



HAL
open science

Bibliographic count of the alloys ; artificial saliva couples used for the corrosion studies concerning the orthodontic archwires over the [2000–2023] period

Zixian Liao, Patrice Berthod

► To cite this version:

Zixian Liao, Patrice Berthod. Bibliographic count of the alloys ; artificial saliva couples used for the corrosion studies concerning the orthodontic archwires over the [2000–2023] period. 2023. hal-04160856

HAL Id: hal-04160856

<https://hal.science/hal-04160856>

Preprint submitted on 12 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

**Recensement bibliographique des couples
{alliage ; salive artificielle} utilisés pour
l'étude de la corrosion des arcs
orthodontiques sur la période [2000–2023]**
*Bibliographic count of the {alloys ; artificial saliva}
couples used for the corrosion studies concerning the
orthodontic archwires over the [2000–2023] period*

Zixian Liao, Patrice Berthod

Université de Lorraine
Faculté des Sciences et Technologies, Campus Victor Grignard, Boulevard des Aiguillettes,
54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France
Courriel : patrice.berthod@univ-lorraine.fr

Soumis le 12 juillet 2023 / Submitted on July 12th, 2023

Résumé : Les alliages métalliques dentaires existent sous de multiples variétés de nature/composition et de forme/fonction. Parmi eux, les alliages pour applications orthodontiques font intervenir, en ordre de grandeur, une dizaine d'alliages métalliques rien que pour les arcs. Ces derniers, bien que restant en bouche bien moins longtemps que les fils de contention, méritent cependant que l'on étudie leur comportement en corrosion. C'est ce qui a été fait par de nombreux chercheurs depuis de nombreuses dizaines d'années. Les électrolytes simulant la salive humaine choisis par ces derniers représentent de nombreuses variétés. Dans cette courte étude, des articles ont été identifiés à l'aide d'un des moteurs de recherche spécialisés (SciFinder[®] de CAS). Ils ont été téléchargés et consultés pour inventorier les alliages pour arcs orthodontiques ainsi que les différentes salives artificielles préparées et utilisées pour la caractérisation de ces alliages en corrosion. Compte-tenu du bien trop grand nombre d'articles concernés et détectés, la période considérée a été rétrécie à [2000–2023] afin de ne garder qu'un nombre raisonnable de travaux, et aussi pour préciser particulièrement la tendance de la dernière vingtaines d'années. Il est apparu que ce sont les alliages nickel–titane qui auraient les plus étudiés sur le plan de la corrosion en milieu buccal simulé, suivis par les aciers inoxydables. La salive artificielle de Fusayama et ses dérivés sont très utilisés pour les étudier.

Mots-Clefs : Alliages dentaires ; Etude de corrosion ; Arcs orthodontique ; Salive artificielle ; Inventaire bibliographique

Abstract: Dental alloys are available in a wide variety of nature/composition and of shape/function. Among them, the alloys for orthodontic applications involve, as order of magnitude, a ten of metallic alloys only for the archwires. These ones, although staying in mouth much shorter than the orthodontic retaining wires, merit to be characterized in corrosion. This is what has been done by many researchers since several tens of years ago. The electrolytes simulating the human saliva that these researchers chose, represent many variety too. In this short study, published articles were identified using one of the specialized research engines (SciFinder[®] from CAS). These articles were downloaded and read to count the alloys for orthodontic wires as well as the various artificial saliva prepared and used for characterizing these alloys in corrosion. The great number of articles found, the considered period was shortened to [2000–2023] in order to keep a works number not too high, and also to explore specifically the trend of this late twenty years. It appears that the nickel–titanium alloys were the most studied concerning the behavior in corrosion in simulated buccal milieu, followed by stainless steels. The Fusayama's artificial saliva and its derivatives are frequently used for studying them.

Keywords: Dental alloys; Corrosion study; Orthodontic archwires; Artificial saliva; Bibliographic count

Introduction

Les matériaux pour prothèses dentaires au sens large sont loin de n'être que des céramiques ou des matières plastiques. Aux côtés de ces derniers matériaux, qui ne sont pas concernés par la corrosion aqueuse, figurent également un grand nombre de matériaux métalliques différents, qui eux peuvent subir plus ou moins ce phénomène. Parmi les pièces concernées, on trouve certaines couronnes ou du moins leurs fixations, des vis pour la fixation de dents artificielles individuelles, les armatures métalliques renforçant intérieurement et discrètement les prothèses fixées (les « bridges ») ... Il y a aussi les bagues et fils dentaires pour l'orthodontie. Les premières peuvent être en matière plastique transparentes pour plus de discrétion et d'esthétiques, mais aussi en alliage métallique. Les fils dentaires, et les fils de contention, sont nécessairement métalliques, vues leurs fonctions. Toutes ces pièces métalliques sont susceptibles de connaître la corrosion, plus ou moins suivant leur noblesse, par le milieu buccal salivaire si ces pièces ou parties de pièces (supports, armatures) ne sont pas intégralement isolées dans l'os de la mâchoire (telles les vis en titane des « *inlays* ») ou dans la céramique cosmétique (telles les armatures en alliages parents *High Noble*, *Noble* ou *Predominantly Base*, ou leurs brasures primaires et/ou secondaires, pour les prothèses fixées). Les exemples fournis entre parenthèses sont susceptibles, vu l'âge des patients qui reçoivent ces dispositifs, d'être exposés à la corrosion pendant quelques dizaines d'années. La durée prévisible d'exposition à la corrosion est bien plus longue pour les fils de contention qui sont destinées à maintenir à vie les dents dans leurs nouvelles positions à l'issue du traitement orthodontique des plus jeunes et un peu moins jeunes, et bien plus courtes pour les bagues métalliques et les arcs orthodontiques ayant repositionné en quelques mois à quelques années les dents mal positionnées à l'origine. Si vis et prothèses fixées sont certainement les pièces métalliques les plus sollicitées mécaniquement en service (intenses compressions et flexions pendant la mastication), les arcs orthodontiques le sont quand même aussi (fortes et constantes flexions, tractions ou torsions pour déplacer les dents) et la corrosion, possiblement concentrée dans les zones fortement écrouies, peut dégrader leur fonction (sans forcément aller jusqu'à une rupture). Dans la présente étude, c'est précisément sur le cas des arcs orthodontiques que nous nous sommes penchés pour ce recensement alliages et salives artificielles.

Procédure suivie

Mots clefs et moteur de recherche choisis

Après rapide réflexion les mots clefs suivants se sont imposés comme les plus pertinents :

Archwire, Corrosion study, Dental alloy et Artificial saliva.

Le moteur de recherche choisi, parmi les plus simples à utiliser mais très efficace cependant, était **CAS SciFinder^m** élaboré par **CAS**, une division de **American Chemical Society**.

Nombres de références trouvées pour le recensement

Dans un premier temps, l'entrée de « **archwire corrosion study dental alloy artificial saliva** » dans la case de recherche a conduit à 283.349 résultats ; en limitant ensuite au 3^{ème} millénaire, ils ne sont retombés qu'à 199.339, nombre qui n'est toujours pas raisonnable pour l'étude en

question (**Figure 1**). En ajoutant « archwire » à la liste le nombre est tombé à 5.039 sans contrainte d'époque, et à 3.700 en limitant à [2000, 2023] (**Figure 2**). Par contre, en utilisant l'option **Add Advanced Search Field** et le connecteur logique AND entre les mots clés précédents entrés sous le type **Select/ Abstract/Keywords**, 56 références ont été trouvées : 55 articles de recherche, et 1 article de revue (non adapté à cette étude). Ce sont ces 55 articles qui vont être analysés sous le simple aspect des couples {alliage, salive artificielle} qu'ils font intervenir. Avant cela, remarquons la croissance exponentielle du nombre de travaux dans la **Figure 2**, croissance qui devient bien plus chaotique quand on impose la présence de chacun des mots clés (**Figure 3**).

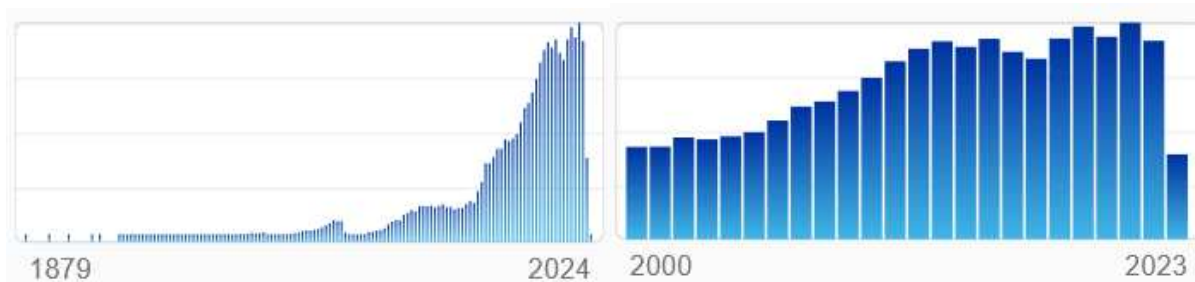


Figure 1 : Histogrammes des travaux trouvés lors de la recherche SciFinder[®] du 12 juillet 2023 (aux alentours de 10h00, heure française) avec « corrosion dental alloy study artificial saliva » entré en une fois (à gauche) ; histogramme de la même recherche limitée à [2000, 2023] (à droite)

(Figure 1 : Histogram of the works found by SciFinder[®] performed on July 12th, 2023 (10:00 AM in France) after having entered “dental alloy corrosion study artificial saliva” as search criterion (left); histogram obtained for the same attempt but limited to [2000, 2023] (right))

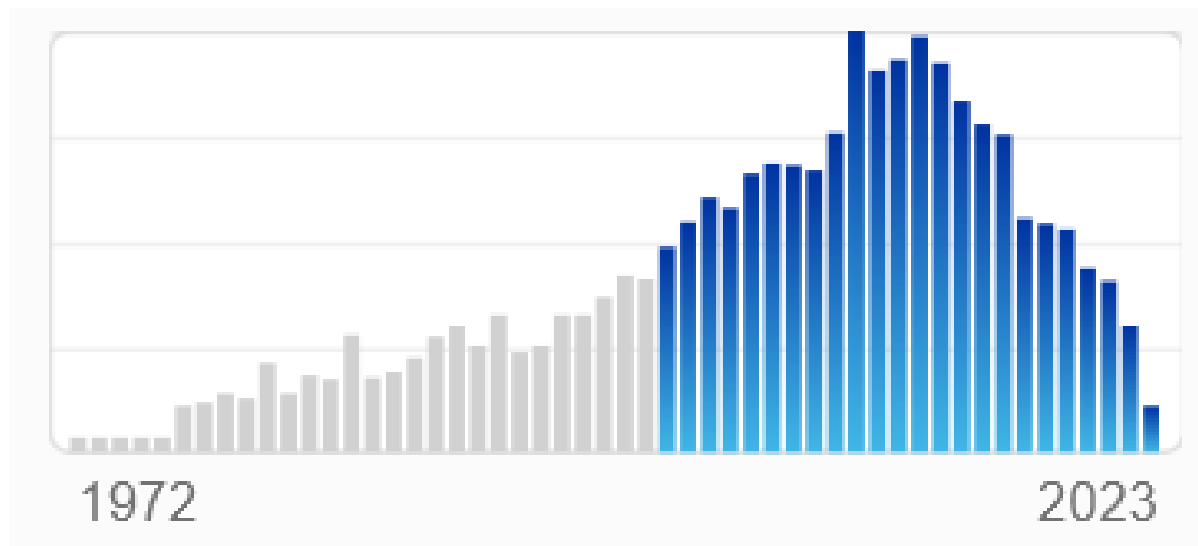


Figure 2 : Histogrammes des travaux trouvés lors de la recherche SciFinder[®] du 12 juillet 2023 (aux alentours de 10h00, heure française) avec «archwire corrosion study dental alloy artificial saliva » entré en une fois (tout l'histogramme) ; histogramme de la même recherche limitée à [2000, 2023] (effectifs bleus)

(Figure 2 : Histogram of the works found by SciFinder[®] performed on July 12th, 2023 (10:00 AM in France) after having entered “archwire corrosion study dental alloy artificial saliva” as search criterion (the whole histogram); histogram obtained for the same attempt but limited to [2000, 2023] (blue count bars))

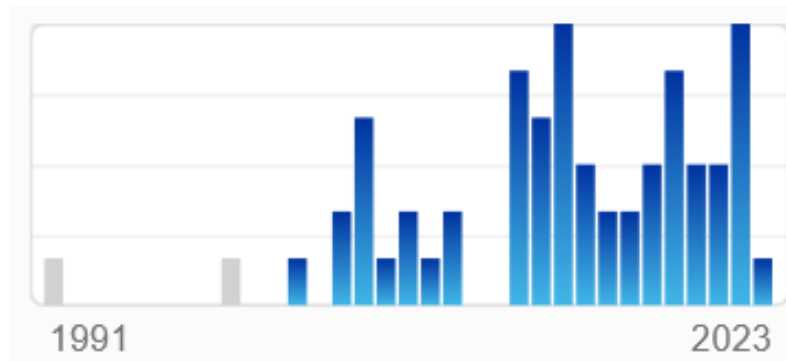


Figure 3 : Histogrammes des travaux trouvés lors de la recherche SciFinder[®] du 12 juillet 2023 (aux alentours de 10h00, heure française) avec « archwire » AND « corrosion study » AND « dental alloy » AND « artificial saliva » tous demandés dans « Abstract/Keywords » (tout l'histogramme) ; histogramme de la même recherche limitée à [2000, 2023] (effectifs bleus)

(Figure 3 : Histogram of the works found by SciFinder[®] performed on July 12th, 2023 (10:00 AM in France) after having entered “archwire” AND “corrosion study” AND “dental alloy” AND “artificial saliva” for the “Abstract/Keywords” category as search criterion (the whole histogram); histogram obtained for the same attempt but limited to [2000, 2023] (blue count bars))

Résultats

Inventaire séparé des alliages pour arcs orthodontiques

Un coup d’œil rapide aux alliages concernés par ces 55 études faites entre 2000 et 2023 donne un idée de la multiplicité des alliages utilisés pour fabriquer des arcs orthodontiques et dont le comportement en corrosion a été étudié (**Tableau 1**); on trouve des aciers, des cobalt–chrome, des alliages de titane, des alliages à mémoire de forme tels des nickel–titane (NiTi), des titane–molybdène ... En fait la majorité des travaux portent sur les NiTi, et en second rang, les aciers austénitiques inoxydables.

Inventaire séparé des salives artificielles pour étude de la corrosion des arcs orthodontiques

Les salives artificielles concernées par ces mêmes 55 études réalisées sur 2000–2023 sont relativement nombreuses (**Tableau 2**). On trouve en premier lieu la salive humaine (études *in situ*) ou prélevées sur/ fournies par des volontaires. D’autres sont artificielles avec addition de bactéries (*Desulfovibrio* sulfate reducing bacteria, *Streptococcus mutans*, *Lactobacillus*). On trouve aussi du fluide corporel simulé, du sérum physiologique, plusieurs salives artificielles portant un nom (Tani–Zucchi, Duffo, Ericsson, Hank, Klimek ...), des solutions dont les compositions chimiques souvent complexes sont détaillées, des antiseptiques spécialisés (Oral B[®], Ortokin[®] Aqua, Eludril[®], Listerine[®] ...). Les compositions chimiques de salives souvent rencontrées sont données, à titre d’exemple, dans le **Tableau 3**.

Alliages Ni–Ti : les salives artificielles les plus utilisées pour l’étude de leur corrosion

Les arcs orthodontiques en alliage nickel–titane/Ni–Ti/Nitinol sont donc apparus comme les plus étudiés en corrosion sur ces dernières années. C’est pourquoi il va être entrepris maintenant de répertorier spécifiquement pour eux les salives artificielles considérées.

Tableau 1 : Décompte, par alliage, des nombres de couples {alliage, salive artificielle} et des articles concernés
 (Table 1: Count, per alloy found, of the numbers of {alloy, artificial saliva} couples and of the related articles)

Alliage	Nombre de couples {alliage, salive} concernés / Nombre d'articles concernés	Références des articles concernés
Ni-Ti (dont Nitinol)	52 couples / 36 articles	[01] [02] [03] [04] [05] [07] [08] [09] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [17] [18] [20] [21] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [32] [33] [34] [38] [39] [45] [46] [48] [51] [53]
Aciers austénitiques inoxydables (dont AISI 304)	20 couples / 17 articles	[02] [03] [04] [07] [08] [09] [18] [22] [27] [30] [32] [34] [38] [39] [43] [44] [45]
Titane-Molybdène (TiMo)	3 couples / 3 articles	[07] [09] [34]
Cuivre NiTi (CuNiTi)	3 couples / 3 articles	[18] [24] [32]
β-titanium (Titane)	3 couples / 3 articles	[08] [28] [43]
Cobalt-Chrome	2 couples / 2 articles	[34] [43]
NiTiCo (Ni47-Ti49-Co4)	1 couple / 1 article	[19]
Ni-free Ti alloy	1 couple / 1 article	[19]
Titanol	1 couple / 1 article	[26]
Cuivre pur	1 couple / 1 article	[27]

Tableau 2 : Décompte, par salive artificielle, des nombres de couples {alliage, salive} et des articles concernés
 (Table 2: Count, per artificial saliva, of the numbers of {alloy, artificial saliva} couples and of the related articles)

Salive	Nombre de couples {alliage, salive} concernés / Nombre d'articles concernés	Références des articles concernés
Salive humaine provenant de patients	4 couples / 36 articles	[05] [26] [51] [53]
Salive artificielle additionnée de bactéries	5 couples / 3 articles	[09] [48] [54]
Fluide corporel simulé	1 couples / 1 article	[05]
Sérum physiologique	3 couples / 3 articles	[14] [25] [26]
Fusayama/Fusayama-Meyer	5 couples / 3 articles	[05] [20] [32]
Fusayama modifiée	14 couples / 7 articles	[01] [07] [27] [28] [39] [43] [44]
Tani-Zucchi	3 couples / 2 articles	[03] [46]
Duffo	1 couple / 1 article	[05]
Ericsson	1 couple / 1 article	[05]
Hank	1 couple / 1 article	[05]
Klimek	3 couples / 1 article	[18]
Salives diverses	36 couples / 21 articles	[02] [04] [05] [06] [08] [10] [11] [12] [30] [33] [13] [17] [19] [22] [23] [24] [28] [29] [34] [38] [45]
Antiseptiques	12 couples / 5 articles	[10] [13] [15] [21] [45]

Tableau 3 : Quelques compositions chimiques de salives artificielles souvent rencontrées
(Table 3: Some chemical compositions of artificial saliva frequently found)

Fusayama-Meyer	KCl : 0,400g/L, NaCl : 0,400g/L, CaCl ₂ ·2H ₂ O : 0,906g/L, NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O : 0,690g/L, Na ₂ S·9H ₂ O : 0,005g/L, Urée : 1,000g/L
Fusayama	0,4 g/L NaCl, 0,4 g/L KCl, 0,906 g/L CaCl ₂ ·2H ₂ O, 0,69 g/L KH ₂ PO ₄ , 0,05 g/L Na ₂ S·9H ₂ O
Fusayama modifiée	NaCl (400 mg/L), KCl (400 mg/L), CaCl ₂ ·2H ₂ O (795 mg/L), NaH ₂ PO ₄ ·H ₂ O (690 mg/L), KSCN (300 mg/L), Na ₂ S·9H ₂ O (5 mg/L), urée (1000 mg/L),
Tani-Zuchi	1,5 g/l KCl, 1,5 g/l NaHCO ₃ , 0,5 g/l NaH ₂ PO ₄ ·xH ₂ O, 0,5 g/l KSCN, 0,9 g/l d'acide lactique, pH 4,8
Duffo	0,6 g/L NaCl, 0,72 g/L KCl, 0,22 g/L CaCl ₂ ·2H ₂ O, 0,68 g/L KH ₂ PO ₄ , 0,856 g/L, Na ₂ HPO ₄ ·2H ₂ O, 0,06 g/L KSCN, 1,50 g/L KHCO ₃ , 0,03 g/L d'acide citrique
Ericsson	8,0 g/L NaCl, 0,4 g/L KCl, 0,6 g/L KH ₂ PO ₄ , 0,06 g/L Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O, 0,10 g/L MgCl ₂ ·6H ₂ O, 0,35 g/L NaHCO ₃ , 0,06 g/L MgSO ₄ ·7H ₂ O, 1,0 g/L glucose, 0,60 g/L Na ₂ HPO ₄ , 0,14 g/L CaCl ₂
Hank	8,0 g/L NaCl, 0,4 g/L KCl, 0,6 g/L KH ₂ PO ₄ , 0,06 g/L Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O, 0,10 g/L MgCl ₂ ·6H ₂ O, 0,35 g/L NaHCO ₃ , 0,06 g/L MgSO ₄ ·7H ₂ O, 1,0 g/L glucose, 0,60 g/L Na ₂ HPO ₄ , 0,14 g/L CaCl ₂
Klimek	Acide ascorbique (0,002 g), glucose (0,030 g), NaCl (0,580 g), CaCl ₂ (0,170 g), NH ₄ Cl (0,160 g), KCl (1,270 g), NaSCN (0,160 g), KH ₂ PO ₄ (0,330 g), urée (0,200 g), Na ₂ HPO ₄ (0,340 g), et mucine (2,700 g) dans 1 L d'eau distillée (pH 6,75)

Ces alliages Ni–Ti sont de composition chimique plutôt simple car centrée sur 50Ni–50Ti (en pds.%), par exemple 50.4 pds.% Ni–49.6 pds.% Ti. Ils sont généralement super-élastiques et possèdent des propriétés de mémoire de forme, et parmi les fabricants d'arc orthodontiques concernés figurent Ormco, Dentaurem, 3M Unitek, TP Orthodontics...

Les salives artificielles mises en œuvre pour leur caractérisation en corrosion, tribo-corrosion ... sont la salive humaine [05, 51, 53] mais surtout la salive de Fusayama–Meyer [20, 32], la salive de Fusayama [05] et ses versions modifiées [01, 27, 28, 39, 07]. Certains articles sur l'étude en corrosion des Ni–Ti exploitent aussi la salive Tani–Zuchi [03, 46], celle de Duffo [05], celle d'Ericsson [05], celle de Hank [05], celle de Klimel [18], celle de Belgrade [10] et la salive Biotene® de GlaxoSmithKline [33].

Le fluide corporel simulé (8.18 g/L NaCl, 0.22 g/L KCl, 0.13 g/L KH₂PO₄, 0.07 g/L Na₂SO₄, 0.35 g/L NaHCO₃, 0.36 g/L CaCl₂, 0.30 g/L MgCl₂) [05] et le sérum physiologique [14, 25, 26] ont aussi été utilisés. Il en est de même pour les produits de santé dentaires (fluorures, antiseptiques) tels que Orthokin Aqua® [45], Oral B® Aqua [45], Eludril-Classic® [10], Listerine® [10,33], Curasept ADS® [13], Gengigel® [13] ou encore Aquafresh Big teeth® [10]. Des bactéries peuvent être ajoutées telles que Desulfovibrio [09], Streptococcus mutans [48] ou encore Lactobacillus [48] pour plus de représentativité du milieu buccal. En dehors des salives

artificielles précédentes, les alliages Ni–Ti pour arcs ou sous forme d’arcs ont aussi été étudiés dans des solutions de nombreuses diverses compositions, plus ou moins complexes [02, 04, 05, 08, 11–13, 15, 17, 23–24, 29, 30, 34, 38, 45].

Conclusion

Ainsi, si les alliages pour arcs orthodontiques étudiés sur [2000, 2023] en corrosion dans un milieu simulant le milieu buccal ne sont pas très nombreux – dominés par les Ni–Ti, et à moindre échelle les aciers inoxydables – il n’en est pas de même pour les salives artificielles, même si la salive de Fusayama et des dérivés tiennent la corde. Une suite à cette exploration bibliographique pourrait être la comparaison des salives utilisées pour l’étude de la corrosion des arcs orthodontiques en Ni–Ti et celles des alliages pour autres dispositifs prothétiques tels que les armatures de prothèses fixées. Une autre étude de ce genre pourrait aussi porter sur les vingt-cinq dernières années du 20^{ème} siècle, pour mettre en évidence une évolution des alliages comme des salives artificielles utilisées.

Bibliographie

- [01] Huang, Her-Hsiung. Surface characterizations and corrosion resistance of nickel-titanium orthodontic archwires in artificial saliva of various degrees of acidity. *Journal of Biomedical Materials Research, Part A* (2005), 74A(4), 629-639
- [02] Mocnik, Petra; Kosec, Tadeja; Kovac, Janez; Bizjak, Milan. The effect of pH, fluoride and tribocorrosion on the surface properties of dental archwires. *Materials Science & Engineering, C: Materials for Biological Applications* (2017), 78, 682-689
- [03] Musa Trolic, Ines; Serdarevic, Nikolina Leona; Todoric, Zrinka; Budimir, Ana; Spalj, Stjepan ; Otmacic Curkovic, Helena. Corrosion of orthodontic archwires in artificial saliva in the presence of *Lactobacillus reuteri*. *Surface and Coatings Technology* (2019), 370, 44-52
- [04] Kosec, Tadeja ; Mocnik, Petra; Mezeg, Uros; Legat, Andraz; Ovsenic, Maja; Jenko, Monika; Grant, John T. Tribocorrosive study of new and in vivo exposed nickel titanium and stainless steel orthodontic Archwires. *Coatings* (2020), 10(3), 230
- [05] Mocnik, Petra; Kosec, Tadeja. Tribo-corrosion properties of a NiTi dental wire. *Materiali in Tehnologije* (2014), 48(4), 467-472
- [06] Arciniegas, M.; Manero, J. M.; Espinar, E.; Llamas, J. M.; Barrera, J. M.; Gil, F. J.. New Ni-free superelastic alloy for orthodontic applications. *Materials Science & Engineering, C: Materials for Biological Applications* (2013), 33(6), 3325-3328
- [07] Pulikkottil, Venith Jojee; Chidambaram, S.; Bejoy, P. U.; Femin, P. K.; Paul, Parson; Rishad, Mohamed. Corrosion resistance of stainless steel, nickel-titanium, titanium molybdenum alloy, and ion implanted titanium molybdenum alloy archwires in acidic fluoride-containing artificial saliva: an in vitro study. *Journal of Pharmacy and BioAllied Sciences* (2016), 8(Suppl. 1), 96-99
- [08] Stefański, Tomasz ; Kloc-Ptaszna, Anna ; Postek-Stefańska, Lidia. The effect of simulated erosive conditions on the frictional behavior of different orthodontic bracketwire combinations. *Dental and medical problems* (2019), 56(2), 173-177
- [09] Gopalakrishnan, Umarevathi; Thiagarajan, Kavitha; Felicita, A. Sumathi; Gosh, Pallabhi; Alshehri, Abdulrahman ; Awadh, Wael; Alzahrani, Khalid J.; Alzahrani, Fuad M.; Alsharif, Khalaf F. ; Halawani, Ibrahim F. ; et al. In-Vitro Assessment of the Corrosion Potential of an Oral Strain of Sulfate-Reducing Bacteria on Metallic Orthodontic Materials. *International Journal of Environmental Research and Public Health* (2022), 19(22), 15312

- [10] Bobic, Zoran; Kojic, Sanja; Stojanovic, Goran M.; Terek, Vladimir ; Kovacevic, Lazar; Terek, Pal. Nanotopography Evaluation of NiTi Alloy Exposed to Artificial Saliva and Different Mouthwashes. *Materials* (2022), 15(23), 8705
- [11] Kosec, Tadeja; Mocnik, Petra; Legat, Andraz. The tribocorrosion behaviour of NiTi alloy. *Applied Surface Science* (2014), 288, 727-735
- [12] Briceno, J.; Romeu, A.; Espinar, E.; Llamas, J. M.; Gil, F. J. Influence of the microstructure on electrochemical corrosion and nickel release in NiTi orthodontic archwires. *Materials Science & Engineering, C: Materials for Biological Applications* (2013), 33(8), 4989-4993
- [13] Rincic Mlinaric, Marijana; Karlovic, Sven; Ciganj, Zlatko; Acev, Darko Pop; Pavlic, Andrej; Spalj, Stjepan. Mechanical and chemical effects of interaction by Oral antiseptics on nickel-titanium alloys. *Odontology* (2019), 107(2), 150-157
- [14] Kobayashi, S.; Ohgoe, Y.; Ozeki, K.; Sato, K.; Sumiya, T.; Hirakuri, K. K.; Aoki, H. Diamond-like carbon coatings on orthodontic archwires. *Diamond and Related Materials* (2005), 14(3-7), 1094-1097
- [15] Rincic Mlinaric, Marijana; Kanizaj, Lidija; Zuljevic, Damir; Katic, Visnja; Spalj, Stjepan ; Otmacic Curkovic, Helena. Effect of oral antiseptics on the corrosion stability of nickel-titanium orthodontic alloys. *Materials and Corrosion* (2018), 69(4), 510-518
- [16] Mocnik, Petra; Kosec, Tadeja. A Critical Appraisal of the Use and Properties of Nickel-Titanium Dental Alloys. *Materials* (2021), 14(24), 7859
- [17] Trolic, Ines Musa; Turco, Gianluca; Contardo, Luca; Serdarevic, Nikolina Leona; Curkovic, Helena Otmacic; Spalj, Stjepan. Corrosion of nickel- titanium orthodontic arch wires in saliva and oral probiotic supplements. *Acta Stomatologica Croatica* (2017), 51(4), 316-325.
- [18] Titiz, Serap; Keskin Erdoğan, Zalike; Hames Tuna, Elif Esin; Aras, Aynur. Nickel Release and the Viability of *Streptococcus mutans* Corresponding to Low Risk of Dental Caries in Artificial Saliva Containing Orthodontic Appliances: In Vitro Study. *Turkish journal of orthodontics* (2022), 35(3), 157-165
- [19] Ahmed, Rasha A.; Farghali, R. A.; Alshahrani, Wafa A.. Influence of fluoride and/or bovine albumin on electrochemical properties of bare and ionic liquidcoated Ni₄₇Ti₄₉Co₄ orthodontic archwires in artificial saliva solution. *International Journal of Electrochemical Science* (2021), 16(12), 211230
- [20] Heravi, Farzin; Moayed, Mohamad Hadi; Mokhber, Nima. Effect of fluoride on nickel-titanium and stainless steel orthodontic archwires: an in-vitro study. *Journal of dentistry (Tehran, Iran)* (2015), 12(1), 49-59
- [21] Belasic, Tihana Zibar; Pejova, Biljana; Curkovic, Helena Otmacic; Kamenar, Ervin; Cetenovic, Bojana; Spalj, Stjepan. Influence of intraoral application of antiseptics and fluorides during orthodontic treatment on corrosion and mechanical characteristics of nickel-titanium alloy in orthodontic appliances. *The Angle orthodontist* (2021), 91(4), 528-537
- [22] Kaminski, J.; Malkiewicz, K.; Rebis, J.; Wierzchon, T. The effect of glow discharge nitriding on the corrosion resistance of stainless steel orthodontic arches in artificial saliva solution. *Archives of Metallurgy and Materials* (2020), 65(1), 375-384
- [23] Liu, Jia-Kuang; Liu, I-Hua ; Liu, Cheng; Chang, Chen-Jung; Kung, Kuan-Chen; Liu, Yen-Ting; Lee, Tzer-Min; Jou, Jin-Long. Effect of titanium nitride/titanium coatings on the stress corrosion of nickel-titanium orthodontic archwires in artificial saliva. *Applied Surface Science* (2014), 317, 974-981
- [24] Pun, Deo K.; Berzins, David W. Corrosion behavior of shape memory, superelastic, and nonsuperelastic nickel-titanium-based orthodontic wires at various temperatures. *Dental Materials* (2008), 24(2), 221-227
- [25] Kobayashi, Shinya; Ohgoe, Yasuharu; Ozeki, Kazuhide; Hirakuri, Kenji; Aoki, Hideki. Dissolution effect and cytotoxicity of diamond-like carbon coatings on orthodontic archwires. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* (2007), 18(12), 2263-2268
- [26] Zegan, Georgeta; Sodor, Alina; Munteanu, C. Surface characteristics of retrieved coated and nickel-titanium orthodontic archwires. *Romanian journal of morphology and embryology = Revue roumaine de morphologie et embryologie* (2012), 53(4), 935-9
- [27] Zhang, Chao; Sun, Xinhua; Zhao, Shuang; Yu, Wenwen; Sun, Daqian. Susceptibility to corrosion and in vitro biocompatibility of a laser-welded composite orthodontic archwire. *Annals of biomedical engineering* (2014), 42(1), 222-30

- [28] Segal, Nadav; Hell, Jess; Berzins, David W. Influence of stress and phase on corrosion of a superelastic nickel-titanium orthodontic wire. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* (2009), 135(6), 764-70
- [29] Gil, F. J.; Solano, E.; Mendoza, A.; Pena, J. Inhibition of Ni release from NiTi and NiTiCu orthodontic archwires by nitrogen diffusion treatment. *Journal of Applied Biomaterials & Biomechanics* (2004), 2(3), 151-155.
- [30] Carrion-Vilches, Francisco J.; Bermudez, Maria-Dolores; Fructuos, Paula. Static and kinetic friction force and surface roughness of different archwire-bracket sliding contacts. *Dental Materials Journal* (2015), 34(5), 648-653
- [31] Kobayashi, S.; Ohgoe, Y.; Ozeki, K.; Gei, Li; Hirakuri, K. K.; Aoki, H. Biocompatibility of diamond-like carbon coated NiTi orthodontic wire and acrylic resin teeth. *Key Engineering Materials* (2005), 284-286, 783-786
- [32] Hussain, Huma D; Ajith, Sreedevi D; Goel, Prachi. Nickel release from stainless steel and nickel titanium archwires - An in vitro study. *Journal of oral biology and craniofacial research* (2016), 6(3), 213-218
- [33] Abdulkader, Youssef Chikh; Kamaruddin, Anis F; Mydin, Rabiatal Basria S M N. Effects of salivary pH on coating durability of two different aesthetic archwire coatings under a simulated intraoral environment. *The Saudi dental journal* (2020), 32(6), 306-313
- [34] Kovac, Vito; Bergant, Matic; Scancar, Janez; Primožic, Jasmina; Jamnik, Polona; Poljsak, Borut. Causation of Oxidative Stress and Defense Response of a Yeast Cell Model after Treatment with Orthodontic Alloys Consisting of Metal Ions. *Antioxidants* (2022), 11(1), 63
- [35] Fan, Xusheng; Li, Zhihua; Shi, Hui; Liu, Xiang. Mechanical properties of thermodynamic nickel-titanium archwires in a simulated oral environment in vitro. *West China journal of stomatology* (2012), 30(2), 217-20
- [36] Gopalakrishnan, Umarevathi; Felicita, Sumathi; Ronald, Bsm; Appavoo, Elamurugan; Patil, Shankargouda. Microbial Corrosion in Orthodontics. *The journal of contemporary dental practice* (2022), 23(6), 569-571
- [37] Fan, Xu-sheng; Li, Zhi-hua; Liu, Xiang; Luo, Jun. Study of mechanical properties' secular variation of thermodynamic nickel-titanium archwires. *Shanghai journal of stomatology* (2012), 21(1), 36-40
- [38] Kovac, Vito; Poljsak, Borut ; Bergant, Matic; Scancar, Janez ; Mezeg, Uros; Primožic, Jasmina. Differences in Metal Ions Released from Orthodontic Appliances in an In Vitro and In Vivo Setting. *Coatings* (2022), 12(2), 190
- [39] Hosseinzadeh Nik, Tahereh; Hooshmand, Tabassom; Farzadaghi, Habibeh; Mehrabi, Arash; Razavi, Elham S Emadian. Effect of chlorhexidine-containing prophylactic agent on the surface characterization and frictional resistance between orthodontic brackets and archwires: an in vitro study. *Progress in orthodontics* (2013), 14, 48
- [40] Ionescu, Ionut-Cornel; Ionescu, Ecaterina. Orthodontic archwires and brackets may interact with mobile phones in close proximity. *Proceedings of the Romanian Academy, Series B: Chemistry, Life Sciences and Geosciences* (2012), 14(2), 135-142
- [41] Gürsoy, Seda; Acar, Ahu Güngör; Seşen, Çağla. Comparison of metal release from new and recycled bracket-archwire combinations. *The Angle orthodontist* (2005), 75(1), 92-4
- [42] Fourie, Zacharias; Ozcan, Mutlu; Sandham, Andrew. Effect of dental arch convexity and type of archwire on frictional forces. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* (2009), 136(1), 14.e1-7; discussion 14-5
- [43] Park, Ji-Hoon; Lee, Yong-Keun; Lim, Bum-Soon; Kim, Cheol-We. Frictional forces between lingual brackets and archwires measured by a friction tester. *The Angle orthodontist* (2004), 74(6), 816-24
- [44] Lin, Cheng-Wei; Chung, Chi-Jen; Chou, Chia-Man; He, Ju-Liang. In vitro wear tests of the dual-layer grid blasting-plasma polymerized superhydrophobic coatings on stainless steel orthodontic substrates. *Thin Solid Films* (2019), 687, 137464
- [45] Jamilian, Abdolreza; Moghaddas, Omid; Toopchi, Shabnam; Perillo, Letizia. Comparison of nickel and chromium ions released from stainless steel and NiTi wires after immersion in Oral B®, Orthokin® and artificial saliva. *The journal of contemporary dental practice* (2014), 15(4), 403-6

- [46] Acev, Darko Pop; Katic, Visnja; Turco, Gianluca; Contardo, Luca; Spalj, Stjepan. The coating of a NiTi alloy has a greater impact on the mechanical properties than the acidity of saliva. *Materiali in Tehnologije* (2018), 52(4), 469-473
- [47] Anuradha, P.; Varma, N. K. Sapna; Balakrishnan, Avinash. Reliability performance of titanium sputter coated Ni-Ti arch wires: Mechanical performance and nickel release evaluation. *Bio-Medical Materials and Engineering* (2015), 26(1-2), 67-77
- [48] Hasipek, Selcan; Senisik, Neslihan Ebru; Cetin, Emel Sesli. An examination of bacterial colonisation on nickel-titanium arch-wires with different surface properties. *Journal of Clinical and Diagnostic Research* (2019), 13(6), ZC01-ZC06
- [49] Zhu, Ping; Lin, Han; Han, Yi; Lin, Yi; Xu, Yue; Zhang, Zhaoqiang. A computational fluid dynamic analysis of peri-bracket salivary flow influencing the microbial and periodontal parameters. *PLoS One* (2013), 8(4), e62242
- [50] Navarro-Palacios, Alejandra; García-López, Eliezer; Meza-Rios, Alejandra; Armendariz-Borunda, Juan; Sandoval-Rodríguez, Ana. Myeloperoxidase enzymatic activity is increased in patients with different levels of dental crowding after initial orthodontic activation. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* (2014), 146(1), 92-7
- [51] Ousehal, Lahcen; Lazrak, Laila. Change in nickel levels in the saliva of patients with fixed orthodontic appliances. *International orthodontics* (2012), 10(2), 190-7
- [52] Hain, Max; Dhopatkar, Ashish; Rock, Peter. A comparison of different ligation methods on friction. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* (2006), 130(5), 666-70
- [53] Venza, M.; Visalli, M.; Ruggeri, P.; Cicciu, D.; Teti, D. Age-related salivary polyamine increase in adolescents wearing orthodontic Ni-Ti archwires. *Amino Acids* (2002), 22(2), 119-130
- [54] Smiech-Slomkowska, Grazyna; Jablonska-Zrobek, Joanna. The effect of oral health education on dental plaque development and the level of caries-related *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus* spp. *European journal of orthodontics* (2007), 29(2), 157-60
- [55] Sharma, Ravish; Sharma, Kavita; Sawhney, Rajesh. Evidence of variable bacterial colonization on coloured elastomeric ligatures during orthodontic treatment: An intermodular comparative study. *Journal of clinical and experimental dentistry* (2018), 10(3), e271-e278