***Dirasat*: Human and Social Sciences, Volume 50, No. 6, 2023**

Deanship of Scientific Research

Semiotics... Introduction to "Signs Computing"

Mohamed Eddahbi*

Department of Arabic language and literature, Faculty of Letters & Humanities Sais, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fes, Morocco.

Received: 11/9/2021
Revised: 9/1/2022
Accepted: 24/11/2022
Published: 30/11/2023

* *Corresponding author:*
dahabi_88@hotmail.com

Citation: Eddahbi, M. (2023). Semiotics. Introduction to "Signs Computing". *Dirasat: Human and Social Sciences*, *50*(6), 10–17. https://doi.org/10.35516/hum.v50i6.6517

© 2023 DSR Publishers/ The University of Jordan.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Abstract

Objectives: Figuring out the importance of the semiotic perspective in computing signs. in addition to setting up databases that can be invested in designing flexible applications of the automated diacritization, automated translation.

Methods: It is designed as follows a theoretical part dedicated to evoking some of the manifestations of the flexibility of semiotics, as well as mentioning some studies that have taken semiotics as their general framework for analysis, such as kinaesthetics and computational semiotics. An applied part in which a model based on semiotic concepts is presented to set up a synthetic database for the Arabic language, the automated diacritization as a model.

Results: With its theoretical concepts and applied procedures, semiotics can serve as a basic entry for signs computing.

Conclusions: The study recommends researchers to evoking semiotics during the automated processing of the Arabic language and its culture, both theoretical and applied, to overcome the inadequacies of the Arabic language applications and software.

Keywords: The sign, kinesics, the computational semiotics, database, the functional elements.

السيميائيات... مدخلا لحوسبة العلامات

محمد الدهبي*

قسم اللغة العربية وآدابها، كلية الآداب والعلوم الإنسانية سايس فاس، جامعة سيدي محمد بن عبد الله، المغرب

ملخّص

الأهداف: الكشف عن أهمية المنظور السيميائي في حَوْسَبَةِ العلامات، وفي إنشاء قواعد البيانات التي يمكن استثمارها لتصميم تطبيقات مرنة في التشكيل الآلي، والترجمة الآلية، والتعليم أو التعلم الآلي...

المنهجية: جاءت على النحو الآتي: شق نظري، جرى فيه استحضار بعض من تجليات مرونة السيميائيات، مع ذكر بعض الدراسات التي اتخذت السيميائيات إطارا عاما لها في التحليل، كالكينيزية والسيميائيات الحاسوبية. وشق تطبيقي، جرى فيه إعطاء نموذج يستند إلى المفاهيم السيميائية لبناء قاعدة بيانات تركيبة للغة العربية، التشكيل الآلي أنموذجا. وقد اقتُصِرَ على ما هو تركيبي لعلاقته المباشرة مع التشكيل الآلي المختَبَر في برنامجين هما: "المشكِّل الآلي" و"مِشكال".

النتائج: جرى استنتاج: أن السيميائيات، بمفاهيمها النظرية وإجراءاتها التطبيقية، تصلح أن تكون مدخلا أساسا لحوسبة العلامات، وأن حوسبة اللغة العربية، استنادا إلى السيميائيات، قد أصبح ضرورة ملحة لتجاوز التحديات التي تعترض حوسبة العلامات.

التوصيات: توصي الدراسة الباحثين باستحضار السيميائيات في المعالجة الآلية للغة العربية وثقافتها تنظيرا وتطبيقا، لتجاوز نقائص تطبيقات وبرمجيات... اللغة العربية.

الكلمات الدالة: العلامة، الكينيزية، السيميائية الحاسوبية، التكافؤ السيميائي، قواعد البيانات، العناصر الوظيفية.

المقدمة:

إذا كان "بيرس" يعدُّ الإنسان علامة، وأكد بصريح العبارة أنه لم يكن بإمكانه "أبدا دراسة أي شيء كيفما كان (...) إلا بصفته دراسة سيميوطيقية" (as cited in Ducrot and Todorov, 1972, p 113)، وإذا كانت جماعة "موسكو تارتو" قد أعلنت في مؤتمرها المنعقد بموسكو سنة 1962 "أن الإنسان، وكذلك الحيوانات، وأيضا الآلات (في إطار علم السبيرنيطيقا) تلجأ إلى العلامات" (ابراهيم، والغانمي، وعلي، 1990، ص 107)، وإذا كان غيرهما، وهم كثر، قد كتبوا في مجالات عدة من منظور سيميائي، وأحدثوا إلى جانب السميائيات السردية والسيميائيات التأويلية والسيميائيات البصرية... سيميائيات أخرى ذات أبعاد كونية أو شعورية أو فزيائية، كما في سيمياء الكون وسيمياء العواطف وسيمياء الضوء، فإنه من الضروري النظر أيضا إلى بيانات اللغات التي يراد حوسبتها من خلال هذه الزاوية السيميائية، بما لها من شمولية في التحليل بأدواتها الإجرائية المرنة، وبكفاءتها في التعامل مع العلامات بمختلف أنواعها: اللغوية وغير اللغوية.

على هذا الأساس، جاء هذا المقال ليكشف وجها آخر جديدا للسميائيات، يستمد شرعيته من الطفرات الكبيرة التي عرفتها تكنولوجيا القرن الواحد والعشرين، خاصة في مجال الذكاء الاصطناعي الذي ما يزال فيه المختصون يسعون إلى جعل الآلة قادرة على التواصل مع الإنسان على نحو تفاعلي كبير، يقترب أو يضاهي، (وربما قد يفوق)، تفاعلَ الإنسان مع أخيه الإنسان (لحلح، 2020، ص 65).

ولأن الآلة بهذا الشكل ستصبح طرفا من أطراف الخطاب الذي يقوم فيه التفاعل على دورة كلامية بين متكلم ومخاطب، فإن السبيل الأمثل لتحقيق ذلك هو حوسبة العلامات، وهو أمر يجعلنا أمام تحديات كبيرة بتساؤلات عدة، أبرزها التساؤل الآتي: كيف يمكن الإفادة من السميائيات في حوسبة العلامات؟

1. من اللغة إلى اللغات

لقد أحدثت السميائيات منذ ظهورها، بصفتها علما، طفرة كبيرة في التعامل مع الظواهر بجميع تجلياتها الكونية؛ حيث لم يعد الدرس السيميائي في عموميته يميز داخل التواصل الإنساني، إلا بإكراه التحليل الإجرائي، بين لغة الخطاب ملفوظة أو مكتوبة، ولغات أخرى "أولية"، حسب تعبير دولاكروا (as cited in Buyssens, 1970/2017, p 102)،، لها علاقة بالجسد واللباس والزمان والمكان، وبتقاليد وعادات الوسط الاجتماعي والثقافي الذي أنتجت فيه تلك اللغات، وبكل ما يندمج مع أنساق التعبير الرمزية الأخرى من أشكال وأصوات (علي، وحجازي، 2005، ص 306).

بهذا الاعتبار، تشجع السيميائيات الباحثين "على عدم إهمال أي وسيلة اتصال واعتبارها أقل أهمية من غيرها"(Chandler, 2003/2008, p 372) ، وعليه يمكن اعتبار "اللغة" (أي لغة) مفرَدَة الصيغة شكلا ومتعددة الصيغ مرجعا، أي أنها لغة تشير إلى لغات، أو بتعبير سيميولوجي، "علامةٌ" تتمظهر بصفة لسانية أو غير لسانية، أو بهما معا ما دام الفصلُ بين لسان الذات المتكلمة وبين سجلات التواصل الجسدي الخاص بها مستحيلا (بنكراد، 2004، ص 12).

واللغة العربية، كغيرها من اللغات، أمام هذا التحدي السيميولوجي الذي يقتضي منها مواكبة جميع التطورات، خاصة في حقل التكنولوجيا ومجال الذكاء الصناعي، وبالضبط، في تخصص التفاعل بين الآلة والإنسان (Interaction Homme-Machine) حيث "مقدار الوقت والطاقة البشرية المخصصة للتفاعل مع الأنظمة الرقمية ارتفع عاما بعد عام خلال العقدين الماضيين"(Shackell, 2018, p 225) وهو ما ينبئ بمستقبل قد تحل فيه الآلة محل البشر في أدوار المرسِل والمستقبِل، كما تم اعتماد ذلك من خبراء الذكاء الاصطناعي (Andersen, 1997, p 137).

إن هذا التحدي السيميولوجي لا يمكن تجاوزه إلا بالتعامل مع اللغة العربية بمنطق اللغات المتعددة وليس بمنطق اللغة الواحدة؛ حيث لم يعد مقبولا، في ظل التطور الهائل للبحث السيميائي الراهن، اختزال "اللغة العربية" في بعدها اللساني دراسة وتحليلا، ولا اعتبارها شيئا آخر غير "العلامة"، ما دامت السيميائيات، كما يراها "أمبرطو إيكو" (Umberto Eco) هي "منطق الثقافة" (as cited in De Souza, 2005, p 40)، أي "هي دراسة للثقافة باعتبارها النموذج الكلي الذي يشتمل على كل حالات التواصل الإنساني" (بنكراد، 2004، ص 03).

من هنا يمكن النظر إلى اللغة العربية باعتبارها "علامة" تختزل لغات كثيرة، كلغة الخطاب، ولغة الجسد، ولغة المكان، ولغة الزمان، ولغات أخرى خفية، تحت لغوية أو فوق لغوية "كالتقاليد الأدبية" (Scholes, 1982/1994, p 248)، تتعاضد في ما بينها لتشكل في النهاية هوية الإنسان "العربي"، كما تتشكل هوية الأمريكي والأوروبي والأمازيغي ومختلف شعوب العالم بلغاتهم الخاصة، مع الأخذ بعين الاعتبار تداخل بعض المجتمعات في لغات معينة، لسانية أو جسدية أو زمكانية...، وهو ما يؤدي إلى تداخل الهويات، بل أكثر من ذلك، إلى إفراز حالات من النشوز بين السلوك اللساني وغير اللساني، ك "حالات العمال المهاجرين وطريقتهم في مفصلة اللفظي والإيمائي في خطاب تصاغ حدوده باللغة الفرنسية، (...) فالمستمع إلى هؤلاء يخيل إليه أنهم يتكلمون اللغة الفرنسية بجسد عربي. وهي أيضا الحالة التي تمثلها المسلسلات المكسيكية المدبلجة بالعربية" (بنكراد، 2004، ص 12).

إن هذا الترابط بين اللساني وغير اللساني، هو ما يعطي السيميائيات، من جهة، أهميتها في النظر إلى كل مظاهر الكون بصفتها علامات، ومن جهة أخرى، هو ما يجعلها مدخلا أساسا ومرنا لحوسبة تلك العلامات، ويجعل "المسار السيميوطيقي"، كما يؤكد نبيل علي، "أكثر مسارات الإنتاج المعرفي ملاءمة للوضع العربي سواء تنمويا أو إبداعيا" (علي، 2009، ص 256)، شرط التعامل مع هذا المسار بصفته منطقا سيميائيا عاما يستفيد من مختلف العلوم لمَفْصَلَة العلامات، كما نجد في التصورات النظرية للكينيزية والسيميائية الحاسوبية.

2. الكينيزية ونظرية السميائية الحاسوبية

1.2 الكينيزية

يؤكد "راي بيردوايستل" (Birdwhistell, 1970, p 80) (المؤسس للتصور الكينيزي)، "أن البنية الحركية موازية للبنية اللغوية"، وهو ما جعله يخصص أبحاثا كثيرة لمحاولة "مفصلة الحركات"، مستحضرا في ذلك، ولو على نحو ضمني، البعد السيميائي بصفته إطارا عاما لأطروحته التي يرى فيها "أن سلوك حركة الجسم، كالسلوك الصوتي، يتكون من قائمة محدودة (...) من العناصر المميزة التي يمكن دمجها من خلال قواعد الترميز، في عدد لا حصر له من التوليفات المنظمة التي ترتب الجوانب التواصلية للسلوك البشري".(Birdwhistell, 1970, p 96)

إن فكرة العناصر المميزة (éléments distinctifs) لحركة ما عن غيرها من الحركات عند "بيردوايستل"، هي نفسها السمات المميزة (traits distinctifs) لصوت ما عن غيره من الأصوات عند "ياكبسون" (Jakobson, 1978/1994, p 115)، ولأن تلك السمات هي التي تعطي الفونيم وظيفة تمييزية يدخل بها في علاقات تقابلية مع غيره من الفونيمات، فإن العناصر المميزة بدورها تعطي "الحركة" قيمة تمييزية من جهة، ومن جهة أخرى، تجعلها قابلة للدخول في علاقات مختلفة مع ملفوظ أو حركة معينين.

وإذا كان هذا كما نراه بعدا بنيويا في التحليل، فإن بعده السيميائي يتجلى في تعامل "بيردوايستل" مع حركات الجسد بصفتها علامات، مجسدا بذلك مقولة "بيرس"، أو شيئا منها: "الإنسان علامة". ويتأكد ذلك بتقسيمه لجسم الإنسان إلى ثمانية أقسام، مستخدما له نظاما ترميزيا حدّده من خلال مجموعة من الأشكال الرمزية التي يشير منها كل رمز إلى حركة خاصة من حركات الجسم (Birdwhistell, 1970, p 257).

كما يحضر البعد السيميائي التأويلي في أبحاث "بيردوايستل" الحركية، في تأكيده أهمية السياق الاجتماعي لفهم معاني الحركات؛ حيث شبه الإيماءات بأشكال الجذوع في اللغة، فكما يحتاج الجذع أحيانا إلى بادئة (préfixe) أو لاحقة (suffixe) تحتاج الإيماءات كذلك إلى سلوك يرافقها لتحديد وظيفتها التفاعلية، وهذا ما يجعلنا كما يقول: "نحتاج إلى بيانات واضحة في ما يتعلق ببنية السياقات الاجتماعية للأحداث التواصلية" (Birdwhistell, 1970, p 96).

إن مفهوم "البيانات" التي طالب بها "بيردوايستل"، يحيلنا إلى مفهوم الحوسبة التي تقوم على جمع البيانات الدقيقة في المجال المراد حوسبته، وهو ما يجعل من أبحاث "بيردوايستل" بحوثا حوسبية توفر قاعدة بيانات حركية، يمكن الاسترشاد بها لخلق "سيميائيات حركية" تكون فرعا من السيميائيات البصرية. ولأن "أساليب تنظيم حركة الجسم في السلوك التواصلي للمجتمعات المختلفة قد تكون متغيرة مثل الهياكل اللغوية لتلك المجتمعات" كما يؤكد (Birdwhistell, 1970, p 81)، فإن توفير قواعد بيانات حركية "عربية" سيكون ضرورة ملحة في الوقت الراهن، بَلْهَ المستقبل، للانصهار في ثقافة الذكاء الاصطناعي التي تسعى، في مجال التواصل بين الآلة والإنسان، إلى خلق آلات، (أو على الأقل إعطاء انطباع بأن هذه الآلات) "تؤدي عمليات معرفية مماثلة للتواصل البشري، والفهم، والاستدلال، والتخطيط، والشعور" (Andersen and Holmqvist, 1990, p 293).

2.2. نظرية السيميائية الحاسوبية

أشار "مونيي" (Meunier, 2017) أن الربط بين السيميائيات والحساب لم يتم على نحو صريح إلا في العقدين الأخيرين، ونتج عن ذلك ظهور اتجاهين اثنين:

. **الاتجاه الأول:** يرى الحاسوبَ "آلةً سيميائية"، أي أن التعامل معه يجب أن يتم باستحضار المفاهيم السيميائية الأساس، كالسيميوزيس، والرمز، والمؤشر، والأيقونة...، وغيرها من المفاهيم ذات الطابع المنطقي الذي ينعكس بعِلْمِيَّتِه كما يقول "نادين" (Nadin, 1988, p 273) "في الطبيعة العلمية للحاسوب". هذا الاعتقاد، أفرز عدة مشروعات في مجال الذكاء الاصطناعي، كالبرمجة، وتصميم الحاسوب، والربوتات، والتفاعل بين الآلة والإنسان.. فمثلا يؤكد "نادين"، وهو بصدد تصميم واجهة للمستخدم بنموذج سيميائي، أن "مبادئ التصميم سيميائية بطبيعتها" (Nadin, 1988, p 269)، ويضيف: "إذا كان هناك علم للواجهة (واجهة حاسوب أو أي نوع آخر) فهذا العلم هو علم السيميائية، والسيميائية المنطقية التي أنشأها بيرس تبدو مناسبة للواجهة" (Nadin, 1988, p 272).

وكما طالب "بيردوايستل" السيميائية ولو ضمنيا بضرورة توفير بيانات واضحة في ما يتعلق ببنية السياقات الاجتماعية للأحداث التواصلية، فإن "نادين" بدوره طالبها بتوفير "الوسائل اللازمة المطلوبة" (Nadin, 1988, p 300) لتحقيق تصميم المنتجات، وهندسة البرمجيات، والأجهزة...

. **الاتجاه الثاني:** يرى "أن العلامات والرموز التي تدرسها السيميائيات يمكن معالجتها وتحليلها بطريقة حاسوبية" (Meunier, 2017, p 78) وهذا التصور كما يؤكد "مونيي"، يوجد في اللسانيات، والعلوم الإنسانية، والآداب، والتواصل، والإعلام، "حيث يتم وصف وشرح بعض الجوانب السيميائية استنادا إلى المفاهيم والنظريات ذات الطبيعة الحسابية" (Meunier, 2017, p 77).

ومن بين المشروعات البحثية التي تنتمي إلى هذا الاتجاه: التحليل السيميائي الحاسوبي للغة الطبيعية (Dexles,1997)، والتحليل الدلالي (Rieger,1999)،والتواصل بين الآلة والإنسان (Andersen,1991)، والعلوم الإنسانية الرقمية التي عرفت دينامية مذهلة في الآونة الأخيرة (Meunier, 2017, p 78).

وعلى الرغم من أن كل مجال من هذه المجالات يختص بمفاهيم نظرية وإجراءات تطبيقية خاصة، فإن حقل التواصل بين الآلة والإنسان يتضمنها جميعا؛ حيث يقتضي وجودَ قواعد بيانات صوتية وصرفية وتركيبة ودلالية، وكذا قواعد بيانات تداولية تشمل السياق بمختلف تجلياته: الزمان، والمكان، والحركة، والمعتقد، واللباس، وغيرها من العلامات التي تقتضي نمذجتُها استدعاء "نظرية العلامة".(Hausser, 2014, p 103)

يتضح إذن من توجهات هذين الاتجاهين، رغم ما يوجه إليهما من انتقادات، أن السيميائيات مدخل أساس، ليس لحوسبة العلامات فحسب، وإنما أيضا لتصميم أنظمة الحاسوب بهندسة سيميائية تجمع، كما يقول "دي سوزا"، "بين السيميائية وحقل التفاعل بين الآلة والإنسان (HCI)، بطريقة موجزة ومنسقة لأجل دعم تنظيم المعرفة، وإنشاء طرق بحث مفيدة للتحليل والتوليف" (De Souza, 2005, p 04).

3. السيميائيات.. مدخلا لإنشاء قواعد البيانات للغة العربية (قاعدة بيانات تركيبية أنموذجا)

استثمارا للبعد السيميائي في توجهه القائل إن العلامات والرموز التي تدرسها السيميائيات يمكن معالجتها وتحليلها بطريقة حاسوبية، يجب على الباحثين، كل في مجاله، توفير قواعد بيانات للعلامات بمختلف أنماطها، تكون زادا للمهتمين بإدماج اللغة (اللغات) العربية في الهندسة المعلوماتية وتصميم أنظمة الحاسوب، وهو مطلب يزداد تأكيدا باكتشاف الدور الكبير الذي تلعبه البيانات واستخراج خصائص اللغة منها في دقة النمذجة (العصيمي، 2019، ص 107).

وإذا كانت هناك تطبيقات عربية للتشكيل الآلي للنصوص، والقراءة الآلية، والترجمة الآلية، والتصريف الآلي...، فلأنها تستند إلى قواعد بيانات جامعة لخصائص الحقل الدلالي المعالَج. إلا أن ما يلاحظ في تلك الحقول هو عدم دقتها في تقديم الخدمات، وهو ما يشير إلى احتمالية قصور المنهج المتبع في ذلك (شتيوي، وداني، 2021، ص 105)، قصور تكمن وراءه أسباب متعددة منها: ما تتميز به اللغة العربية من مرونة في التركيب والاشتقاق...، "تجعل من خوارزميات الذكاء الاصطناعي أقل قدرة على نمذجة اللغة" (العصيمي، 2019، ص 101-102). ومنها أيضا (وهو سببٌ أساس راهن) عدم دقة قواعد البيانات أو الخوارزميات التي تستند إليها تلك التطبيقات (العصيمي، 2019، ص 117)؛ حيث تتم معالجة أغلبها على نحو معزول عن نظامها العام الذي تدخل به في علاقات أفقية أو رأسية مع غيرها من العلامات، وهو ما يستدعي، لتجاوز تلك النقائص، المنطقَ السيميائي الذي يرى، كما يؤكد "إيكو"، أنه "لا يمكن التفكير في العلامة من دون مراعاة ما يميز حضورها في السياق" (Eco, 1984/2005 p 62)، إضافة، كما يؤكد "نادين"، إلى أن "استخدام اللغات الطبيعية يمكن أن يصبح ممكنا فقط في أجهزة الحاسوب التي تطبق منطق هذه اللغات" (Nadin, 1988, p 300).

انطلاقا من هذا المبدأ السيميائي، يمكن الوقوف على نموذج من نماذج قواعد البيانات التي تنطلق من بعض تطبيقات التشكيل الآلي القائمة على البيانات التركيبة، نظرا إلى الحاجة الماسة إلى نظرة جديدة لمسألة التشكيل الذي يُعد في الكتابة العربية "أكبر المعضلات أمام نُظم معالجتها الآلية" (علي، 1988، ص 206)، على الرغم من أنه وثيق الصلة، في معظم أحواله، بالموجهات اللغوية داخل النص أو الخطاب، كما سيتضح من خلال ما يأتي:

- **قاعدة بيانات تركيبية (التشكيل الآلي أنموذجا)**

سأستحضر بهذا الصدد أداتيْن للتشكيل الآلي، هما:

المشكِل الآلي: (https://tashkeel.alsharekh.org/) الذي وردت في واجهة التعريف به مجموعة من المعلومات منها:

- أنه أداة تشكّل النصوص العربية بدقة تصل إلى 95%.
- الاعتماد على مجموعة من القواعد النحوية للجملة العربية، يُستنتج من خلالها تشكيل الكلمة حسب موقعها في الجملة.
- الاعتماد على مجموعة من قواعد البيانات اللغوية.
- الاعتماد على مدونة لغوية مُرَمَّزَة صرفيا ونحويا مكونة من سبعة ملايين كلمة، التي فكّ لبسها مجموعة من اللغويين المتخصصين.
- **مِشْكال**: (https://tahadz.com/mishkal/) الذي تؤكد واجهة توثيقه ما يأتي:
- أن من مزاياه التشكيل الآلي للنصوص العربية، مع إمكانية تصحيح المستخدِم للتشكيل المقترح، وهو ما يجعل من الإصدار الحالي التجريبي مساعدا للتشكيل أكثر من كونه تشكيلا آليا.
- أن خوارزميات التشكيل تقريبية، ونتائجها غير دقيقة، وبعض النصوص تحتمل أكثر من حالة، وتحتاج إلى فهم النص (إجابة عن سؤال شائع: لماذا التشكيل سيء؟)
- أن مِشكال برنامج مفتوح المصدر.

نرى أن "المشكِل الآلي" يتم فيه التأكيد على الدقة والاحترافية في الإنشاء بنسبة كبيرة، عكس "مِشْكال" الذي يصرح بأن الإصدار تجريبي ليس غير، ومفتوحُ المصدر، فاتحا أمام المطورين والمستخدِمين، على حد سواء، إمكانية المساهمة في تطوير المشروع، ما دامت البرمجيات مفتوحةُ المصدر تنمو، كما يقول نبيل علي (2009، ص 270) "من خلال المشاركة في عمليات التصميم والتطوير والاختبار".

ومهما اختلف التوجه ودرجة التأكيد في الأداتين، فإنهما يشتركان في كونهما تطبيقين متاحين للاستعمال، وعليه فإن معيار التحقق من صحة قواعد

بياناتهما (وخلفيات اشتغالهما على نحو عام) هو "المستخدِم"، عن طريق اختبارهما بجمل ونصوص مختلفة تبين مدى استحضارهما في تشكيل الكلمة موقعَها داخل الجملة، وأيضا، طبيعة الكلمات التي ترتبط بها بعلاقات قبلية أو بعدية.

ولأن دراسة أكثر من مثال يحتاج إلى فصول، وهو ما لا تسمح به طبيعة الورقة البحثية، فإنني سأقتصر فيما يسميه نهاد الموسى بـ "التوصيف" (الموسى، 2003، ص ص 244-267)، على كلمة واحدة هي ["من"] التي تحتمل في التشكيل أن تكون موصولة أو استفهامية "مَنْ"، أو أن تكون حرف جر "مِنْ"، أو فعلا ماضيا "مَنَّ"، أو فعل أمر أو مبنيا للمجهول "مُنَّ"، أو اسما "مَنٌّ".

نرى من خلال هذا التنوع في التشكيل أن كلمة ["من"] تتمظهر بخمس صور في البنية وأكثر من تسع صور في الدلالة، أي أنها ذات جِناسين: جناس خطي (Homograph) تتمظهر به الكلمة بهيئة واحدة في الإملاء وهيئات متعددة في النطق، وجناس لفظي (Homonyms) تتخذ به الكلمة صورة واحدة في الإملاء والنطق مع اختلاف الدلالة (الرفاعي، 2017، ص 109-110)، وهو ما يقتضي، في إعداد بيانات تشكيل ["من"] آليا، دقة كبيرة في تحديد الخصائص التي تجعلها على صورة معينة دون الصور الأخرى في التركيب، أي ما يجعلها حرف جر مثلا وليس اسم استفهام أو موصول..

باختبار درجة دقة تشكيل "من" في التطبيقين المذكورين، (يوم 06.09.2021) توضحت بعض النتائج الآتية:

مِنْ فِي الدَّارِ (في التطبيقين معا). مِنْ هُوَ فَاتِحُ الْأَنْدَلُسِ (في التطبيقين معا). إِنَّ مِنْ عَلَيْكَ اللَّهُ (المشكل الآلي). إِنَّ مَنْ عَلَيْكَ اللَّهِ (مشكال). إَنَّ مِنْ يَدْخُلُ (المشكل الآلي). إِلَى مِنْ سَأَحِنُّ (المشكل الآلي).

هناك خلل في التشكيل كما نلاحظ، ومَرَدُّه عدمُ الأخذ بعين الاعتبار، في قواعد البيانات المعتمدة في التطبيقين، البعدَ السيميائي لـ **["من"]**، بصفتها علامة سيميائية تدخل مع غيرها من العلامات الأخرى في علاقات متعددة، ولكنها خاصة، ما يجعلها قابلة للضبط باستحضار المفاهيم السيميائية. فكيف يتم ذلك؟

على غرار السمات المميزة للفونيم عند "ياكبسون"، والعناصر المميزة للحركة عند "بيردوايستل"، يمكن الاسترشاد بمفهوم آخر سيميائي بامتياز، هو مفهوم "العناصر الوظيفية" عند "بويسنس"، الذي يميز بين "**الفعل السيميائي**" (act sémique) الذي "هو باختصار، سلوك ملموس غايته التعريف بحالة وعي ملموسة" (Buyssens, 1970/2017, p 61) و"**السيمياء**" (sème) التي هي مجموعة من العناصر الوظيفية المميزة لفعل سيميائي ما. معنى هذا أن الفعل السيميائي الملموس يضم "زوائد" صوتية أو حركية أو غيرهما، تختلف من شخص لآخر ومن وضعية لأخرى. وعمل السيميائي، كما يؤكد "بويسنس"(Buyssens, 1970/2017, p 57) ، لا يتمثل في وصف هذا الفعل السيميائي كما يراه، وإنما في البحث فيه عن عناصره الوظيفية التي تُكسبه هويته، عن طريق إزالة "الزوائد" إلى أن يصل إلى مادته الخام التي تكون ثابتة، وهكذا، حاضرةً في هذا الفعل مهما تكرر في وضعيات مختلفة ومن أشخاص مختلفين.

وتتم تصفية (فَلْتَرَة) الفعل السيميائي عند "بويسنس" بـ "**التجريد**"[1] (Buyssens, 1970/2017, p 52) وهو ملكة إنسانية يستطيع بها الشخص عزل سلوك من بين "سلوكات" أخرى داخل مجتمع يحكمه سَنَن معين، كما يحدث في "الكتابة" التي يعدّها وسيلة لتسجيل التجريد في الملفوظ (Buyssens, 1970/2017, p 57) بصفته فعلا سيميائيا يختلف من شخص لآخر باختلاف الجنس (ذكر وأنثى)، أو العمر (كبير صغير)، أو التنغيم، أو التأتأة...

على أساس هذه المفاهيم البويسنسية، يمكن اعتبار **["من"]** في الأمثلة السابقة وغيرها، **فعلا سيميائيا عاما**، يضم بالتشكيل مجموعة من الأفعال السيميائية الخاصة؛ حيث "مِنْ" فعل سيميائي أول، و"مَنْ" فعل سيميائي ثان، و"مَنَّ" فعل ثالث...، وكل فعل من هذه الأفعال السيميائية يحتاج إلى استخراج عناصره الوظيفية المميزة له عن غيره، وهذا معناه استدعاء عملية التجريد، ليس للكتابة التي هي أساسا تجريد من الملفوظ يدركه الإنسان، ولكن لأجل تجريد آخر ذي طابع حاسوبي يقتضي استحضار ما يسميه إيكو "الموجه اللغوي" (Eco, 1984/2005 p 105)، أي تلك العلاقات القبلية والبعدية لكل فعل سيميائي.

بهذا الاعتبار، يكون التجريد الأول بخصوص الفعل السيميائي ["من"] هو ما يأتي: إما أن تكون ["من"] مبتدَأ بها في الفقرة، وإما أن تكون وسطها، وإما أن تكون آخرها. وسأقتصر هنا على مناقشة الحالة الأولى.

- **الحالة الأولى:** حينما تكون ["من"] مبتدأ بها في الفقرة سنقوم باستحضار العلاقات البعدية فقط، بالنظر أولا إلى الكلمة التي تليها مباشرة لتحديد طبيعتها التي تنحصر في ما يأتي: حرف، فعل، اسم. وسأقتصر أيضا هنا على تحليل حالة الحرف بمثال واحد، هو: **"من في الدار"**.

في هذه الحالة التي تكون فيها الكلمة البعدية حرفا، فإنه يجب أولا تحديد نوعه (حرف جر، حرف عطف، حرف استفهام...)، ويتم هذا بإعداد قاعدة بيانات للحروف تحدد سمات كل حرف ومعانيه لتطبيق أي تجريد جزئي يتم الوصول إليه، كالتجريد النحوي المانع مثلا من تتابع حرفين لهما

([1]) يشبه ما يسمى في تصميم أنظمة المعلومات بـ "النموذج المنطقي" (Logical System model) الذي يركز على تبيان الأنشطة أو العمليات الجوهرية في النظام (برهان، 1998، ص 194).

الوظيفة نفسها في الكلام. لذلك فجملة **"من في الدار"** التي شكّلها التطبيقان هكذا: **"مِنْ فِي الدَّارِ"** كان يجب أن تستند إلى هذا المبدأ في البرمجة، لجعل الآلة تَعْرِف أن تتابع هاتين الكلمتين (الرقمين أو الشكلين بمنطق الحاسوب) لا يمكن ما دامت لهما الخصائص نفسها.

لنتأمل في السلسة الآتية:

"من"= + كلمة + [[حرف + (جر)]؛ [فعل + (أمر؛ ماض + (مبني للمجهول؛ مبني للمعلوم + (لازم؛ متعد + (بنفسه؛ بحرف)))))]؛ [اسم + ظاهر + (ذات؛ موصول؛ استفهام)]]

تبين هذه السلسة بأن ["من"] **فعل سيميائي عام**، أي أنها كلمة قد تكون حرف جر (مِنْ)، أو فعل أمر (مُنَّ)، أو فعلا ماضيا مبنيا للمجهول (مُنَّ)، أو فعلا ماضيا مبنيا للمعلوم لازما (مَنَّ الشيءُ: نقص)، أو فعلا ماضيا مبنيا للمعلوم متعديا (بنفسه:مَنَّ الأمرُ فلانا: أعياه؛ أو بحرف: مَنَّ عليه)، أو اسما ظاهرا للذات (مَنٌّ: مكيال، أو مادة صمغية حلوة كالعسل)، أو للموصول (مَنْ)، أو للاستفهام (مَنْ).

إنها الدلالات والصيغ الممكنة (افتراضا) لهذا الفعل السيميائي، ويجب انتقاء ما يناسب منها العلامة الموالية ["في"]، ذات السمات المشكِّلة للسلسلة الآتية:

"في" = + كلمة + [حرف + (جر)]

الانتقاء سيتم بمبدأ **"التكافؤ السيميائي"**[2] الذي يقتضي الاندماجَ الكلي أو الجزئي بين علامتين سيميائيتين أو أكثر بسمات معينة، وبموجبه يمكن القول إن هاتين السلسلتين:

["من" = + كلمة + [حرف + (جر)]] + ["في"= + كلمة + [حرف + (جر)]]

لا يمكن وقوع تكافؤ سيميائي بينهما لوجود تطابق تام في سماتهما، وهو ما يمنعه التجريد النحوي القاضي بـ: **منع تتابع حرفين لهما الوظيفة نفسها في الكلام**[3]. **والنتيجة هي:** إقصاء إحدى الصور الممكنة في التشكيل للفعل السيميائي العام ["من"]، وهي: "مِنْ"، فتصبح السلسة العامة بهذا الشكل:

"من" = + كلمة + [[فعل + (أمر؛ ماض + (مبني للمجهول؛ مبني للمعلوم + (لازم؛ متعد + (بنفسه؛ بحرف)))))]؛ [اسم + ظاهر + (ذات؛ موصول؛ استفهام)]]

سننظر مرة أخرى إلى جملة **"من في الدار"** لنقوم بمزيد من التجريد. وبما أن ["في"] علامة تقبل التكافؤ مع جميع الصيغ المتبقية ولو على نحو متفاوت؛ حيث يمكننا أن نقول: "مَنٌّ في الدار، مَنَّ أو مُنَّ في الدار عليه، مَنْ في الدار، فإنه يجب استحضار علامة أخرى تكون قرينة لتحديد الصيغة التشكيلية المطلوبة، وهذه القرينة هي علامة "الفراغ" (نهاية النص) التي يجب النظر إليها بصفتها حدا يحُدُّ من امتداد الجملة لما بعدها، أي أننا لن نفترض وجود كلمة "على" ونقول: "مَنَّ أو مُنَّ في الدار عليه"، وهكذا نخلص إلى ما يأتي:

بما أن الفعل السيميائي ["من"] يقتضي وجود قرينة "على"، أي سمة [+ على] في الجملة ليكون فعلا بجميع صيغه الآتية: (الأمر، والماضي المبني للمجهول، والماضي المبني للمعلوم متعديا بحرف)، وبما أن هذه القرينة منعدمة ولا يمكن افتراضها بوجود حَدِّ علامة الفراغ، **فإننا سنصل إلى إلغاء تكافؤ سيميائي آخر بين السلسلتين الآتيتين:**

السلسلة الأولى: "من"= + كلمة + [فعل + (أمر؛ ماض + (مبني للمجهول؛ مبني للمعلوم + (متعد + (بحرف)))))] + السلسلة الثانية: ["في"= + كلمة + [حرف + (جر)]]

بهذا الإلغاء ستصبح سلسلة الفعل السيميائي العام مرة أخرى بهذا الشكل:

"من" = + كلمة + [[فعل + (ماض + مبني للمعلوم + (لازم؛ متعد + (بنفسه)))]؛ [اسم + ظاهر + (ذات؛ موصول؛ استفهام)]]

سنعود مرة أخرى لاستحضار جملة **"من في الدار"**، وسنرى أن ["من"] لتكون "فعلا متعديا بنفسه" يجب أن تكون **"ثنائيةَ التكافؤ"**: [+ فاعل + مفعول به]. في هذه الحالة قد نفترض وجود "الفاعل" مضمَرا، إلا أن "المفعول به" منعدم في الجملة، ولا يمكن افتراضه ظاهرا بعد الجملة بسبب حَدِّ علامة الفراغ، ولا افتراضه مضمَرا في حالة "الفعل اللازم" **أحادي التكافؤ**: [+ فاعل]؛ لكون ["من"] مبتَدَأً بها ولا وجود لما يعود عليه الضمير، كما في قولنا مثلا: "إنَّ الضجيجَ قد مَنَّ في الدار" أي نقَص. **النتيجة من كل هذا هي**: أن إجراء التكافؤ بين **["من" وهي فعل لازم أو متعد بنفسه]**، و**["في" وهو حرف جر]** لا يمكن أيضا، وبهذا تصبح سلسلة الفعل السيميائي العام بهذا الشكل:

"من"= + كلمة + [اسم + ظاهر + (ذات؛ موصول؛ استفهام)]

نلاحظ إقصاء ["من"] بصفتها حرفا أو فعلا بجميع صيغه، ولم يتبقَّ سوى الاسم بصيغه الثلاث. ولأن اعتبار ["من"] اسمَ موصول يقتضي الحديث

([2]) للتفصيل في كيفية استثمار نظرية التكافؤ في حوسبة التركيب والدلالة والمعجم..، ينظر مقالات: Gotz, D., Hausser, R., et al. ضمن القسم الرابع: (Computational aspects of valency analysis) في: T. Herbst and K. Gotz-Votteler (eds.) (2007). *Valency- Theoretical, Descriptive and Cognitive Issues.* Berlin/ New York: Mouton de Gruyter.

([3]) وما جاء خلاف ذلك مثل: مِنْ على السطح" فهو صوري؛ لأن "على" تؤول بمعنى الظرف "فوق"، ولها أيضا "تكافؤات" سيميائية تميزها.

عن الجملة الموصولة التي يجب أن تكون لها وظيفة إعرابية، فإن ["من"]، وهي مبتدَأ بها في النص، لن تكون فاعلا (صام مَنْ في الدار)، ولا مضافا إليها (صام كلُّ مَنْ في الدار)، ولا غيرهما من الوظائف الإعرابية (اسم مجرور، صفة، نائب عن الفاعل، خبر لمبتدأ..) التي تقتضي عاملا متقدما عليها، وبهذا تتبقى الاحتمالات الآتية:

- أن تكون في محل رفع مبتدأ.
- أن تكون في محل نصب خبر مقدم لفعل ناسخ لم يستوف خبره.
- أن تكون في محل نصب مفعول به لفعل متعد لم يستوف مفعوله.

وبما أن الفراغ علامة تُنهي النص، و**["في"= حرف]**، و**["الدار"= اسم]**، فإن احتمال أن تكون ["من"] في محل نصب خبر أو مفعول به لفعل متأخر ينتفي، لانتفاء سمة **[+ فعل + (ناسخ لم يستوف خبره؛ متعد لم يستوف مفعوله)]** في المكونين معا. وبهذا تصبح سلسلة الفعل السيميائي العام:

"من"= + كلمة + [اسم + ظاهر + (ذات؛ استفهام)]

وهي سلسلة سنلاحظ فيها أن علامة الفراغ، وعناصر الجملة (من . في . الدار) لم تعد تسعف لإجراء مزيد من التجريد؛ إذ يمكن أن نجعل ["من"] اسمَ ذاتٍ ونقول: **"مَنٌّ في الدار"** أي مكيال أو مادة صمغية كالعسل في الدار، كما يمكن أن نجعلها اسم استفهام فنقول: **"مَنْ في الدار"**، لوجود تكافؤ سيميائي متساو بينهما في علاقتهما البعدية مع "في الدار". فما الحل؟

في هذه المرحلة نكون أمام خيارين:

ـ إما أن نجعل التطبيق يعطي المستخدِم النتيجتين معا ليختار منهما ما يريد.

ـ وإما (وهذا أكثر مرونة في نظري) أن نستعين بالسيميائيات التداولية، وبالضبط منها، بمبدأ التعاون (عند "غرايس") الذي يعني أن المشاركين في عملية التواصل عليهم أن يسهموا في إنجاح تلك العملية، حتى يتحقق المراد منها ويكون بإمكان المخاطب فهم ما يقال دونما إرباكه بسوء تدبير الكلام. ولأن الكتابة على الحاسوب نوع من التواصل مع الآلة، فإن هذا المبدأ سيصبح ضروريا بحِكَمِه الأربعة، خاصة منها حكمة الكيفية (qualité) التي تقول: كن منظما، وكن واضحا بتجنب الإبهام واللَّبس (Blanchet, 1995/2007).

هكذا إذن على المستخدم أن يكتب بطريقة ملائمة وواضحة في أثناء تواصله الكتابي مع الآلة، كما يتكلم بوضوح وبنبرة ملائمة في تواصله مع إنسان آخر. فعوض كتابة "من في الدار" خالية من علامة الاستفهام وهو يقصد السؤال، يمكنه التعاون، لإزالة اللَّبس، بإثبات تلك العلامة (؟) التي ستكون قرينة عند الآلة لتأويل نهائي، يرجح تكافؤ ["مَنْ"] مع "في الدار" على تكافؤ ["مَنٌّ"] معها، ما دام التكافؤ بينهما متساويا بغياب علامة الاستفهام.

أتحدث هنا عما يمكن (أو يجب) أن يكون، وإلا فإن التطبيقين (المشكِّل الآلي ومشكال) قد تركا ["من"] بالتشكيل نفسه حتى مع إدراج علامة الاستفهام: **"مِنْ فِي الدَّارِ؟"**، مما يؤكد حاجتنا الملحة للمبادئ السيميائية، لتحسين الخدمات التكنولوجية في تطبيقات وأنظمة حوسبة اللغة العربية بصفة عامة.

الخاتمة

مما سبق ذكره وتحليله، يتأكد أن السيميائيات، بمفاهيمها النظرية وإجراءاتها التطبيقية، تصلح أن تكون مدخلا أساسا لحوسبة العلامات بأسباب عدة منها:

ـ أنها تنظر إلى اللغة بمنطق اللغات المتعددة، أي بصفتها علامات لسانية وغير لسانية، وهو ما يجعلها نظرية عامة تتعامل مع الظواهر المدروسة من زوايا مختلفة.

ـ أن هناك أبحاثا تتخذ من السيميائيات وأدواتها إطارا عاما في التحليل، كما نجد في النظرية الكينيزية (الحركية) مع "بيردوايستل"، ونظرية السيميائيات الحاسوبية.

ولأن اللغة العربية، كغيرها من اللغات، تسعى إلى حوسبة علاماتها اللسانية وغير اللسانية، فإن اتخاذ السيميائيات إطارا عاما في ذلك أصبح ضرورة ملحة لتجاوز التحديات التي تعترض حوسبة اللغات. وبهذا الأساس، حاولت إعطاء نموذج يؤكد إمكانية استثمار السيميائيات في تدقيق قواعد البيانات التركيبية للغة العربية، لخلق تطبيقات حوسبية ذات كفاءة عالية في معالجة النصوص، ترجمة، وصرفا، وقراءة، وتشكيلا..

وقد تم الاقتصار في هذا النموذج على ما هو تركيبي بسبب علاقته المباشرة مع التشكيل الآلي المختَبَر في برنامجين هما: "المشكِّل الآلي" و"مِشكال"، في انتظار اختبارات جديدة (ضمن مقالات أخرى بالمنطق السيميائي نفسه) ذات صلة بالسياق الخارجي، مثل: قاعدة بيانات رمزية، وقاعدة بيانات أيقونية، وقاعدة بيانات مؤشرية... وغيرها من قواعد البيانات التي هي، في حقيقتها، لفت لانتباه الباحثين إلى أهمية استحضار السيميائيات في المعالجة الآلية للغة العربية وثقافتها تنظيرا وتطبيقا، كما هو الحال مع لغات أخرى أكثر تقدما تكنولوجيا بسبب تأطيرها بالمنطق السيميائي (اللغة الإنجليزية أنموذجا).

ختاما يمكن التأكيد أن قضايا حوسبة العلامات، في شقها الإدماجي في الحاسوب، هي من اختصاص الباحثين في الهندسة المعلوماتية وتصميم أنظمة الحاسوب..، ولكنها، في شقها المرتبط بإعداد قواعد البيانات، أمر مشترَك بين جميع الباحثين بمختلف تخصصاتهم؛ لأن إعداد النماذج الحاسوبية، كما يؤكد "مونيي" (Meunier, 2017) رهين بإعداد النماذج الصورية.

المصادروالمراجع

ابراهيم، ع؛ عواد، ع؛ الغانمي، س. (1990). معرفة الآخر، مدخل إلى المناهج النقدية الحديثة. ط1. بيروت، لبنان: المركز الثقافي العربي.

إيكو، أ. (2005). السميائية وفلسفة اللغة. ط1، (ترجمة أحمد الصمعي). بيروت، لبنان: المنظمة العربية للترجمة. (العمل الأصلي نشر سنة 1984).

برهان، م. (1998). تحليل وتصميم أنظمة المعلومات الحاسوبية. (د.ط). عمان: مؤسسة الوراق للنشر والتوزيع.

بنكراد، س. (2004). استراتيجيات التواصل من اللفظ إلى الإيماءة. مجلة علامات، 2004 (21)، ص 03- 18.

بويسنس، إ. (2017). السيميولوجيا والتواصل. ط2، (ترجمة جواد بنيس). القاهرة: رؤية للنشر والتوزيع. (العمل الأصلي نشر سنة 1970).

تشاندلر، د. (2008). أسس السميائيات. ط1، (ترجمة طلال وهبة). بيروت: المنظمة العربية للترجمة. (العمل الأصلي نشر سنة 2003).

الرفاعي، إ. (2017). التحليل الدلالي. ط1، (في عبد الله الفيفي (محرر). مدخل إلى اللسانيات العربية). الرياض: مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز الدولي لخدمة اللغة العربية. ص107-125.

شتيوي، أ؛ داني، ف. (2021). استثمار المدونات المتوازية في تطوير حوسبة اللغة العربية. مجلة "في الترجمة"، 2021 المجلد 8، العدد 01، ص 104-123.

شولز، ر. (1994). السيمياء والتأويل. ط1، (ترجمة سعيد الغانمي). بيروت: المؤسسة العربية للدراسات والنشر. (العمل الأصلي نشر سنة 1982).

العصيمي، ع. (2019). نمذجة الكلمة العربية: خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تحليل الكلمة العربية لغويا وتوزيعيا. ط1، (في عبد الله الفيفي (محرر). خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تحليل النص العربي). الرياض: مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز الدولي لخدمة اللغة العربية. ص 95-124.

علي، ن. (1988). اللغة العربية والحاسوب (دراسة بحثية). (د.ط). الكويت: منشورات تعريب.

علي، ن. (2009). العقل العربي ومجتمع المعرفة، مظاهر الأزمة واقتراح بالحلول (الجزء الأول). سلسلة عالم المعرفة، العدد 369. الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب.

علي، ن؛ حجازي، ن. (2005). الفجوة الرقمية: رؤية عربية لمجتمع المعرفة. سلسلة عالم المعرفة، العدد 318 الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب.

لحلح، محمد (2020). مدخل إلى الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة. (النسخة الأولى). أكاديمية حسوب.

الموسى، ن. (2003). الثنائيات في قضايا اللغة العربية، من عصر النهضة إلى عصر العولمة. ط1. عمان: دار الشروق.

ياكوبسون، ر. (1994). ست محاضرات في الصوت والمعنى. ط1، (ترجمة حسن ناظم وعلي حاكم صالح). الدار البيضاء: المركز الثقافي العربي. (العمل الأصلي نشر سنة 1978).

References

Andersen, P. B. (1997). *A theory of computer semiotics: Semiotic approaches to construction and assessment of computer systems* (No. 3). Cambridge University Press.

Andersen, P. B., & Holmqvist, B. (1990). Interactive fiction: artificial intelligence as a mode of sign production. *AI & SOCIETY*, *4*, 291-313.

Birdwhistell, R. L. (2010). *Kinesics and context: Essays on body motion communication*. University of Pennsylvania press.

Bisang, W., Hock, H. H., Winter, W., Herbst, T., & Götz-Votteler, K. (Eds.). (2007). *Valency: Theoretical, descriptive and cognitive issues*. Mouton de Gruyter.

De Souza, C. S. (2005). *The semiotic engineering of human-computer interaction*. MIT press.

Ducrot, O., & Todorov, T. (1972). *Dictionnaire encyclopédique des sciences du langage*. FeniXX.

Hausser, R. (2014). *Fondations of computational linguistics: Human-computer communication in natural language*. (3rd ed.). Springer: Berlin, Heidelberg.

Meunier, J. (2017). Vers une sémiotique computationnelle?. *Applied Semiotics/Sémiotique appliquée*, (26), 75-107.

Nadin, M. (1988). Interface design: A semiotic paradigm.

Shackell, C. (2018). Finite cognition and finite semiosis: A new perspective on semiotics for the information age. *Semiotica*, (222), 225-240.