Moi, ses observations grinçantes ont pourtant laissé au lecteur une impression trop forte pour être totalement évacuée. Sa foi s'impose, et cependant elle a pour contrepartie des remarques qui cherchent noise à tout excès d'enthousiasme, à commencer par le portrait qui nous est donné du prophète élohimate, stratège qui concilie avec flair la science, le sacré et l'hédonisme, s'entoure d'un « kitsch érotique plaisant, un peu fadasse, préraphaélite option gros seins²⁰ » et apparaît, loin des projecteurs, « vêtu d'un jean et d'un tee-shirt "Lick my balls"²¹ ». Double discours, regard ambivalent de Daniel 1 ? Il embrasse la pensée élohimate et sa charge religieuse au point d'être transporté, lors d'un rituel du groupe, par « une authentique émotion collective²² », mais conserve sa méfiance à l'égard

¹⁸ *Les particules élémentaires*, p. 291.

¹⁹ Charles Baudelaire, « L'Héautontimorouménos », *op. cit.*, p. 103.

²⁰ *La possibilité d'une île*, p. 128.

²¹ *Ibid.*, p. 129.

²² *Ibid.*, p. 254.

des hommes dont il est toujours prompt à relever les travers et les misères, ce pourquoi ils méritent de disparaître et à quoi il ne fait pas exception. Sensible au rêve de sublimer la médiocrité de l'espèce, Daniel peut alors céder au désir d'entrevoir « la clairière des anges²³ », il reste obstinément « une sorte de vieil espion de l'humanité²⁴ » qui se garde de perdre la juste mesure, recensant l'insupportable, consignait le dérisoire. En découle une joie qui demeure lestée, mitoyenne, située dans cet espace flou où se croisent la volonté sincère d'espérer et la pesanteur du présent.

*

Sorti acheter un pain aux raisins, l'informaticien d'*Extension du domaine de la lutte* y va de ce constat : « La journée était douce, mais un peu triste, comme souvent le dimanche à Paris, surtout quand on ne croit pas en Dieu²⁵. » Surtout quand on voudrait y croire, est-on tenté de nuancer, mais que nous hante cette incurable distance critique du regard qui, entre ciel et terre, un œil sur l'absolu et l'autre mauvais, demeure irrésolu.

III- Des clones, leur pitié, la mélancolie

Si cette irrésolution ne contaminait que l'élan religieux, si nous avions le loisir de nous en remettre, l'esprit tranquille, aux propositions de la science, à la délivrance qu'elle promet ; pour peu que nous poursuivions l'examen, rien n'est moins sûr. Rêve invitant qu'initie Djerzinski dans *Les particules élémentaires*, que reformulent autour de paramètres sensiblement identiques les chercheurs élohimites de *La possibilité d'une île* : soustraire l'espèce à cette clôture physique qui fait aussi ses bornes mentales, la misère tous azimuts de l'homme. Là où dans un premier temps le bât blesse, cependant, où notre quiétude, une fois de plus, est trompée, c'est que le prologue et l'épilogue des *Particules élémentaires* forment un observatoire placé après notre civilisation. Le procédé est retors puisque le narrateur, venant d'un futur idyllique, fait l'autopsie d'un monde à toutes fins pratiques

²³ *Ibid.*, p. 155.

²⁴ *Ibid.*, p. 275.

²⁵ *Extension du domaine de la lutte*, p. 126.

révolu. Ainsi réduits au statut de vestiges, les protagonistes, scrutés à la loupe, n'enfilent qu'avec plus d'à-propos les habits du fissuré et de l'irréparable. On pensera alors à *Demain les chiens* de l'Américain Clifford Simak, influence avouée de Houellebecq, suite de huit récits que « racontent les Chiens quand le feu brûle clair dans l'âtre et que le vent souffle du nord²⁶ ». Située dans un avenir lointain, l'œuvre de Simak raconte les tribulations d'une société canine parvenue à un degré de paix et d'harmonie inédit. Surtout, elle s'intéresse à la fascination de ses membres pour l'Homme, créature disparue depuis longtemps qui est l'objet de mythes et de spéculations multiples et dont la civilisation se serait effondrée pour des raisons désormais incompréhensibles : la rivalité, la guerre, le meurtre, la volonté de puissance qui les sous-tendait. Vérité ou invention ? Certains, comme Jenkins, robot immortel, savent de source sûre qu'il ne s'agit pas d'une légende et ne regrettent guère, pour les avoir connus, ces êtres n'ayant pu que rêver un idéal maintenant atteint :

L'homme n'avait jamais songé à une grande société animale unique, n'avait jamais rêvé de voir l'ours, le raton laveur, et le chat descendre ensemble le chemin de la vie, en faisant des plans communs, en s'entraidant, en bannissant toutes les différences.

Mais les Chiens l'ont réalisé, cette société.

Comme un conte de la Mère l'Oye. Comme les livres du temps jadis, où l'on voyait le Lion s'allonger à côté de l'Agneau. Comme un dessin animé de Walt Disney, à cela près que les dessins animés n'avaient jamais l'air vrais car ils étaient fondés sur une philosophie humaine²⁷.

Habile, une telle construction nous interdit de reléguer aux oubliettes la pauvreté passée, la projection accentuant cette lourdeur laissée derrière, la nôtre ; à sa manière, Houellebecq reproduit cet effet rétrospectif. La pureté puisée dans le *Book of Kells*, la proximité de la lumière, le monde comme *sein de femme* sont autant de mises en accusation pointant ce qui manquait à une civilisation dont s'achève l'extinction et légitimant, par le choc des opposés, la souffrance qui tétanisait l'humain. Retour à l'Éden, adieu réfléchi à la condition humaine, la mutation génétique amplifie donc la déconfiture d'ensemble, la portée de ces mots constamment arpentés : conditionnement, empêchement, court-circuit, décrochage, déréliction. L'espèce devait disparaître pour renaître autrement, renouer avec « le sens de la collectivité, de la permanence et du sacré²⁸ » ; il n'y a plus de retour en

²⁶ Clifford D. Simak, *Demain les chiens*, 2003 [1952], p. 5.

²⁷ *Ibid.*, p. 249.

²⁸ *Les particules élémentaires*, p. 314.

arrière possible réalisé le dépassement, seulement un regard de pitié sur ce qui fut et un soupir de soulagement qui, tout enchanteur qu'il soit, blesse le lecteur. Pourtant, faut-il s'en étonner, la suite viendra une dernière fois brouiller les cartes, poser la question de la posture prospective alors que celle-ci, dans les élans lyriques des *Particules*, semblait bien arrêtée.

Découvrant les pages du *Book of Kells*, Michel Djerzinski s'apprête à refermer, convaincu que le geste est justifié, le livre de l'humanité, mais quel est le message de l'épilogue ? Désaveu de qui nous sommes, mise en garde, foi réelle en la perspective du clonage ? « Ce livre est dédié à l'homme²⁹ », soit, mais dans l'œil du raconteur ne scintille jamais la lueur de l'envie, à ne pas confondre avec un intérêt d'anthropologue. Or, *La possibilité d'une île*, en dépit de ses parentés avec *Les particules*, met à l'épreuve ce dégageant puisqu'il fait apparaître des ombres dans le rendu de la vie après la Vie : et si la félicité du non-moi n'était qu'un autre leurre, si le paradis génétique, sous le couvert de l'incontestable, étouffait mal le doute ? C'est ce que nous demandent de considérer les parcours de Daniel 24 et Daniel 25, la problématique que leurs paroles et actions rendent manifeste. « On est bien, on est heureux ; il n'y a pas d'hommes. Quelque chose paraît possible, ici. On a l'impression d'être à un point de départ. Et soudain tout disparaît³⁰ », songeait le narrateur d'*Extension* errant dans la forêt de Mazas, préfigurant la retraite incertaine qui, trois romans plus tard, caractériserait le quotidien des néo-humains.

*

Longtemps après la Grande Transformation qui, à l'instar des travaux de Djerzinski, devait bouleverser radicalement la marche de la civilisation occidentale, Daniel 25, avisé du désespoir et des déchirements qui brisèrent son ancêtre, n'a en principe qu'à jouir de cette paix de corps et d'esprit que promettait la conclusion des *Particules*, placé à l'abri de tout inconfort, ne communiquant avec ses semblables que virtuellement, ne connaissant de l'extérieur qu'une image pixélisée — inoffensive en conséquence. N'ayant plus à soutenir

²⁹ *Ibid.*, p. 317.

³⁰ *Extension du domaine de la lutte*, p. 155.

le mensonge de la « fiction individuelle », entré « dans un état de stase illimité, indéfini³¹ », il devrait respecter des rituels très simples et, étudiant le récit d'une vie sans commune mesure avec la sienne, considérer avec recul les horreurs dont on l'a affranchi. Il devrait en somme, mesurant par comparaison son privilège, apprendre du passé sans que la leçon ne l'atteigne émotivement, s'en détacher, mais son récit nous dévoile progressivement que tel n'est pas le cas. Ses assurances s'estompent, et il saisit de moins en moins clairement ce qu'il gagne à participer à la « déliaison³² » devant préparer la venue des Futurs ; cette remise en cause est en grande partie attribuable à sa correspondante Marie 23, qu'obsède l'existence supposée de regroupements de déserteurs ayant rejeté les enseignements de la Sœur Suprême. Le comportement de Marie 23 regorgeant d'anomalies (elle se dénude devant son écran, souhaite voir le sexe de son interlocuteur, lui envoie des rimes qui sonnent comme des invitations à prendre la clé des champs), Daniel admet que subsistent chez les clones des « variations individuelles³³ », que le sentiment du Moi n'est encore qu'imparfaitement éliminé. Par-dessus tout, il personnalise peu à peu le constat, et le « J'ai besoin de vivre davantage³⁴ » de Marie devient insidieusement sa vérité. Malgré les efforts qu'il met à les contenir, il peine à taire l'insatisfaction qui le taraude, l'ennui qui le ronge devant la monotonie des jours. L'habite un sentiment d'incomplétude qu'il croyait être l'apanage de l'ancienne race, même s'il sait de celle-ci la déchéance et la charge de pathos. La « liberté d'indifférence³⁵ », le culte de l'équanimité, d'une pensée délivrée, presque bouddhiste dans l'extinction qu'elle recherche : mais encore ?

La possibilité d'une île a ainsi l'audace de complexifier une donne que l'on pensait immuable. Rien ne pouvait apparemment perturber l'éternité contemplative du clone, mais, à réfléchir sa vie durant à des tourments qu'il n'a pas connus, il les intériorise et en vient à souhaiter ce qu'une logique bien apprise lui intime de fuir, retrouve sa nature enfouie pour finalement « envier la destinée de Daniel 1, son parcours contradictoire et violent, les passions amoureuses qui l'avaient agité — qu'elles qu'aient pu être ses souffrances, et sa

³¹ *La possibilité d'une île*, p. 426.

³² *Ibid.*, p. 70.

³³ *Ibid.*, p. 164.

³⁴ *Ibid.*, p. 385.

³⁵ *Ibid.*, p. 376.

fin tragique au bout du compte³⁶ ». Existerait, chuchotent les mythes qui circulent entre les clones, racontent les mots de Daniel 1 parfois réunis en de curieux textes nommés « poèmes », *la possibilité d'une île*, d'un lieu encore disponible à l'altérité et aux transports émotifs, à tout ce qui fait la richesse de l'aventure existentielle ; n'y tenant plus, il prend le pari d'y croire. Comme le Winston d'Orwell, grisé par une femme ou les étals clandestins d'antiquités, brise les règles de l'Océania et met en péril sa sûreté, comme Bernard et John, voulant retrouver l'intensité shakespearienne, signent leur exclusion du *meilleur des mondes*, Daniel 25 abandonne un bien-être protégé et se lance sur les traces d'une hypothétique communauté d'exilés. D'une appartenance qui transcenderait son bonheur désincarné, ses jours sans relief de « singe amélioré³⁷ » ; en soi, cette autocritique induit le malaise. Des manipulations génétiques ont pu le libérer de ses tares physiques, garantir son immortalité par le jeu de la réplication, le faire immune aux outrages d'autrefois, n'empêche : le roseau, et c'est là la surprise que nous réservait le roman, pense encore, au sens pleinement humain du terme. Incapable de réagir de manière « aussi prévisible qu'un réfrigérateur³⁸ » comme on le lui prescrit ou de s'en tenir à la position d'observateur qui est celle des *Particules*, il redécouvre petit à petit le chemin de l'émotion et du cœur sur lequel avançaient ses prédécesseurs, leur lyrisme agité.

Le périple sera néanmoins brutal, décevants les résultats. Nulle part il ne trouvera des clones ayant comme lui fait défection, répugnants lui paraîtront les avatars terminaux de l'homme qu'il croisera en cours de route, êtres-monstres, tribus retournées à la préhistoire :

Il tomba à terre, le visage aspergé de sang, et la curée commença. Le poignard levé, les mâles et les femelles de la tribu se précipitèrent en hurlant sur le blessé qui essayait de ramper hors d'atteinte ; en même temps, les tambourins recommencèrent à battre. Au début, les sauvages découpaient des morceaux de chair qu'ils faisaient rôtir dans les braises, mais la frénésie augmentant ils se mirent à dévorer directement le corps de la victime, à laper son sang dont l'odeur semblait les enivrer. Quelques minutes plus tard le gros sauvage était réduit à l'état de résidus sanguinolents, dispersés sur quelques mètres dans la prairie. La tête gisait de côté, intacte hormis son œil crevé. Un des assistants la ramassa et la tendit au chef qui se leva et la brandit sous les étoiles, cependant que la musique se taisait de nouveau et que les membres de la tribu entonnaient une mélodie inarticulée en frappant lentement dans leurs mains³⁹.

³⁶ *Ibid.*, p. 440.

³⁷ *Ibid.*, p. 484.

³⁸ *Ibid.*, p. 451.

³⁹ *Ibid.*, p. 463.

Est ainsi décrit un combat rituel qu'aperçoit à distance Daniel 25 durant ses pérégrinations, preuve atroce mais convaincante qu'il ne s'agit pas là d'une réponse à sa mélancolie, que le retour en arrière, quand bien même sa vie actuelle et les promesses qu'elle renferme ne suffisent plus, n'est pas une option. Il demeurera lui aussi entre deux eaux, confronté comme les personnages qui l'ont précédé à « l'aporie constitutive⁴⁰ » : l'impasse est totale.

*

« Je me rendis compte alors, écrit Daniel 25, que je me coupais, peu à peu, de toutes les possibilités ; il n'y avait peut-être pas, dans ce monde, de place qui me convienne⁴¹ ». L'humain est cet animal paradoxal qu'il faudrait dépasser et qu'on ne peut pourtant cesser de désirer, l'œuvre de Michel Houellebecq le lieu d'une déchirure que le temps aggrave. Rendant les armes, stoppant sa marche dans un lieu baigné de soleil et parcouru de lacs, Daniel estime que son organisme lui permettra d'y vivre quelque vingt mille journées, pendant lesquelles il ne fera qu'attendre l'arrêt de ses facultés vitales, présent et absent tout à la fois, indéfinissable dans sa vigie désormais sans objet .

« J'étais indélivré⁴² », conclut-il sous les étoiles, définitivement seul, placé devant ce qu'il doit bien considérer comme un vœu et une démission, un appel lancé mais non entendu : inextinguible brûlure à laquelle même un clone n'échappe pas, équilibre précaire qui ne cesse de défier le lecteur.

Plus que tout, vacillements d'une écriture qui n'apporte pas de réponse définitive au poids d'être, étrange lumière des certitudes contrariées et, pour cette raison même, lumière si humaine.

⁴⁰ *Ibid.*, p. 484.

⁴¹ *Ibid.*, p. 464.

⁴² *Ibid.*, p. 484.

BIBLIOGRAPHIE

CORPUS À L'ÉTUDE

- HOUELLEBECQ, Michel, *Extension du domaine de la lutte*, Paris, J'ai lu (Nouvelle Génération), 2000 [1994].
- , *H. P. Lovecraft. Contre le monde, contre la vie*, Paris, J'ai lu, 1999 [1991].
- , *Interventions*, Paris, Flammarion, 1998.
- , *Lanzarote*, Paris, Flammarion, 2000.
- , *Lanzarote et autres textes*, Paris, J'ai lu (Librio, Texte intégral), 2002.
- , *La possibilité d'une île*, Paris, Fayard, 2005.
- , *Les particules élémentaires*, Paris, J'ai lu (Nouvelle Génération), 2000 [1998].
- , *Plateforme*, Paris, Flammarion, 2002.
- , *Poésies. Le sens du combat. La poursuite du bonheur. Renaissance*, Paris, J'ai lu (Nouvelle Génération), 2001 [respectivement 1996, 1997 et 1999 pour les éditions originales].
- , *Rester vivant et autres textes*, Paris, J'ai lu (Librio, Texte intégral), 1999 [*Rester vivant* paraît originellement en 1991].

AUTOUR DE HOUELLEBECQ

- ABECASSIS, Jack I., « The Eclipse of Desire : L'affaire Houellebecq », *MLN*, vol. CXV, n° 4, septembre 2000, p. 810-826 [consulté le 8 novembre 2005 : <http://muse.jhu.edu/journals/mln/v115/115.4abecassis.html>].
- ARRABAL, Fernando, *Houellebecq*, Paris, Le Cherche Midi, 2005 [trad. de l'espagnol par Luce Arrabal].
- AZRA, Jean-Luc, « Le roman prémonitoire », *Stella : Études de langue et littérature françaises*, Association d'études de langue et littérature françaises de l'Université de Kyushu, décembre 2002, n° 21, p. 1-30.
- BARDOLLE, Olivier, *La littérature à vif (Le cas Houellebecq)*, Paris, L'esprit des péninsules, 2004.
- BECK, Stefan, « A Satyr against Mankind », *The New Criterion*, mars 2006, vol. XXIV, no 7, p. 15-20.
- BIENCZYK, Marek, « Dimanche dernier à Varsovie avec Michel Houellebecq », *L'atelier du roman*, été 1997, n° 11, p. 127-138.
- , « Sur quelques éléments (particuliers) de l'art romanesque », *L'atelier du roman*, juin 1999, n° 18, p. 33-39.
- BIRON, Michel, « L'effacement du personnage contemporain : l'exemple de Michel Houellebecq », *Études françaises*, 2005, vol. XLI, n° 1, p. 27-41.
- CLÉMENT, Murielle Lucie, *Houellebecq, sperme et sang*, Paris, L'Harmattan (Approches littéraires), 2003.
- CLÉMENT, Murielle Lucie et Sabine VAN WESEMAEL (dir.), *Michel Houellebecq sous la loupe*, Amsterdam/New York, Rodopi (Faux Titre), 2007.

- CORMARY, Pierre, « Houellebecq, notre frère » [consulté le 17 septembre 2007 : <http://pierrecormary.blogspot.com/archive/2005/11/13/houellebecq-notre-frere.html>].
- CROS, Claire, *Ci-gît Paris (ou L'impossibilité d'un monde)*, Paris, Michalon, 2005.
- DE HAAN, Martin, « Entretien avec Michel Houellebecq » [consulté le 9 août 2004 : http://www.houellebecq.info/newsfile/113_EntretienMartinHan.pdf]
- DEMONPION, Denis, *Houellebecq non autorisé. Enquête sur un phénomène*, Paris, Maren Sell Éditeurs, 2005.
- GANTZ, Katherine, « Strolling with Houellebecq : The Textual Terrain of Postmodern Flânerie », *Journal of Modern Literature*, printemps 2005, vol. XXVIII, n° 3, p. 149-161.
- GUIOU, Dominique, « Houellebecq : "Je suis l'écrivain de la souffrance ordinaire" », *Le Figaro*, 4 septembre 2001, p. 27 [consulté le 28 janvier 2002 : <http://www.lefigaro.fr/cgi-bin/gx.cgi/AppLogic+FTContentServer?pagename=FutureTense/Apps/Xcelerate/View&c=figArticle>].
- HUSTON, Nancy, *Professeurs de désespoir*, Arles/Montréal, Actes Sud/Leméac, 2004.
- JOURDE, Pierre, « INTERLUDE. L'individu louche : Michel Houellebecq », *La littérature sans estomac*, Paris, L'esprit des péninsules (Pocket, Agora), 2002, p. 265-289.
- LEBRUN, Jean-Claude, « Le roman d'un anti-utopiste ? », *L'Humanité*, septembre 2005 [consulté le 14 janvier 2008 : http://www.houellebecq.info/presse/226_lumanite.pdf].
- LINDENBERG, Daniel, *Le rappel à l'ordre. Enquête sur les nouveaux réactionnaires*, Paris, Seuil (La République des Idées), 2002.
- MONNIN, Christian, « Extinction du domaine de la lutte. L'œuvre romanesque de Michel Houellebecq », *L'atelier du roman*, décembre 2002 [consulté le 14 janvier 2008 : http://www.houellebecq.info/revuefile/37_Monnin.pdf].
- MURAY, Philippe, « Et, en tout, apercevoir la fin... », *L'atelier du roman*, juin 1999, n° 18, p. 23-32.
- , « L'Occident meurt en bermuda », *Exorcismes spirituels III*, Paris, Les Belles Lettres, 2002, p. 72-74.
- NAULLEAU, Éric, *Au secours, Houellebecq revient ! Rentrée littéraire : par ici la sortie... Entretiens avec Christophe Absi et Jean-Louis Chiflet*, Paris, Chiflet & Cie, 2005.
- NOGUEZ, Dominique, *Houellebecq, en fait*, Paris, Fayard, 2003.
- , « La rage de ne pas lire », *Le Monde*, 29 octobre 1998, p. 1 [consulté le 2 avril 2006 : http://www.biblio.eureka.cc/Biblio/Search/Doc_save.asp?Action=PrintDoc].
- PATRICOLA, Jean-François, *Houellebecq ou la provocation permanente*, Paris, Écriture, 2005.
- PROGUIDIS, Lakis, *De l'autre côté du brouillard. Essai sur le roman français contemporain*, Québec, Éditions Nota Bene, 2001.
- , « Une décennie romanesque », *L'atelier du roman*, décembre 2001, n° 28, p. 173-193.
- QUINIQU, Yvon, « Pour Houellebecq », *L'Humanité*, 19 décembre 1998 [consulté le 14 janvier 2008 : <http://www.houellebecq.info/temoignages.php3#16>].
- RICARD, François, « Scandale du roman », *L'atelier du roman*, juin 1999, n° 18, p. 73-80.
- ROBITAILLE, Martin, « Houellebecq, ou l'extension d'un monde étrange », *Tangence*, automne 2004, n° 76, p. 87-103.
- ROCHLITZ, Rainer, « Sloterdijk, Houellebecq et la fin de l'homme », *Le monde des débats*, novembre 1999 [consulté le 14 janvier 2008 : <http://www.houellebecq.info/temoignages.php3#17>].

- SAVARY, Nicolas, « Houellebecq, le désir, le destin », *L'atelier du roman*, juin 1999, n° 18, p. 62-72.
- SAVIGNEAU, Josyane, « Michel Houellebecq : "Tout ce que la science permet sera réalisé" », *Le Monde*, 20 août 2005 [consulté le 18 octobre 2007 : <http://www.lemonde.fr/web/article/0,1-0@2-3246.36-681484.0.html>].
- TILLINAC, Denis, « Vies parallèles », *L'atelier du roman*, juin 1999, n° 18, p. 40-42.
- VAN WESEMAEL, Sabine, *Michel Houellebecq. Le plaisir du texte*, Paris, L'Harmattan (Approches littéraires), 2005.
- VARSAVA, Jerry Andrew, « Utopian Yearnings, Dystopian Thoughts : Houellebecq's *The Elementary Particles* and the Problem of Scientific Communitarism », *College Literature*, automne 2005, vol. XXXII, n° 4, p. 145-167 [consulté le 8 novembre 2005 : http://muse.jhu.edu/journals/college_literature/v032/32.4varsava.html].
- WETTERWALD, Denis, « Michel Houellebecq, un écrivain avant tout ! », *L'atelier du roman*, juin 1999, n° 18, p. 51-54.

L'IDÉE DE LYRISME

- ADORNO, Theodor W., « Discours sur la poésie lyrique et la société », *Notes sur la littérature*, Paris, Flammarion, 1984, p. 45-63 [trad. de l'allemand par Sibylle Muller].
- BRODA, Martine, *L'amour du nom. Essai sur le lyrisme et la lyrique amoureuse*, Paris, José Corti (en lisant en écrivant), 1997.
- GALLY, Michèle, « Lyrisme », dans Paul ARON, Denis SAINT-JACQUES et Alain VIALA (dir.), *Le dictionnaire du Littéraire*, Paris, Presses Universitaires de France, 2002, p. 343-344.
- CHEVALIER, Jean et Alain GHEERBRANT, *Dictionnaire des symboles*, Paris, Robert Laffont/Jupiter (Bouquins), 1982.
- GOMBROWICZ, Witold, *Contre les poètes*, Bruxelles, Éditions Complexe (Le regard littéraire), 1988 [1981].
- , *Testament. Entretiens avec Dominique de Roux*, Paris, Pierre Belfond (Entretiens), 1977 [1968].
- GUSDORF, Georges, *L'homme romantique*, Paris, Payot, 1984.
- HEGEL, Friedrich, *Esthétique. Textes choisis*, Paris, Presses Universitaires de France, 1998.
- HUGO, Victor, *Odes et ballades*, Paris, Gallimard (Poésie), 1980.
- JACKSON, John E., « Le lyrisme », dans Béatrice DIDIER (dir.), *Précis de littérature européenne*, Paris, Presses Universitaires de France, 1998, p. 429-436.
- KUNDERA, Milan, *L'art du roman*, Paris, Gallimard (Folio), 2002 [1986].
- , *Les testaments trahis*, Paris, Gallimard, 1993.
- MAULPOIX, Jean-Michel, *Du lyrisme*, Paris, José Corti (en lisant en écrivant), 2000.
- , « La poésie n'est pas une maladie honteuse. Pour un lyrisme critique », *Magazine littéraire*, mars 2001 [consulté le 20 avril 2006 : <http://www.maulpoix.net/honteuse.html>].
- , « Le lyrisme comme quête de l'altérité. Entretien avec Bertrand Leclair », *La Quinzaine littéraire*, 16 mai 2000, n° 785 [consulté le 20 avril 2006 : <http://www.maulpoix.net/leclair.html>].
- , « Le lyrisme, histoire, formes et thématique... » [consulté le 20 avril 2006 : <http://www.maulpoix.net/lelyrisme.html>].

- MURAY, Philippe, *Exorcismes spirituels I*, Paris, Les Belles Lettres, 2002 [1997].
 -----, *Exorcismes spirituels II*, Paris, Les Belles Lettres, 1998.
 -----, *Exorcismes spirituels III*, Paris, Les Belles Lettres, 2002.
 -----, *Minimum respect*, Paris, Les Belles Lettres, 2003.
- NIETZSCHE, Friedrich, *Naissance de la tragédie*, Paris, Christian Bourgois (Bibliothèque 10/18), 1991 [1872].
- PAVEL, Thomas, « Quatrième partie. L'art du détachement », *La pensée du roman*, Gallimard (nrf essais), 2003, p. 355-401.
- RABATÉ, Dominique (dir.), *Figures du sujet lyrique*, Paris, Presses Universitaires de France (Perspectives littéraires), 1996.
- RICARD, François, *La génération lyrique. Essai sur la vie et l'œuvre des premiers-nés du baby-boom*, Montréal, Boréal, 1992.
 -----, *Le dernier après-midi d'Agnès. Essai sur l'œuvre de Milan Kundera*, Paris, Gallimard (Arcades), 2003.
- SAINT GIRONS, Baldine, *Le sublime de l'Antiquité à nos jours*, Paris, Desjonquères, 2005.
- STIERLE, Karlheinz, « Identité du discours et transgression lyrique », *Poétique*, 1977, no 32, p. 422-441 [traduit de l'allemand par Jean-Paul Colin].
- TISON-BRAUN, Micheline, *Le Moi décapité. Le problème de la personnalité dans la littérature française contemporaine*, New York, Peter Lang (Reading Plus), 1990.
- VÉDRINE, Hélène, *Le sujet éclaté*, Paris, Le Livre de Poche (biblio essais), 2000.
- WATTEYNE, Nathalie (dir.), *Lyrisme et énonciation lyrique*, Québec/Paris, Éditions Nota Bene/Presses Universitaires de Bordeaux, 2006.

QUELQUES ŒUVRES CONVOQUÉES

- ANDERSEN, Hans Christian, *La petite sirène*, dans *Contes et histoires. Édition intégrale des textes rassemblés par l'auteur*, Paris, Le Livre de Poche (La Pochotèque), 2005, [1837], p. 146-173.
- BAUDELAIRE, Charles, *Les fleurs du mal*, suivies de *Petits poèmes en prose*, *Curiosité esthétiques*, *L'art romantique*, *Journaux intimes* et *La Fanfarlo*, Paris, Presses Pocket (Lire et voir les classiques), 1989 [1857 pour l'édition originale des *Fleurs du mal*].
- CAMUS, Albert, *L'étranger*, Paris, Gallimard (Le Livre de Poche), 1971 [1942].
- CIORAN, Émile, *De l'inconvénient d'être né*, Paris, Gallimard (Folio essais), 1989 [1973].
- COHEN, Leonard, *Book of Longing*, Toronto, McClelland & Stuart, 2006.
 -----, *Les perdants magnifiques*, Paris, 10/18, 1993 [1966].
- D'AVILA, Thérèse, *Œuvres complètes. IV. Le château intérieur. Poésie*, Paris, Les Éditions du Cerf, 1982 [1577].
- DIDEROT, Denis, *Jacques le Fataliste et son maître*, Le livre de poche classique (coll. Texte intégral) 1959 [1773].
- GIDE, André, *Les faux-monnayeurs*, Paris, Gallimard (Folio), 1997 [1925].
- GOMBROWICZ, Witold, *Ferdydurke*, dans *Moi et mon double*, Gallimard (Quarto), 1996 [1937], p. 265-513.
- HUGO, Victor, *Les Contemplations*, Paris, Flammarion, 1995 [1856].
- HUXLEY, Aldous, *Le meilleur des mondes*, Paris, Plon (Le Livre de Poche), 1971 [1932].
- IONESCO, Eugène, *Le solitaire*, Paris, Mercure de France, 1973.

- KAFKA, Franz, *Le procès*, Paris, Gallimard (Folio classique), 1996 [1933] [préface de Claude David; traduction d'Alexandre Vialatte].
- KUNDERA, Milan, *La vie est ailleurs*, Paris, Gallimard (Folio), 2002 [1973].
- , *L'immortalité*, Paris, Gallimard (Folio), 1998 [1990].
- LAMARTINE, Alphonse de, *Méditations*, Paris, Éditions Garnier Frères, 1968 [1820] [éd. Fernand Letessier].
- MALLARMÉ, Stéphane, *Crise de vers*, dans *Œuvres*, Paris, Garnier (Classiques Garnier), 1985, p. 269-279.
- , *Igitur. Divagations. Un coup de dés*, Paris, Gallimard (Poésie), 1998.
- MICHAUX, Henri, *Plume*, précédé de *Lointain intérieur*, Paris, Gallimard (Poésie), 1985 [1938].
- ORWELL, George, *1984*, Paris, Gallimard (Le Livre de Poche), 1969 [1949].
- PASCAL, Blaise, *Pensées*, Paris, Gallimard (Folio classique), 2004 [1977].
- PEREC, Georges, *Un homme qui dort*, Denoël (Folio), 1999 [1967].
- , *Les choses*, 10/18 (Domaine français), 2003 [1965].
- RILKE, Rainer-Maria, *Lettres à un jeune poète*, Paris, Grasset (Les Cahiers Rouges), 1989 [1937].
- RIMBAUD, Arthur, *Des Ardennes au Désert. Une saison en enfer, Illuminations, Poésies et œuvres diverses*, Paris, Presses Pocket (Lire et voir les classiques), 1990 [préface et commentaires de Pascaline Mourier-Casile].
- ROUSSEAU, Jean-Jacques, *Les Confessions. Livres I à VI*, Paris, Flammarion, 2002.
- SARTRE, Jean-Paul, *La nausée*, Paris, Gallimard (Folio), 1983 [1938].
- SIMAK, Clifford D., *Demain les chiens*, dans *Les mines du temps*, Paris, Omnibus, 2004, p. 7-219 [1952 pour la parution originale de *Demain les chiens*].
- STAËL, Germaine de, *De l'Allemagne I*, Paris, Garnier-Flammarion (Texte intégral), 1968 [1813].

AUTRES TEXTES

- ARGAND, Catherine et Sean James ROSE, « Mon corps ce héros », *Lire*, septembre 2001, n° 298, p. 42-45.
- AUTHIER, Christian, *Le nouvel ordre sexuel*, Paris, Bartillat, 2002.
- BARTHES, Roland *Fragments d'un discours amoureux*, Paris, Seuil (Tel Quel), 1977.
- BATAILLE, Georges, *L'Érotisme*, Paris, Les Éditions de Minuit (Arguments), 1979 [1957].
- , « Le labyrinthe », *Recherches philosophiques*, 1936, t. 5, p. 364-372.
- , *Les larmes d'Éros*, Paris, Jean-Jacques Pauvert (10/18, Domaine français), 2000 [1961].
- BERNARD, Claude, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Paris, Garnier-Flammarion (Texte intégral), 1966 [1865].
- BLANCKEMAN, Bruno, *Les fictions singulières. Étude sur le roman français contemporain*, Paris, Prétexte Éditeur, 2002.
- BORDET, Louis, *Religion et mysticisme*, Paris, Presses Universitaires de France (Initiation philosophique), 1959.
- BRUCKNER, Pascal, *L'euphorie perpétuelle. Essai sur le devoir de bonheur*, Paris, Grasset (Le Livre de Poche), 2002 [2000].
- CHIRPAZ, François, *Pascal. La condition de l'homme*, Paris, Michalon (le bien commun), 2000.

- FERRÉ, Léo, *La mauvaise graine*, Librairie générale française (Le livre de poche), 1995
- GAUCHET, Marcel, *Le désenchantement du monde*, Paris, Gallimard (Folio essais), 2005 [1985].
- HAMILTON, Edith, *La mythologie. Ses dieux, ses héros, ses légendes*, Saint-Amand, Marabout (Savoir pratique), 1996 [1978].
- KRISTEVA, Julia, *Pouvoirs de l'horreur. Essai sur l'abjection*, Paris, Éditions du Seuil (Tel Quel), 1980.
- LANEYRIE-DAGEN, Nadeije, *L'invention du corps : la représentation de l'homme du Moyen Âge à la fin du XIX^e siècle*, Paris, Flammarion, 1997.
- , « Le corps, lieu des plus folles angoisses », *Lire*, septembre 2001, n° 298, p. 48-49.
- LECONTE, Frantz Antoine, *La tradition de l'ennui splénétique en France de Christine De Pisan à Baudelaire*, New York, Peter Lang (Reading Plus), 1995.
- LEVINAS, Emmanuel, *Dieu, la mort, le temps*, Paris, Grasset (figures), 1993.
- OUELLETTE, Fernand, « L'expérience mystique en son lieu au-delà de toute connaissance », *Liberté*, mai 2001, n° 252, p. 61-75.
- PASCAL, Blaise, *Les pensées*, Paris, Gallimard (Folio classique), 2004 [1977] [éd. Michel Le Guern].
- PIGEAUD, Jackie, *De la mélancolie. Fragments de poétique et d'histoire*, Paris, Dilecta, 2005.
- QUIGNARD, Pascal, *Le sexe et l'effroi*, Paris, Gallimard (Folio), 1994.
- RAHULA, Walpola, *L'enseignement du Bouddha. D'après les textes les plus anciens. Étude suivie d'un choix de textes*, Éditions du Seuil (Points Sagesse), 1978 [1961] [préface de Paul Demiéville].
- REY, Roselyne, *Histoire de la douleur*, Paris, Éditions La Découverte (La Découverte Poche), 2000 [1993].
- ROSE, Sean James Rose, « Le corps oriental », *Lire*, septembre 2001, n° 298, p. 46-47.
- ROSSET, Clément, *Le principe de cruauté*, Paris, Les Éditions de Minuit (Critique), 1988.
- , *Loin de moi. Étude sur l'identité*, Paris, Les Éditions de Minuit, 1999.
- , *Principes de sagesse et de folie*, Paris, Les Éditions de Minuit, 1991.
- ROUVILLOIS, Frédéric, *L'utopie*, Paris, Garnier-Flammarion (Corpus), 1998.
- SÉNÉCAL, Didier, « L'entretien Michel Houellebecq », *Lire*, septembre 2001, n° 298, p. 28-36.
- SLOTEDIJK, Peter, *Critique de la raison cynique*, Paris, Christian Bourgois, 1987 [1983] [traduit de l'allemand par Hans Hildenbrand].
- , *Essai d'intoxication volontaire. Conversation avec Carlos Oliveira*, Paris, Calmann-Lévy (Petite bibliothèque des idées), 1999 [1996] [traduit de l'allemand par Olivier Mannoni].
- , *L'heure du crime au temps de l'œuvre d'art*, Calmann-Lévy (Petite bibliothèque des idées), 2000.
- VANASSE, Claudie, « Le corps de la possédée », *Liberté*, mai 2001, n° 252, p. 76-94.
- VERDIGLIONE, Armando (dir.), *La jouissance et la loi*, Paris, 10/18, 1976.