مجلة خليج العرب
للدراسات الإنسانية والاجتماعية

من الطباق الموسيقي إلى الخوارزمية: دراسة نقدية في تحولات الهرمنة في القرن الحادي والعشرين

From Counterpoint to the Algorithm: A Critical Study of the Transformations of Harmony in the Twenty-First Century

الدكتور هيثم بوزقندة

Dr. Haythem Bouzguenda

المعهد العالي للفنون والحرف بقفصة

أستاذ مساعد بالتعليم العالي

دكتوراه في العلوم الثقافية اختصاص علوم موسيقية -تونس

DOI: https://doi.org/10.64355/agjhss3917

مجلة خليج العرب للدراسات الإنسانية والاجتماعية © 2025 / تصدر من مركز السنابل للدراسات والتراث الشعبي
هذه المقالة مفتوحة المصدر موزعة بموجب شروط وأحكام ترخيص مؤسسة المشاع الإبداعي(CC BY-NC-SA)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

الملخص:
يتناول هذا البحث التحولات الجذرية في مفهوم الهرمنة الموسيقية خلال القرن الحادي والعشرين، منطلقاً من الانتقال التاريخي من نموذج "الطباق الموسيقي" التقليدي القائم على تنظيم العلاقات الصوتية وفق قواعد ثابتة، إلى "الخوارزمية" الرقمية التي تنتج أنساقاً موسيقية معقدة عبر معالجة البيانات الرقمية والذكاء الاصطناعي. يستكشف البحث الأسس الفلسفية للطباق الموسيقي في التقليد الغربي، ثم يحلل تأثير الثورة الرقمية على إعادة تعريف المادة الموسيقية، متناولاً التحول من الصوت كظاهرة فيزيائية إلى المعلومة الرقمية القابلة للمعالجة. كما يدرس البحث دور الخوارزميات والذكاء الاصطناعي في التوليد الموسيقي، مستعرضاً نماذج رائدة من أعمال زيناكيس وكوب وصولاً إلى أنظمة التعلم العميق المعاصرة. ويناقش البحث الإشكاليات الجوهرية التي تثيرها الهرمنة الخوارزمية، خاصة مسائل الأصالة والمسؤولية الفنية والتلقي الجمالي، مع التركيز على التحديات الخاصة التي تواجه الموسيقى العربية في هذا السياق، لاسيما نظام المقامات والارتجال. ويختتم البحث بطرح رؤية تكاملية تجمع بين الإبداع الإنساني والإمكانات التكنولوجية، مع تقديم توصيات عملية لتطوير نماذج متعددة الثقافات وأطر أخلاقية وقانونية تحفظ الهوية الموسيقية في العصر الرقمي.

الكلمات المفتاحية: الهرمنة الموسيقية، الطباق الموسيقي، الخوارزمية، الذكاء الاصطناعي، التعلم العميق، الموسيقى الرقمية، المقامات العربية، التأليف الخوارزمي، الإبداع الموسيقي، الموسيقولوجيا الرقمية.

Abstract:

This research examines the radical transformations in the concept of musical harmony during the twenty-first century, starting from the historical transition from the traditional "counterpoint" model, which organizes sound relationships according to fixed rules, to the digital "algorithm" that produces complex musical patterns through digital data processing and artificial intelligence. The research explores the philosophical foundations of counterpoint in the Western tradition, then analyzes the impact of the digital revolution on redefining musical material, addressing the shift from sound as a physical phenomenon to processable digital information. The study investigates the role of algorithms and artificial intelligence in music generation, reviewing pioneering models from the works of Xenakis and Cope to contemporary deep learning systems. The research discusses fundamental issues raised by algorithmic harmony, particularly questions of authenticity, artistic responsibility, and aesthetic reception, with emphasis on the specific challenges facing Arab music in this context, especially the Maqam system and improvisation. The research concludes by proposing an integrative vision that combines human creativity with technological capabilities, while offering practical recommendations for developing

Keywords: Musical Harmony, Counterpoint, Algorithm, Artificial Intelligence, Deep Learning, Digital Music, Arab Maqamat, Algorithmic Composition, Musical Creativity, Digital Musicology.

المقدمة:
تشهد الموسيقى في القرن الحادي والعشرين تحولاً جوهرياً في بنيتها الأساسية، فلم تعد الهرمنة، ذلك المفهوم المركزي في النظريات الموسيقية الغربية، مجرد تنظيم للعلاقات الصوتية وفق قواعد ثابتة، بل أصبحت عملية حسابية معقدة تتجاوز الإدراك الحسي المباشر. لقد انتقلنا من نموذج "الطباق الموسيقي" (contrepoint) الذي ينسج العلاقات الأفقية بين الخطوط اللحنية، إلى "الخوارزمية" (algorithme) التي تنتج أنساقاً موسيقية من خلال معالجة البيانات الرقمية. تشكل هذه التحوّلات إشكالية نظرية وعملية تمسّ جوهر الإبداع الموسيقي. فإذا كانت الهرمنة الموسيقية التقليدية تعبر عن رؤية إنسانية للعالم، فما هي الدلالات الجمالية والفلسفية للهرمنة الموسيقية الخوارزمية؟ وكيف يمكننا فهم طبيعة العمل الفني عندما يصبح نتاجاً لعمليات رياضية معقدة؟

يهدف هذا المقال إلى تحليل هذه التحوّلات من خلال مقاربة نقدية تستكشف الأسس النظرية للهرمنة الموسيقية في ضوء الثورة الرقمية. سننطلق من فرضية أساسية مفادها أننا إزاء نموذج جديد للتنظيم الموسيقي يتحدى التصنيفات التقليدية ويستدعي إطاراً مفاهيمياً جديداً لفهم طبيعة الإبداع الموسيقي في العصر الرقمي.

أهمية البحث: تكمن أهمية هذا البحث في تقديمه لقراءة نقدية شاملة للتحولات النوعية التي طرأت على مفهوم الهرمنة الموسيقية في العصر الرقمي، في وقت تشهد فيه الموسيقى تحولات جذرية بفعل التقنيات الحديثة و الذكاء الاصطناعي . يكتسب البحث أهميته من عدة جوانب:

- **الأهمية النظرية :**يساهم البحث في سد فجوة معرفية في الأدبيات العربية حول الموسيقولوجيا الرقمية، ويقدم إطاراً مفاهيمياً متكاملاً لفهم العلاقة بين التقاليد الموسيقية والتكنولوجيا المعاصرة.
- **الأهمية التطبيقية :**يوفر البحث رؤية عملية للموسيقيين والباحثين حول كيفية توظيف التقنيات الخوارزمية في الإبداع الموسيقي مع الحفاظ على الأصالة الفنية.
- **الأهمية الأخلاقية والقانونية :**يناقش البحث القضايا الأخلاقية المتعلقة بحقوق الملكية الفكرية والمسؤولية الفنية في عصر التوليد الموسيقي الآلي.

أهداف البحث: يسعى هذا البحث إلى تحقيق مجموعة من الأهداف المحورية، تبدأ بتتبع التطور التاريخي لرصد وتحليل التحولات في مفهوم الهرمنة الموسيقية من الطباق التقليدي إلى النماذج الخوارزمية المعاصرة. كما يهدف إلى استكشاف التأثيرات التقنية العميقة للثورة الرقمية والذكاء الاصطناعي على عمليات التأليف الموسيقي والتحليل والأداء. ومن أهدافه المركزية تحليل النماذج الخوارزمية عبر فحص أنظمة التعلم العميق والخوارزميات التوليدية المستخدمة في إنتاج الموسيقى، بدءاً من الأنظمة القائمة على القواعد وصولاً إلى نماذج التعلم الآلي المتقدمة. بالإضافة إلى ذلك، يهدف البحث إلى مناقشة الإشكاليات الفلسفية المتعلقة بالأصالة الفنية والمسؤولية الإبداعية والتجربة الجمالية في سياق الموسيقى المولدة خوارزمياً. وأخيراً، يسعى إلى اقتراح رؤية تكاملية تقدم نموذجاً يجمع بين الإبداع البشري والإمكانات التكنولوجية، سعياً لإثراء الحقل المعرفي والممارسة الإبداعية معاً

إشكالية البحث: تتمحور الإشكالية الرئيسية للبحث حول السؤال الجوهري: كيف أعاد الانتقال من الطباق الموسيقي التقليدي إلى الخوارزمية الرقمية تشكيل مفهومنا للهرمنة الموسيقية والإبداع الفني؟ وتنبثق من هذه الإشكالية مجموعة من التساؤلات الفرعية التي تغطي مستويات متعددة؛ فعلى المستوى المعرفي، يتساءل البحث عن التحولات الفلسفية والجمالية التي رافقت الانتقال من النموذج التقليدي للهرمنة إلى النموذج الخوارزمي. وعلى المستوى التقني، يبحث في آلية عمل أنظمة الذكاء الاصطناعي والتعلم العميق لتوليد الموسيقى، وكشف الفروقات الجوهرية بين التأليف البشري والتوليد الآلي. أما على المستوى الفني، فيناقش إشكالية أصالة الموسيقى المولدة خوارزمياً والمسؤولية الفنية عنها. ويُتابع البحث على المستوى الأخلاقي والقانوني لاستكشاف الإشكاليات المتعلقة بحقوق الملكية الفكرية والتأليف في عصر التوليد الموسيقي الآلي. وأخيراً، على المستوى العملي، يسعى إلى اقتراح إطار تكاملي يمكن من خلاله الجمع بين قوة التقنيات الحديثة والحفاظ على البعد الإنساني للإبداع الموسيقي.

منهجية البحث: يعتمد هذا البحث على منهجية متعددة الأبعاد تجمع بين عدة مقاربات منهجية لضمان شمولية التحليل وعمق المعالجة:

- **المنهج التاريخي:** تتبع التطور الزمني لمفهوم الهرمنة الموسيقية من العصور الوسطى حتى العصر الرقمي، مع التركيز على المحطات التاريخية الفاصلة والتحولات النموذجية
- **المنهج التحليلي النقدي:**قراءة نقدية للأدبيات السابقة في مجالات الموسيقولوجيا، وعلوم الحاسوب، والذكاء الاصطناعي، مع تحليل النظريات والمفاهيم الأساسية المتعلقة بالتأليف الخوارزمي
- **المنهج المقارن:**مقارنة النماذج المختلفة للتأليف الموسيقي (التقليدي مقابل الخوارزمي)، واستكشاف أوجه التشابه والاختلاف.
- **دراسة الحالة:** تحليل نماذج رائدة في التأليف الخوارزمي) زيناكيس، كوب، Google Magenta، OpenAI MuseNet لفهم آليات عملها وتأثيراتها.
- **المنهج متعدد التخصصات:** دمج معارف من حقول متنوعة تشمل: الموسيقولوجيا، علوم الحاسوب، الذكاء الاصطناعي، الفلسفة الجمالية، الدراسات الثقافية، والقانون.
- **المنهج الاستشرافي:** استشراف الاتجاهات المستقبلية للموسيقى الرقمية وتقديم توصيات عملية لتطوير البحث والممارسة الموسيقية.

أقسام البحث: تم تقسيم البحث وفق المحاور التالية:

- **جينالوجيا الطباق الموسيقي: التاريخ والفلسفة:** وفيه استعراض تاريخية الطباق في الموسيقى الغربية وتطور مفهوم الهرمنة في النظرية الموسيقية الغربية. كما يتعمق في تحليل الهرمنة بوصفها منظومة ثقافية واجتماعية، تسهم في تشكيل الهوية وتعبّر عن السياقات الحضارية والتفاعلات المجتمعية، مما يكشف عن الأبعاد المتعددة للممارسة الموسيقية التي تتجاوز البنية الصوتية إلى دورها في تشكيل الوعي الجمعي.
- **الثورة الرقمية وإعادة تعريف المادة الموسيقية :** حيث يتتبع التحول الجذري الذي حوّل الموسيقى من ظاهرة صوتية زائلة إلى بيانات رقمية قابلة للتخزين والمعالجة. ويبحث في الانزياح من مفهوم الصوت بحد ذاته إلى مفهوم المعلومة الموسيقية، مما يوسع دائرة التعامل مع الموسيقى لتصبح نظاماً من الرموز والمعطيات التي يمكن تحليلها وتعديلها ونقلها بكفاءة غير مسبوقة.
- **الخوارزمية كفاعل موسيقي جديد :** وفيه استكشاف لظهور الخوارزمية كفاعل موسيقي جديد، من خلال تحليل نماذج الذكاء الاصطناعي المستخدمة في التوليد الموسيقي، ورصد التطور النوعي من الأنظمة المبنيّة على المنطق الرمزي والقواعد الصارمة إلى مرونة وقدرة نماذج التعلم العميق على استنباط الأنماط المعقدة.
- **إشكاليات الهرمنة الخوارزمية :** وفيه مناقشة للإشكاليات الفلسفية والنقدية العميقة التي تثيرها الهرمنة الخوارزمية مع التركيز على ثلاث قضايا محورية: إشكالية الأصالة والتكرار في الموسيقى المولدة آلياً، إشكالية المسؤولية الفنية وغياب المؤلف البشري التقليدي، وإشكالية التلقي والاستمتاع الجمالي وإعادة تعريف قيمة العمل الفني عندما يكون منتجاً خوارزمياً، مما يمس جوهر العلاقة بين الفن والتقنية
- **نحو نموذج تكاملي للهرمنة الموسيقية:** استعراض آليات التفاعل الإبداعي بين الإنسان والآلة في عملية التأليف، وتحليل البعد الجمالي الناشئ عن هذا التعاون، مع استكشاف الأبعاد الثقافية والاجتماعية التي تفرضها الموسيقى الخوارزمية، دون إغفال مناقشة التحديات الأخلاقية والقانونية المصاحبة لهذا النموذج الجديد.
- **تطبيقات وآفاق مستقبلية :** مناقشة التطبيقات العملية الحالية للتأليف الخوارزمي في مجالات مثل صناعة الترفيه والتعليم والتأليف المساعد, واستعراض التطورات التقنية المتوقعة التي قد تحدث تحولاً أكبر في هذا المجال، مُنتهياً بالتفكير في ملامح جماليات جديدة تتشكل للموسيقى الرقمية في المستقبل.
- **البعد الفلسفي للهرمنة الخوارزمية :** إعادة التفكير في مفهوم الإبداع ذاته ومصدر القيمة الفنية وتحليل الموسيقى بوصفها لغةً من منظور سيميائي مع طرح فكرة الهرمنة كنموذج معرفي جديد لفهم العالم والعلاقات داخل النصوص والفنون.
- **الخاتمة والتوصيات :** استشراف المستقبل ودعوة إلى تبني نموذج تكاملي يجمع بين الذكاء البشري والإمكانات الخوارزمية، مع تقديم توصيات بحثية وعملية لتطوير هذا الحقل وتنظيم ممارساته.

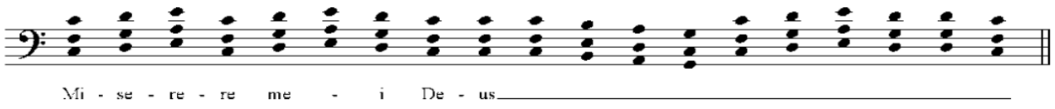
1- جينالوجيا الطباق الموسيقي: التاريخ والفلسفة :

1.1-الأسس الفلسفية للطباق الموسيقي عبر العصور :

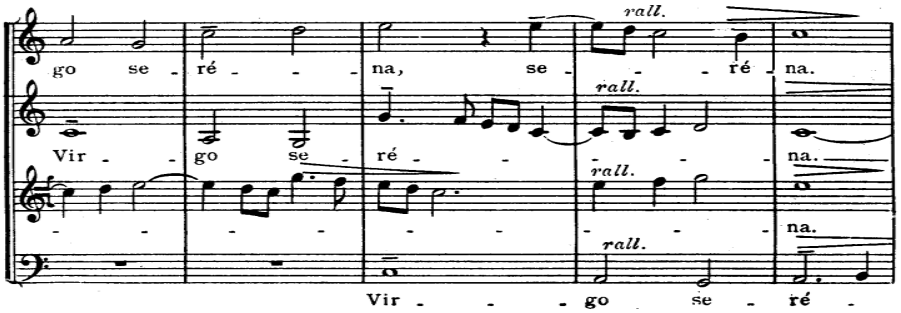
يمثّل الطباق الموسيقي أو ما يعبّر عنه بـ"الكونتربوانت" أحد الأركان الأساسية في النظريات الموسيقية الغربية، و هو فن كتابة خطوط لحنية متعدّدة في آن واحد بحيث تكون كل منها مستقلة لحنيا ولكن متناسقة هرمونيا. وقد اشتقّ مصطلح" كونتربوانت" من العبارة اللاتينية "punctus Contra punctum" أي "نغمة مقابل نغمة" (Jeppesen, 1992, pp.3-5). يعود جذوره إلى العصور الوسطى، حين بدأ المنظرون الموسيقيون في صياغة قواعد تنظم العلاقات بين الخطوط اللحنية المتعددة. لم يكن الطباق مجرد في تلك الفترة مجرّد تقنية تأليفية، بل كان تجسيداً لرؤية كونية تؤمن بالانسجام الرياضي والنظام الكوني(Grout, Palisca, 2014, pp.89-112) .

في فلسفة العصور الوسطى، كانت الموسيقى تُعد جزءاً من "الفنون الأربعة " (Quadrivium) إلى جانب الحساب والهندسة وعلم الفلك. هذا التصنيف يكشف عن الطبيعة الرياضية التي نُظر بها إلى الموسيقى. فالنسب الرياضية التي تحكم الفواصل الموسيقية كانت تُعتبر انعكاساً للنظام الإلهي في الكون (Cook, 1990, p. 47) .هذه الرؤية الفلسفية شكّلت الأساس الذي بُنيت عليه قواعد الطباق الموسيقي وهو ما تناوله الفيلسوف الروماني بوثيوس[1] في القرن السادس في كتابه "De institutione Musica" حيث عرّف الموسيقى كعلم رياضي يدرس النسب والعلاقات

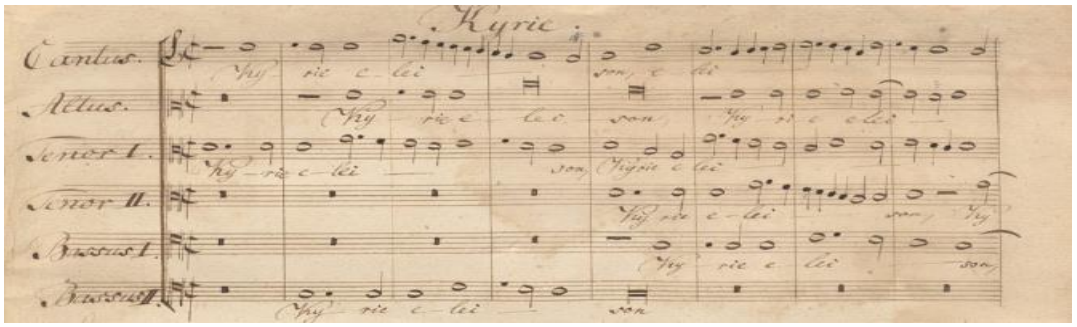
[1] أنيسيوس مانليوس سيفيرنيوس بوثيوس (Anicius Manlius Torquatus Severinus Boethius) (480- 524) فيلسوف وسياسي روماني اشتهر بعجلة الحظ وعزاء الفلسفة التي أصبحت واحدة من الأعمال الفلسفية الأكثر شعبية وتأثيراً في العصور الوسطى.

العددية (Boethius, trans. 1989, pp. 15-28) .هذا التصنيف يكشف عن الطبيعة الرياضية التي نُظر بها إلى الموسيقى، فالنسب الرياضية التي تحكم الفواصل الموسيقية كانت تُعتبر انعكاساً للنظام الإلهي في الكون، وهو ما يُعرف بمفهوم "Musica Universalis" أو موسيقى الأفلاك(Christensen, 2002, pp. 12-23) . ومع القرن التاسع, بدأ ظهور الأورغانوم (Organum) من خلال الموسيقى الغريغورية (نسبة إلى البابا غريغوار الأكبرGrégoire le Grand). هذا الشكل الموسيقي يُعتبرمن أبسط أشكال الطباق حيث يُضاف خط لحني موازٍ للحن الأساسي بمسافة رباعية أو خامسية تامة، مما يمثّل أوّل محاولة منظّمة لتنسيق أصوات متعدّدة (Hoppin, 1978, pp. 191-205).

مثال لأورغانوم من كتاب ميكرولوقيس لـ جي داريتزو

خلال عصر النهضة، تطور مفهوم الطباق ليصبح أكثر تعقيداً وتطوراً، حيث ظهرت مدارس متعددة لتعليم الطباق وأصبحت القواعد أكثر دقة وتفصيلاً (Atlas, 1998, pp. 234-256). كانت المدرسة الفلمنكية (Franco-Flemish School) في القرنين الخامس عشر والسادس عشر تمثل قمة التطور في فن الطباق، حيث أنتج ملحنون مثل جوسكان دي بري (Josquin des Prez) أعمالاً متقنة تُظهر استخداماً بارعاً للطباق بأربعة أو خمسة أصوات مستقلة تماماً، كما في موتيت[2] "Ave Maria" الذي يُعد نموذجاً للتوازن بين الاستقلالية اللحنية والانسجام الهرموني (Reese, 1959, pp. 228-241) .



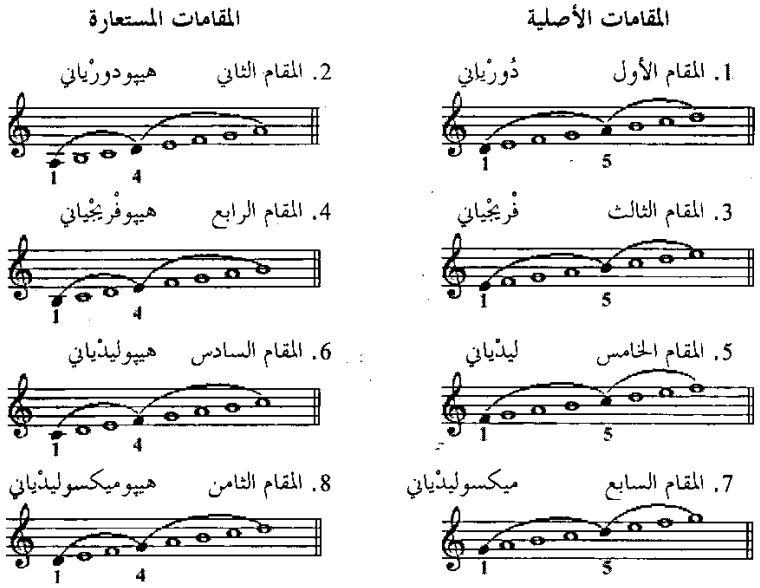
Ave Maria de Josquin des Prés (ca.1450-1521)

في المدرسة الرومانية، قدم جيوفاني بييرلويجي دا بالسترينا (Palestrina) نموذجاً للطباق الصوتي المقدّس في أعماله مثل "Missa Papae Marcelli " (1567) حيث حقق توازناً مثالياً بين وضوح النص الليتورجي (liturgique) وجمال التعدد الصوتي (Jeppesen, 1992, p102). كان التأليف الموسيقي يُنظر إليه كحرفة تتطلب إتقان قواعد صارمة و مضبوطة، وهو ما عبّر عنه يوهان جوزيف فوكس في كتابه الشهير "Gradus ad Parnassum" (1725) الذي أصبح المرجع الأساسي لتعليم الطباق لقرون لاحقة، مما يعكس الإيمان بأن الجمال الموسيقي يكمن في الالتزام بالنظام والتناسب (Fux, 1965, pp. 17-43) .

Missa Papae Marcelli (Palestrina, Giovanni Pierluigi da)

[2] موتيت (Motet) هو نوع من المؤلفات الموسيقية الغنائية الغربية، نشأ في العصور الوسطى، يتكون عادةً من نصوص دينية باللاتينية، ويُؤدى بدون آلات أو معها، ويتميز بتعدد الأصوات وتداخلها، وكان من أبرز أشكال عصر النهضة، ويختلف عن المادريجال (Madrigal) بأن الأخير دنيوي وغير ديني.

1.2- تطور مفهوم الهرمنة في النظرية الموسيقية الغربية:

مع انتقال الموسيقى الغربية من النظام المقامي (Modal) إلى النظام التونالي (Tonal) في القرن السابع عشر، حدث تحول جوهري في فهم الهرمنة، حيث لم تعد الهرمنة مجرد تنسيق أفقي بين الخطوط اللحنية بل أصبحت تنظيماً عمودياً للتآلفات (Chords) ضمن نظام تونالي محدد . (Dahlhaus, 1990, pp. 45-67)

كان النظام المقامي الذي ساد حتى القرن السادس عشر يعتمد على ثمانية مقامات (modes) مشتقة من الموسيقى اليونانية القديمة مثل الدوريان (Dorian)والفريجيان (Phrygian) والليديان (Lydian) والميكسوليديان (Mixolydian) ، حيث كان لكل نمط شخصيته المميزة وتأثيره العاطفي الخاص (Powers et al., 2001, pp. 775-802).

المقامات العتيقة (antic modes) (القرفي, 2012, ص.20)

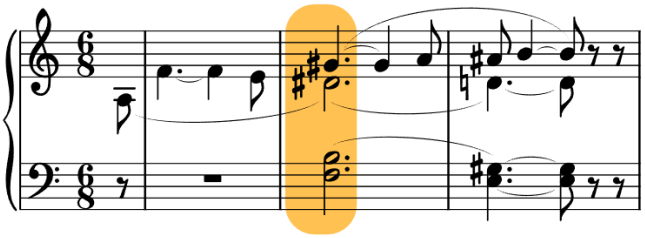
بينما ظهر النظام التونالي الذي يعتمد على سلمين أساسيين هما الكبير (Major) والصغير (Minor) ويُنظم حول مركز تونالي واضح هو الدرجة الأولى(Tonic) ، مما أدى إلى إعادة تشكيل كاملة للتفكير الموسيقي(Hyer, 2002, pp. 726-752) . كان جان فيليب رامو (Jean-Philippe Rameau)أول من صاغ نظرية شاملة للهرمنة التونالية في كتابه "Traité de l'harmonie" ، حيث قدّم مفهوم الجذر التوافقي (Fundamental Bass) وأسّس لنظام تصنيف التآلفات ووظائفها التونالية (Rameau, 1722, pp.8-34) . طرح رامو فكرة أن كل تآلف له "جذر" يحدد وظيفته التونالية بغض النظر عن القلب (inversion) الذي يظهر به، وحدد ثلاث وظائف تونالية رئيسية هي "الأساس" (Tonic - I) الذي يمثل الاستقرار، و"المسيطر" (Dominant - V) الذي يمثل التوتر، و"تحت المسيطر" (Subdominant - IV)الذي يمثل الحركة (Christensen, 1993, p.112) .

هذا التحول من المنظور الأفقي (الطباق) إلى المنظور العمودي (الهرمنة) لم يكن مجرد تغيير تقني بل كان انعكاساً لتحولات فلسفية وثقافية أوسع مرتبطة بعصر التنوير وتأكيده على العقلانية والنظام (Lester, 1992, pp. 67-89) .يمكن ملاحظة هذا التحول بوضوح عند مقارنة أعمال بالسترينا الموداليةمثل "سالفتوري موندي" (Salvator Mundi) مع كونشرتوات براندنبورغ (Brandenburg Concertos) لباخ (1721) التي تُظهر نظاماً تونالياً واضحاً مع رحلات تونالية محددة من الأساس إلى المسيطر(Tonic-Dominant) والعودة، كما في سيمفونية موتسارت رقم 40 في صول الصغير التي تبدأ بتأكيد G minor ثم تنتقل إلى D major قبل العودة إلى المقام الأساسي ,Rosen) . 1997, p. 267)

في القرن التاسع عشر، مع ظهور الرومانسية الموسيقية، بدأت الهرمنة تتحرّر من القيود التونالية التقليدية وأصبحت تعبر عن قيم ثقافية واجتماعية مختلفة تماماً (Samson, 2001, pp. 23-34) .استخدم الملحنون الرومانسيون مثل ريتشارد فاغنر وفرانز ليست هرمنة كروماتية[3] معقّدة

[3] السلم الكروماتي أو اللوني هو قائم على تقسيم الديوان الواحد إلى 12 نصف بعد (مسافة صوتية) متساوية.

دفعت بحدود النظام التونالي إلى أقصاها من خلال الاستخدام الكثيف للنغمات الكروماتية والتآلفات المبهمة تونالياً وتأخير حل التوترات والتونالية المتحركة(Dahlhaus, 1980, pp. 89-112) .

يُعد تآلف تريستان (Tristan Chord) الذي يظهر في بداية أوبرا فاغنر "تريستان وإيزولده" (1859) واحداً من أشهر الأمثلة على هذا التطور، حيث يتكون التآلف (Fa-Si-Ré#-Sol#) من بنية غامضة تونالياً للغاية ولا يُحل بالطريقة التقليدية المتوقعة، مما يخلق حالة من التوتر المستمر والرغبة غير المشبعة التي تعكس المضمون الدرامي للعمل (Nattiez, 1990, pp. 156-178) .

Tristan Chord (Wagner)

كذلك استخدم فرانز ليست في أعماله البيانية مثل "Les Préludes" و "Faust Symphony"تونالية معلقة وتآلفات مضخمة (augmented chords)تخلق إحساساً بعدم الاستقرار والتحول المستمر (Walker, 1989, pp. 345-367) .أعمال راخمانينوف مثل Prelude في Do# minor Op. 3 No. 2 تُظهر استخداماً غنياً للهرمنة الكروماتية مع الحفاظ على مركز تونالي يمكن التعرف عليه، مما يمثل توازناً بين الابتكار الرومانسي والهيكل التونالي التقليدي (Harrison, 2006, pp. 234-256) .هذا التطور مهد الطريق للثورات الموسيقية في القرن العشرين حيث تم التخلي عن التونالية تماماً لصالح أنظمة تنظيمية جديدة مثل الأتونالية والنظام الاثني عشري (Schoenberg, 1975, pp. 216-245) وحتى العودة إلى السلالم المقامية مثلما نلحظه من خلال عديد المِؤلفات الموسيقية للملحّن المجري بلا بارتوك(Béla Bartók) .

1.3- الهرمنة كمنظومة ثقافية واجتماعية :

الهرمنة الموسيقية ليست مجرد مجموعة قواعد تقنية بل هي منظومة ثقافية واجتماعية تعكس القيم والرؤى الجمالية لكل عصر، وهو ما أكده ثيودور أدورنو في تحليلاته النقدية للموسيقى الغربية (Adorno, 2002, pp. 89-112) .في العصر الكلاسيكي (1750-1820)، كانت الهرمنة تعبر عن قيم التوازن والوضوح والنظام العقلاني التي سادت عصر التنوير، حيث استخدم هايدن وموزارت في سيمفونياتهم المبكرة هرمنة بسيطة ووظيفية ومتوقعة تعكس المُثل الكلاسيكية للتناسب والتماثل (Rosen, 1997, pp. 43-68) .بينما في العصر الرومانسي (1820-1900)، أصبحت الهرمنة وسيلة للتعبير عن المشاعر الفردية والتجارب الذاتية والرومانسية والبحث عن اللامحدود، حيث استخدم برامز في سيمفونياته وشوبان في أعماله لآلة البيانوكـ " المقطوعات الحالمة" (Nocturnes) هرمنة معقدة وتعبيرية وغير متوقعة تعكس قيم الفردية والعاطفة الجياشة(Taruskin, 2010, pp. 123-156) . و من خلال هذا المنظور, يشير الفيلسوف البرطاني روجر سكروتون في دراساته الجمالية إلى أن الهرمنة في كل عصر تعكس الوعي الجماعي والبنية الاجتماعية لذلك العصر، فالانتقال من الوضوح الكلاسيكي إلى الغموض الرومانسي يعكس تحولات فلسفية عميقة في فهم الذات والعالم (Scruton, 1997, p. 156) .

في القرن العشرين، مع ظهور الموسيقى الإلكترونية والتجريبية، بدأت الهرمنة تُفهم بطرق جديدة تماماً تتجاوز الإطار التقليدي للنغمات والتآلفات . (Griffiths, 2010, pp. 67-89)لم تعد الهرمنة محصورة في العلاقات بين النغمات التقليدية بل امتدت لتشمل التنظيم الصوتي الشامل بما في ذلك الطبقات التيمبرالية (Timbral Layers) التي تركّز على لون الصوت وملمسه بدلاً من طبقته النغمية فقط، والكثافات الصوتية (Sonic Densities)التي تنظم الأصوات حسب كثافتها وتركيبها الطيفي (Roads, 1996, p. 123) .طوّرالملحّن و المنظّر النمساوي أرنولد شونبرغ النظام الاثني عشري (Twelve-Tone System) في عشرينيات القرن الماضي حيث تكون جميع النغمات الاثني عشر متساوية في الأهمية دون وجود مركز تونالي، وهو ما طبقه في أعماله مثل "Pierrot Lunaire" (1912) وفي أعمال تلاميذه ألبان بيرغ وأنطون فيبرن (Schoenberg, 1975, pp. 102-134) .

أمّا بالنسبة للموسيقى الإلكترونية، فقد قدّم الموسيقار الألماني كارلهاينز شتوكهاوزن في عمله (1956) "Gesang der Jünglinge" نموذجاً جديداً للهرمنة يدمج الأصوات الإلكترونية مع الصوت البشري ويُنظم بطريقة تعتمد على المعايير الطيفية والفضائية بدلاً من العلاقات النغمية التقليدية(Stockhausen, 1963, pp. 51-67) . من جانب آخر, استخدم الملحنون التجريبيون مثل جون كيج وإدجار فاريز مفاهيم الصوت والصمت والضوضاء كعناصر موسيقية متساوية، مما أدى إلى توسيع جذري في مفهوم ما يمكن اعتباره موسيقى (Pritchett, .

(1993, pp. 89-112 هذا التوسع في مفهوم الهرمنة يمثّل نقطة انتقال حاسمة نحو النموذج الخوارزمي والحاسوبي في التأليف الموسيقي الذي يعتمد على معالجة الإشارات الرقمية والذكاء الاصطناعي، حيث أصبحت الهرمنة مسألة تنظيم معلومات صوتية معقدة في الزمن والفضاء بدلاً من كونها مجرد تنسيق نغمات ضمن نظام تونالي محدد (Cope, 2000, p. 178) .يمثّل هذا التطور استمراراً للرؤية الفيثاغورية القديمة التي ربطت الموسيقى بالرياضيات، لكن بأدوات وإمكانيات تكنولوجية لم يكن من الممكن تصوّرها في العصور السابقة، مما يفتح آفاقاً جديدة تماماً لفهم العلاقات الصوتية وتنظيمها(Xenakis, 1992, pp. 3-21) .

2-الثورة الرقمية وإعادة تعريف المادة الموسيقية:

2.1-تحول الموسيقى إلى بيانات رقمية :

شهد النصف الثاني من القرن العشرين ثورة تقنية غيرت جذرياً طبيعة المادة الموسيقية. مع تطور التسجيل الرقمي والمعالجة الحاسوبية للصوت، لم تعد الموسيقى موجة صوتية تنتقل عبر الهواء فحسب، بل أصبحت سلسلة من البيانات الرقمية القابلة للتحليل والمعالجة والتوليد بطرق لم تكن ممكنة من قبل(Pohlmann, 2011, pp. 15-23) .

2.1.1-التحول من التناظري إلى الرقمي:

يمثل التسجيل التناظري (Analog) الصوت كتغيرات مستمرة في الإشارة الكهربائية أو الأخدود الفيزيائي في الأسطوانة. أما التسجيل الرقمي (Digital)فيحول الصوت إلى سلسلة من الأرقام من خلال عمليتين أساسيتين(Manning, 2013, pp. 45-52) :

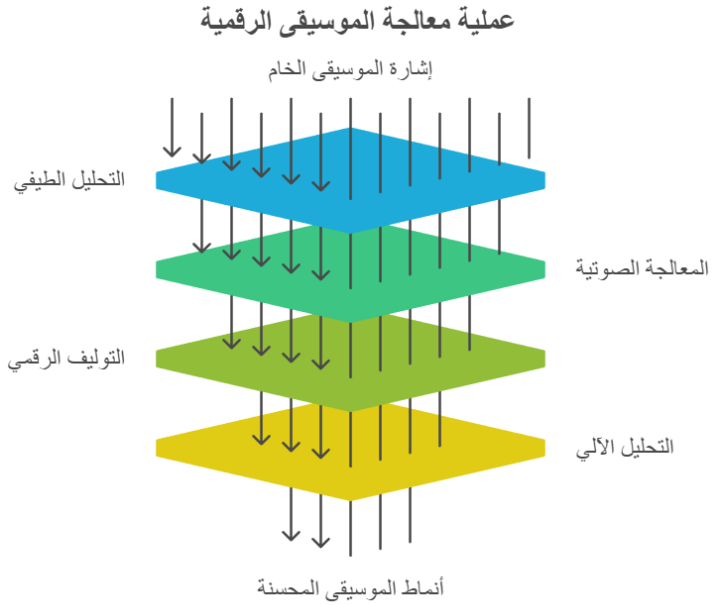
- **أخذ العينات (Sampling) :** وهي عملية قياس سعة الموجة الصوتية في نقاط زمنية منتظمة ومتتابعة. معدل أخذ العينات القياسي في الأقراص المضغوطة (CD) هو 44,100 عينة في الثانية (44.1 kHz) (Watkinson, 2001, pp. 45-52) .هذا المعدل ليس عشوائياً، بل يستند إلى نظرية "نايكويست شانون للعينات" (Nyquist-Shannon Sampling Theorem)التي وضعها هاري نايكويست عام 1928 وطورها كلود شانون في الأربعينيات(Nyquist, 1928, p. 644) . تنصّ نظرية نايكويست على أن معدل أخذ العينات يجب أن يكون على الأقل ضعف أعلى تردد موجود في الإشارة الأصلية لتجنب ظاهرة "الالتباس" أو "التداخل الترددي (Aliasing) "التي تسبب تشويهاً في الصوت المُعاد بناؤه (Pohlmann, 2011, p. 35) .بما أن الأذن البشرية تستطيع سماع ترددات حتى حوالي kHz20 ، فإن معدل 44.1 kHz (أي ضعف kHz20) يكفي لالتقاط كامل المدى السمعي البشري (نفس المصدر ص.38).

- التكميم (Quantization) : وهو تقنية رقمية أساسية تعمل كمنقح إيقاعي خفي، حيث تقوم تلقائياً بضبط التوقيت الدقيق للنوتات الموسيقية المسجلة رقمياً عبر واجهات MIDI لجعلها تتماشى مع شبكة إيقاعية محددة مسبقاً، كأن تنسجم كل درجة مع نبضات المقاييس الموسيقية بدقة رياضية.

2.1.2- الآثار الفلسفية والموسيقولوجية للرقمنة

هذا التحول من التمثيل التناظري المستمر إلى التمثيل الرقمي المتقطع جعل الموسيقى قابلة للمعالجة الرياضية والإحصائية بطرق لم تكن متصورة من قبل. وبالتالي أصبح من الممكن إجراء:

- **التحليل الطيفي (Spectral Analysis):** باستخدام تحويل فورييه السريع (Fast Fourier Transform - FFT) لتحليل الموسيقى إلى مكوناتها الترددية.(Beauchamp, 2007, p. 45)
- **المعالجة الصوتية (Audio Processing)**: مثل التصفية، الضغط، الصدى، والتشويه بدقة رقمية(Zölzer, 2011, p. 25)
- **التوليف الرقمي (Digital Synthesis):** لإنشاء أصوات جديدة تماماً من معادلات رياضية (Roads, 2015, p.167) .
- **التحليل الآلي (Automatic Analysis):** للأنماط الموسيقية والبنى الهرمونية والإيقاعية (Müller, 2015, p.23) .



و في هذا الإطار, يقدّم الموسيقي الأمريكي كيرتس رودز , في كتابه "Composing Electronic Music: A New Aesthetics" رؤية شاملة لهذا التحول، حيث يؤكد أن الموسيقى الإلكترونية لا تقتصر على استخدام أدوات إلكترونية، بل تمثل نموذجاً جديداً للتفكير في المادة الموسيقية نفسها (Roads, 2015, p. 23) . في هذا النموذج الجديد، يُنظر إلى الصوت كمادة خام قابلة للتشكيل والتحويل على مستويات زمنية متعددة (Multiple Time Scales)، من المستوى المجهري (Microsound) الذي يتعامل مع فترات زمنية في نطاق الميلي ثانية إلى البنى الماكروسكوبية الكبرى التي تمتد لدقائق أو ساعات.(المصدر نفسه, ص.31).

2.1.3-المستويات الزمنية في الموسيقى الرقمية:

يقترح رودز تصنيفاً للمستويات الزمنية في الموسيقى يشمل تسعة مستويات (المصدر نفسه, ص.8):

1. **اللامتناهي في الصغر (Infinitesimal)**: العينة الواحدة (حوالي 0.023 ميلي ثانية عند 44.1kHz)
2. **المجهري (Supra-sample)**: مجموعات قليلة من العينات
3. **الصوت المجهري (Microsound)**: 1-100 ميلي ثانية - نطاق الحبيبات الصوتية
4. **الصوت (Sound object)**: 0.1-1 ثانية - النغمات والأصوات المنفصلة
5. **الصوت الدقيق (Meso)**: 1-10 ثوانٍ - العبارات الموسيقية القصيرة
6. **البنية (Pattern/Object)**: 10ثوانٍ - عدة دقائق - الأقسام الموسيقية
7. **الشكل الرسمي (Formal)**: دقائق - العمل الموسيقي الكامل
8. **الكلي (Supra)**: ساعات - أعمال متعددة أو حفلات طويلة
9. **الزمن الممتد (Infinite)**: مستوى فلسفي - الموسيقى كظاهرة ثقافية ممتدة

هذا التصنيف يكشف عن أن الرقمنة الموسيقية لم تقتصر على تغيير وسيط التسجيل، بل أعادت تعريف المستويات التي يمكن من خلالها التعامل مع المادة الموسيقية (Roads, 2015, pp. 25-27) .

2.2الانزياح من الصوت إلى المعلومة:

أحد التحولات الأساسية التي رافقت الرقمنة هو الانزياح من التعامل مع الصوت كظاهرة فيزيائية مباشرة إلى التعامل معه كمعلومة قابلة للتحليل والمعالجة. هذا الانزياح له تبعات فلسفية وجمالية عميقة(Katz, 2007, p. 15) .

2.2.1-تفكيك الصوت إلى معاملات رياضية:

في النموذج التقليدي، كان المؤلف الموسيقي يتعامل مع الصوت من خلال حدسه السمعي وخبرته الموسيقية المتراكمة. كان يعتمد على أذنه لتقييم النغمات، التآلفات، الإيقاعات، والسرعة و طريقة الأداء .أما في النموذج الرقمي، فإن الصوت يُحلَّل إلى مكوناته الأساسية التي يمكن قياسها وتحديدها كمّياً(Puckette, 2007, p. 10) :

- **التردّد (Frequency) :**عدد الدورات الكاملة للموجة في الثانية، يُقاس بالهرتز (Hz) .يحدد التردد الطبقة المسموعة للصوت . (Pitch)في النظام الموسيقي الغربي المعدّل، نغمة A4 (لا الوسطى) لها تردد 440 Hz.
- **السعة (Amplitude) :**قوة الموجة الصوتية تحدد الشدة أو اللين (Loudness) و تُقاس عادة بالديسيبل (dB) .العلاقة بين السعة والديسيبل لوغاريتمية: كل زيادة بمقدار 6 dB تقريباً تعني مضاعفة السعة.
- **الطيف التوافقي (Harmonic Spectrum) :**توزيع الطاقة عبر الترددات المختلفة. يحدد الطيف التوافقي التيمبر (Timbre) أو "لون" الصوت. هذا ما يجعل طابع الكمان يبدو مختلفاً عن طابع البيانو حتى عند عزف نفس النغمة بنفس الشدة.
- **الغلاف الديناميكي (Envelope) :** والمقصود به كيفية تغير السعة عبر الزمن. يُوصف عادة بنموذج :**ADSR**
- **Attack :** زمن الصعود من الصفر إلى القمة
- **Decay :** زمن الهبوط من القمة إلى مستوى الاستمرار
- **Sustain :** مستوى السعة أثناء استمرار الصوت
- **Release :** زمن الهبوط من مستوى الاستمرار إلى الصفر بعد توقف التحفيز
- **المعاملات الزمنية (Temporal Parameters) :** و تشمل البداية(Onset) ، المدة(Duration) ، والتوقيت (Timing).
- **المعاملات المكانية** و يشمل **(Spatial Parameters) :**الموقع في الفضاء الصوتي، الاتساع الاستيريوفوني، والانتشار في أنظمة الصوت المحيطي(Rumsey, 2001, p. 25) .

كل مكون من هذه المكونات يمكن التعامل معه كمتغير رياضي قابل للتحكم والتعديل بشكل مستقل. هذا التحول يتيح مستوى غير مسبوق من التحكم الدقيق في المادة الصوتية (Roads, 2015, p. 89) .

2.2.2- .التحليل الطيفي وتحويل فوريه :

من أهم الأدوات الرياضية المستخدمة في تحليل الموسيقى الرقمية هو تحويل فوريه (Fourier Transform)الذي اكتشفه عالم الرياضيات الفرنسي جوزيف فوريه في أوائل القرن التاسع عشر. ينصّ مبدأ فوريه على أن أي موجة معقدة يمكن تحليلها إلى مجموع موجات جيبية بسيطة بترددات وسعات وأطوار مختلفة. هذا يعني أن صوت أوركسترا كاملة، رغم تعقيده الهائل، يمكن نظرياً تفكيكه إلى مجموع موجات جيبية بسيطة(Bracewell, 2000, pp. 5-12) .

في السياق الرقمي، يُستخدم "تحويل فوريه المتقطع" (Discrete Fourier Transform - DFT) وخوارزميته السريعة "تحويل فوريه السريع" (Fast Fourier Transform - FFT) لتحليل الإشارات الرقمية" " .يحول FFT الإشارة من المجال الزمني (Time Domain) إلى المجال الترددي(Frequency Domain) ، مما يكشف عن المكونات الترددية للصوت-(Roads, 2015, pp. 89 102).

هذا التحليل الطيفي أتاح تطوير تقنيات جديدة تماماً مثل:(Beauchamp, 2007, pp. 45-89)

- **المعالجة الطيفية (Spectral Processing) :**تعديل مكونات ترددية محددة.
- **الموسيقى الطيفية (Spectral Music) :**حركة موسيقية معاصرة تعتمد على التحليل الطيفي.

- **التوليف الطيفي (Spectral Synthesis) :**بناء أصوات جديدة من مكونات طيفية.
- **التحليل الطيفي الزمني (Time-Frequency Analysis) :**تحليل كيفية تغير الطيف عبر الزمن.

2.2.3-الإشكالية الفلسفية:

هذا التحول من "الصوت" إلى "المعلومة" يطرح تساؤلاً فلسفياً جوهرياً :هل يمكن اختزال التجربة الموسيقية إلى مجموعة من المعاملات الرياضية؟ من منظور المادية الاختزالية (Reductive Materialism)، الموسيقى في نهاية المطاف هي ظاهرة فيزيائية - تذبذبات في ضغط الهواء يلتقطها جهاز السمع البشري. بالتالي، يمكن نظرياً وصفها بالكامل من خلال المعادلات الرياضية والفيزيائية (Fletcher & Rossing, 1998, pp. 1-15).

لكن من منظور الفينومينولوجيا (Phenomenology) والجماليات، التجربة الموسيقية تتضمن أبعاداً لا يمكن اختزالها إلى أرقام مثل المعنى، العاطفة، الذاكرة، السياق الثقافي، والاستجابة الشخصية.(Adorno, 2002, pp. 274-280) . يشير تيودور أدورنو في تحليلاته الجمالية إلى أن الوساطة التقنية (Technical Mediation)للموسيقى - سواء كانت النوتة الموسيقية أو التسجيل الرقمي - ليست محايدة، بل تشكل وتحول التجربة الموسيقية نفسها (المصدر نفسه, ص.112). وفي نفس السياق يعترف رودز بأن التمثيل الرياضي للصوت، رغم قوته الهائلة في التحليل والتوليد، يبقى تمثيلاً وليس الشيء ذاته. هناك دائماً فجوة بين "الموسيقى كبيانات" و"الموسيقى كتجربة" (Roads, 2015, pp. 87-89).

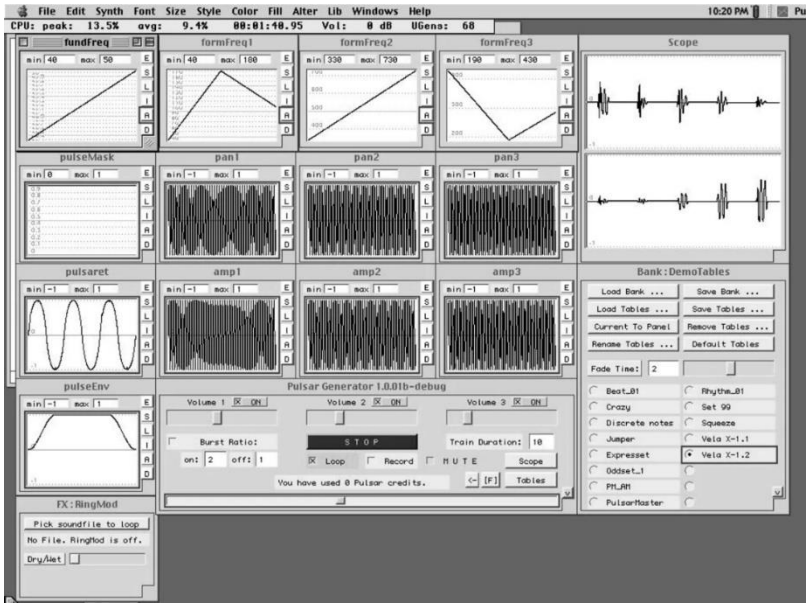
2.3- الانزياح من التأليف إلى المعالجة:

في التأليف الموسيقي التقليدي، كان المؤلف يبدأ من فكرة موسيقية أو موتيف ويطورها وفق قواعد البنية الموسيقية. أما في التأليف الإلكتروني والرقمي، فإن العملية غالباً ما تبدأ من المادة الصوتية نفسها، التي تُعالج وتُحول من خلال سلسلة من العمليات التقنية. هذا الانزياح من "التأليف" بالمعنى التقليدي إلى "المعالجة" يعكس تحولاً جوهرياً في العملية الإبداعية .لم يعد المؤلف مجرد منظّم للنغمات والإيقاعات، بل أصبح مهندساً صوتياً يشكل المادة الصوتية على مستويات متعددة. يشمل ذلك التوليف الصوتي(Sound Synthesis) ، المعالجة الطيفية (Spectral Processing)، التحبيب الصوتي(Granular Synthesis) ، وغيرها من التقنيات التي تتعامل مع الصوت كمادة خام قابلة للتشكيل (Wishart, 1996, p. 25). في هذا السياق، تتحول الأدوات الموسيقية نفسها من كونها مصادر صوتية ثابتة (كمان، بيانو، إلخ) إلى كونها معالجات (Processors)قابلة للبرمجة والتعديل(Manning, 2013, pp. 220-225).

2.3.1- تقنيات المعالجة الصوتية الرقمية:

يشمل التأليف القائم على المعالجة، حسب رودز، مجموعة واسعة من التقنيات(Roads, 2015, pp. 152-167) :

- **التوليف بطرح الموجات (Subtractive Synthesis) :**البدء بموجة غنية بالتوافقيات مثل موجة منشارية (Sawtooth)أو موجة مربعة (Square) ثم إزالة ترددات معينة باستخدام المرشحات (Filters) .هذا يحاكي طريقة عمل الآلات الصوتية الطبيعية حيث يولد المصدر (الوتر، العمود الهوائي) طيفاً غنياً ثم يشكله الرنان (جسم الكمان، أنبوب الناي).
- **التوليف بالتردد المعدل (FM Synthesis) :**استخدام موجة واحدة (Modulator) لتعديل تردد موجة أخرى(Carrier) ، مما ينتج طيفاً توافقياً معقداً بمعادلة رياضية بسيطة نسبياً .اشتهرت هذه التقنية في الثمانينيات مع آلة Yamaha DX7 التي أحدثت ثورة في الموسيقى الشعبية.(Manning, 2013, p. 245)
- **التوليف الحبيبي (Granular Synthesis) :**تقسيم الصوت إلى "حبيبات" صغيرة جداً (Grains) مدتها 1-100 ميلي ثانية، ثم إعادة تركيبها بطرق جديدة - تغيير الترتيب، السرعة، الكثافة، أو توزيعها في الفضاء.التوليف الحبيبي هو أحد أهم إسهامات رودز نفسه؛ فقد بدأ بحثه في هذا المجال منذ عام 1972 وطور برمجيات متخصصة مثل PulsarGeneratorو CloudGeneratorو EmissionControl2. إنّ الحبيبة الصوتية (Grain) أو ما يطلق عليها بالذرة الصوتية هي أصغر وحدة يمكن سماعها كصوت وليس كنقرة. عند تجميع آلاف أو ملايين الحبيبات بكثافات وأنماط مختلفة، يمكن إنتاج قوام صوتية (Sound Textures)جديدة تماماً، من الأصوات الشبيهة بالسحب الكثيفة إلى الأنماط الإيقاعية المعقدة .



Pulsar Generator (Curtis Roads)

- **المعالجة الطيفية (Spectral Processing) :**تحليل الصوت إلى مكوناته الطيفية باستخدام تحويل فوريه، ثم تعديل هذه المكونات (تغيير السعة، التردد، الطور)، ثم إعادة التوليف .هذا يتيح عمليات مثل:

- التجميد الطيفي (Spectral Freezing) :تجميد لقطة طيفية والاحتفاظ بها
- التحويل الطيفي (Spectral Morphing) :الانتقال التدريجي من طيف صوت إلى آخر
- التصفية الطيفية الانتقائية (Selective Spectral Filtering) :إزالة أو تعزيز نطاقات ترددية محددة

- **المعالجة القائمة على النماذج الفيزيائية(Physical Modeling) :**محاكاة سلوك الآلات الموسيقية الطبيعية من خلال نمذجة الخصائص الفيزيائية للاهتزاز، الرنين، والانتشار الصوتي .بدلاً من تسجيل صوت كمان، يُدمج سلوك الوتر والقوس والرنان رياضياً، مما يتيح تعديل هذه الخصائص بطرق غير ممكنة في الآلة الحقيقية.

2.3.2-من الاستوديو كمكان تسجيل إلى الاستوديو كآلة تأليف :

يوضح بيتر مانينغ في كتابه " الموسيقى الإلكترونية والحاسوبية" (Electronic and Computer Music) أن تطور التقنيات الرقمية حوّل الاستوديو نفسه من مجرد مكان لتسجيل الأداء إلى آلة تأليف قائمة بذاتها .في الخمسينيات والستينيات، كانت استوديوهات الموسيقى الإلكترونية مثل Westdeutscher Rundfunk (WDR)في كولونيا و Columbia-Princeton Electronic Music Centerفي نيويورك تمتلك معدات ضخمة ومعقدة لتوليد ومعالجة الأصوات (Manning, 2013, p. 229) . مع ظهور أجهزة الكمبيوتر الشخصية في الثمانينيات ومحطات العمل الصوتية الرقمية (Digital Audio Workstations - DAWs)مثلPro Tools ، Logic، و Ableton Liveفي التسعينيات والألفية الجديدة، أصبحت قوة استوديو كامل متاحة على جهاز كمبيوتر محمول (Burgess, 2014, p. 20) . هذا التحول الهام في طريقة الإنتاج الموسيقي أعاد تعريف العملية الإبداعية نفسها, فالملحن لم يعد يكتب نوتة موسيقية ثم يسلمها للعازفين بل أصبح يبني العمل الموسيقي مباشرة في الاستوديو الرقمي من خلال التجريب والتكرار والمعالجة (Roads, 2015, p. 167).

برمجية Ableton Live (من الموقع الرسمي)

2.3.3-نحو نموذج جديد للتأليف الموسيقي:

يرى رودز أن التأليف الموسيقي في العصر الرقمي لم يعد مجرد تنفيذٍ لتصوُّر مسبق، بل تحوَّل إلى حوارٍ تجريبيٍّ مستمرٍّ بين المؤلِّف والمادة الصوتية. ويقترح بناءً على ذلك نموذجاً جديداً للتأليف يقوم على:

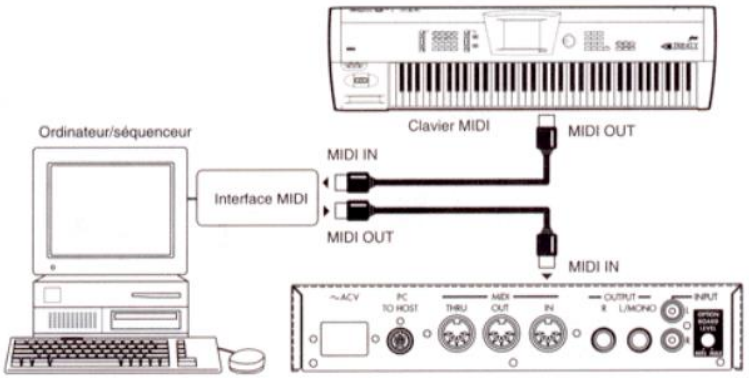
- تحوّل العملية من التخطيط المسبق إلى الاستكشاف الآني.
- استبدال النوتة الموسيقية أو إكمالها بالبرمجيات والخوارزميات.
- انتقال التركيز من الثبات إلى القابلية للتعديل المستمر.
- تغيُّر مفهوم العمل الفني من منتجٍ مكتمل إلى لقطةٍ في عمليةٍ دائمة التطوُّر.

ويؤدِّي هذا النموذج إلى تذويب الحدود التقليدية بين أدوار المؤلف، والمهندس الصوتي، والمصمم الصوتي، والعازف، فتصبح أكثر مرونةً وسيولة (Roads, 2015, pp. 163-167).

2.3.4-ظهور معيار MIDI وثورة التحكم الموسيقي الرقمي:

في عام 1983، تم إطلاق بروتوكول MIDI (Musical Instrument Digital Interface)، وهو معيار اتصال تاريخي يسمح للآلات الموسيقية الإلكترونية وأجهزة الكمبيوتر بالتواصل مع بعضها البعض(Rumsey, 1994, p. 25) . تشمل أهم رسائل MIDI :

- **Note On :** بداية نغمة (تحدد رقم النغمة والسرعة/القوة)
- **Note Off :** نهاية نغمة
- **Pitch Bend :** تغيير الطبقة
- **Control Change :** التحكم في معاملات مثل الصوت، التعبير، البدال، إلخ
- **Program Change :** تغيير الآلة أو الصوت
- **Aftertouch :** ضغط إضافي بعد الضغط الأولي على المفتاح



الربط بينMIDI و الحاسوب (Merlier,2013, p.4)

هذا الفصل بين "المعلومة الموسيقية (MIDI) "و"الصوت الفعلي" كان ثورياً لعدة أسباب(Huber & Runstein, 2013, p.378) :

- **التوحيد القياسي :**لأول مرة، يمكن لآلات من شركات مختلفة التواصل مع بعضها.
- **التأليف دون صوت فوري :**يمكن كتابة موسيقى MIDI صامتة ثم سماعها بأصوات مختلفة.
- **التحرير المثالي :**يمكن تعديل كل نوتة بدقة - التوقيت، الطبقة، القوة - بعد التسجيل.
- **مرونة الآلات :**يمكن تغيير الآلة (الصوت) بعد التأليف دون إعادة العزف.
- **التحكم المتعدد :**التحكم في عشرات أو مئات الآلات من جهاز واحد.
- **التسلسل والأتمتة :**برمجة تسلسلات معقدة وأتمتة التحكم في المعاملات.

جعل معيار MIDI الموسيقى "بيانات "بالمعنى الحرفي والكامل، ممّا مهّد الطريق مباشرة للتأليف الخوارزمي والذكاء الاصطناعي الموسيقي . (Roads, 2015, p.22)و رغم أهميته التاريخية، فإن لهذا المعيار حدوداً واضحة، كما يوضح الملحن و عالم الرياضيات الأمريكي غاريث لوي (Loy, 2007, pp. 243-245) :

- **دقة الطبقة محدودة MIDI :**يدعم فقط 128 نغمة منفصلة في نظام 12 نصف تون، مما يجعل تمثيل الأرباع التونية العربية أو أنظمة المقامات الدقيقة صعباً) رغم وجود حلول جزئية مثل(Pitch Bend
- **لا ينقل الصوت الفعلي MIDI :**ينقل فقط التعليمات؛ الصوت النهائي يعتمد على المولّد (Synthesizer) المستخدم
- **عرض النطاق محدود :**البروتوكول الأصلي بطيء نسبياً (31.25 كيلوبت/ثانية)

ورغم هذه القيود، ظل MIDI المعيارَ المسيطرَ على التحكم الموسيقي الرقمي لأكثر من أربعة عقود، إلى أن تم تطويره إلى الإصدار MIDI 2.0 في عام 2020 لمعالجة بعض هذه العيوب (McGuire & van Dyke, 2022, p.15) .

3- الخوارزمية كفاعل موسيقي جديد:

شهد التأليف الموسيقي تحوّلاً جذرياً في العصر الرقمي، تخطى حدود الوسائل والأدوات ليطال البنى العميقة للعملية الإبداعية ذاتها. لم يعد الابتكار مقصوراً على توليف الأصوات أو ابتكار أشكال تركيبية جديدة، بل امتد ليشمل قلب العلاقة التقليدية بين المبدع والأداة، حيث تبرز الخوارزمية كفاعلٍ نشطٍ ومستقلٍّ في الحقل الموسيقي. لم تظهر هذه الظاهرة بين عشية وضحاها، بل هي تتويجٌ لمسارٍ طويل من التفاعل بين المنطق الرياضي والفنون الصوتية، تجلّى مبكراً في التجارب التأليفية القائمة على القواعد والاحتمالات. لكن التسارع التقني الهائل في مجالات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي قد منح هذا المسار زخماً غير مسبوق، وحوّل الخوارزمية من مجرد أداة تنفيذ إلى شريكٍ قادر على "التعلّم" و"الاقتراح" و"التوليد."

3.1- نماذج الذكاء الاصطناعي في التوليد الموسيقي :

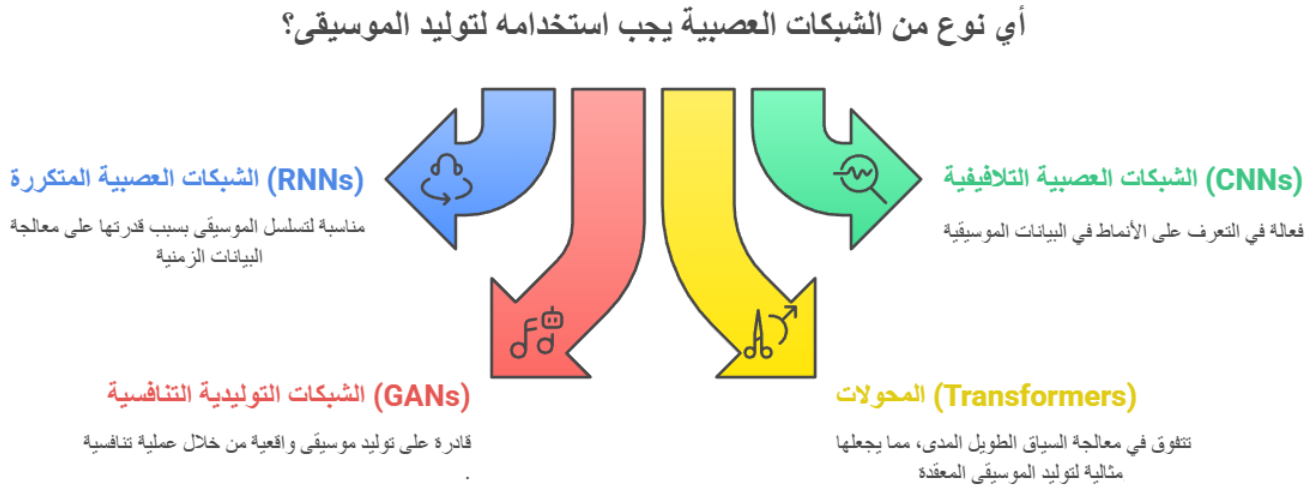
الذكاء الاصطناعي في التأليف الموسيقي ليس ظاهرة جديدة تماماً، لكنه شهد قفزات نوعية هائلة خلال العقود الأخيرة. يمثل عمل ديفيد كوب مع برنامجه "Experiments in Musical Intelligence" (EMI) نقطة تحول مهمة في هذا المجال. طور كوب نظاماً قادراً على تحليل أعمال المؤلفين الكلاسيكيين واستخراج الأنماط الأسلوبية منها، ثم توليد أعمال جديدة تحاكي أسلوب هؤلاء المؤلفين.

في كتابه"Virtual Music: Computer Synthesis of Musical Style" ، يقدم كوب تحليلاً شاملاً لمفهوم "الموسيقى الافتراضية" - وهي فئة واسعة من التأليف الموسيقي الذي تنتجه الآلة بهدف محاكاة أسلوب موسيقى موجودة دون إعادة إنتاج النوتات الفعلية (Cope, 2001, pp. 1-34) . يشمل ذلك تقنيات تاريخية مثل الباص المرقَّم (Figured Bass) في عصر الباروك، ولعبة النرد الموسيقية (Musikalisches Würfelspiel)في القرن الثامن عشر، وصولاً إلى الأنظمة الحاسوبية المعاصرة. كان عمل كوب مثيراً للجدل، حيث طرح تساؤلات أساسية حول طبيعة الإبداع الموسيقي والأصالة .في تجربة "اللعبة" التي أجراها كوب، طُلب من المستمعين - بما فيهم خبراء الموسيقى - التمييز بين الأعمال التي ألفها بشر وتلك التي ولدتها الخوارزمية. أظهرت النتائج أن نسبة النجاح في التمييز تراوحت بين 40-60%، مما يشير إلى أن الموسيقى المولدة خوارزمياً يمكن أن تكون مقنعة جداً من الناحية الأسلوبية (المصدر نفسه ص.89).

3.2- من المنطق الرمزي إلى التعلم العميق :

شهد التأليف الموسيقي الخوارزمي تطوراً منهجياً مهماً من الأنظمة القائمة على القواعد (Rule-Based Systems) إلى أنظمة التعلم الآلي والتعلم العميق. في الأنظمة المبكرة، كان المبرمجون يحددون القواعد الموسيقية بشكل صريح - مثل قواعد الهرمنة التونالية أو قواعد الطباق. أما في الأنظمة الحديثة القائمة على التعلم العميق، فإن الخوارزمية "تتعلم" الأنماط الموسيقية من خلال تحليل كميات هائلة من البيانات الموسيقية. في دراسة شاملة نشرها بريوت وزملاؤه حول "تقنيات التعلم العميق لتوليد الموسيقى"، يُحدد الباحثون عدة معماريات رئيسية للشبكات العصبية المستخدمة في التأليف الموسيقي(Briot et al., 2020, pp. 45-78) :

- **الشبكات العصبية المتكررة (RNNs)** :تُستخدم لنمذجة التسلسلات الزمنية، مما يجعلها مناسبة للموسيقى التي لها بنية زمنية واضحة. تطوير LSTM (Long Short-Term Memory) و GRU (Gated Recurrent Unit)حسّن بشكل كبير قدرة هذه الشبكات على التعامل مع التبعيات طويلة المدى في الموسيقى.
- **الشبكات العصبية التلافيفية (CNNs)** :استُخدمت بنجاح في توليد الموسيقى، خاصة في نماذج مثل WaveNet التي طورتها DeepMind، والتي تستخدم التلافيف المُوسّعة (Dilated Convolutions) لتوليد الصوت الخام.
- **الشبكات التوليدية التنافسية (GANs)** :تُستخدم لتوليد موسيقى متعددة الآلات. نموذجMuseGAN ، على سبيل المثال، يستخدم مولدات متعددة لتوليد موسيقى تحترم التبعيات بين الآلات المختلفة.
- **المحولات (Transformers)** :الجيل الأحدث من نماذج التعلم العميق، المستوحاة من نجاحها في معالجة اللغة الطبيعية، بدأت تُطبق بفعالية في توليد الموسيقى، خاصة في نمذجة البنى الموسيقية طويلة المدى.



هذا التطور من الأنظمة الرمزية إلى التعلم العميق يعكس تحولاً فلسفياً مهماً: من محاولة صياغة "قواعد" الموسيقى بشكل صريح إلى السماح للخوارزمية باكتشاف الأنماط الضمنية من البيانات نفسها.

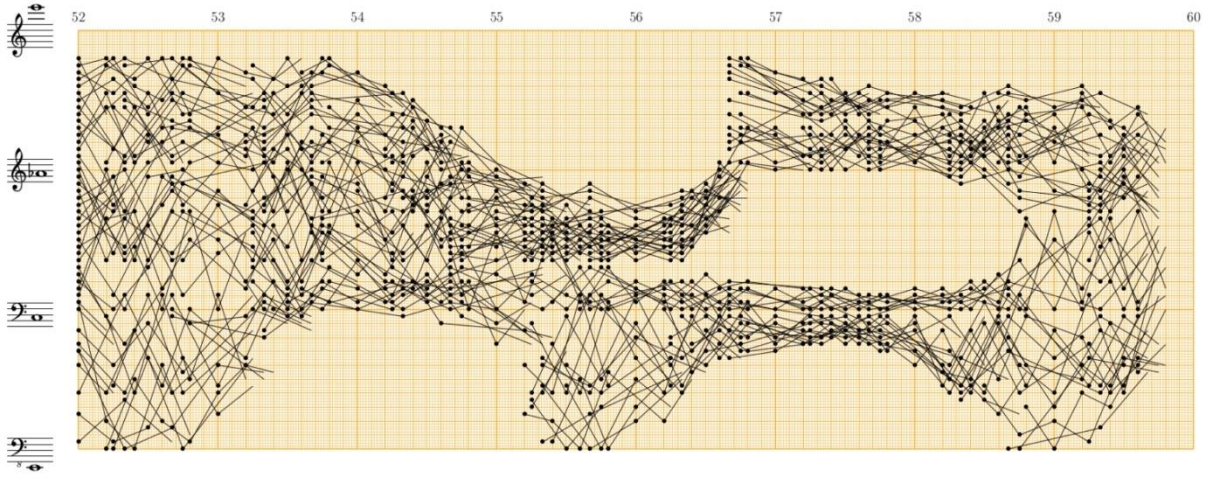
3.3-مشاريع رائدة في التأليف الخوارزمي :

بعد استعراض الإطار النظري والتقني للتأليف الخوارزمي، من الضروري رؤية هذه المفاهيم مجسدة في تطبيقات عملية. فمسار التطور من الأنظمة القائمة على القواعد إلى تعلم الآلة لا يظهر في الخطط المعمارية للشبكات العصبية فحسب، بل في المشاريع التي طبقت هذه الأفكار على أرضية الإبداع الموسيقي. لذلك، ننتقل إلى تحليل ثلاث دراسات حالة تاريخية ومعاصرة، تبدأ من المبادرة الرياضية المجردة للملحن اليوناني إيانيس زيناكيس(Iannis Xenakis)، مروراً بالنهج متعدد الوسائط لـGoogle Magenta ، ووصولاً إلى التوليف الأسلوبي الذكي لـ . OpenAI MuseNet

3.3.1- مشروع إيانيس زيناكيس والموسيقى الرياضية:

يُعد زيناكيس من الرواد الأوائل في استخدام النماذج الرياضية في التأليف الموسيقي. في كتابه "Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition"، يقدم زيناكيس رؤية شاملة لاستخدام المفاهيم الرياضية - خاصة نظرية الاحتمالات والعمليات العشوائية - (Stochastic Processes) في التأليف الموسيقي(Xenakis, 1992, pp. 3-42) .

استخدم زيناكيس توزيع بواسون (Poisson Distribution) لتحديد عدد الأحداث الموسيقية في فترة زمنية معينة، والتوزيع الأسي (Exponential Distribution)لتحديد الفترات الزمنية بين الأحداث، والتوزيع المنتظم (Uniform Distribution) لتحديد طبقات النغمات (المصدر نفسه, ص.ص89-134) .هذا النهج الرياضي الصارم في التأليف الموسيقي كان ثورياً في عصره ومهد الطريق للأجيال اللاحقة من المؤلفين الخوارزميين.



Représentation graphique des mm. 52-59 de *Pithoprakta* (1955-56). Transcription à partir de la partition : Benoît Gibson. (**https://www.iannis-/xenakis.org/musique-stochastique)**

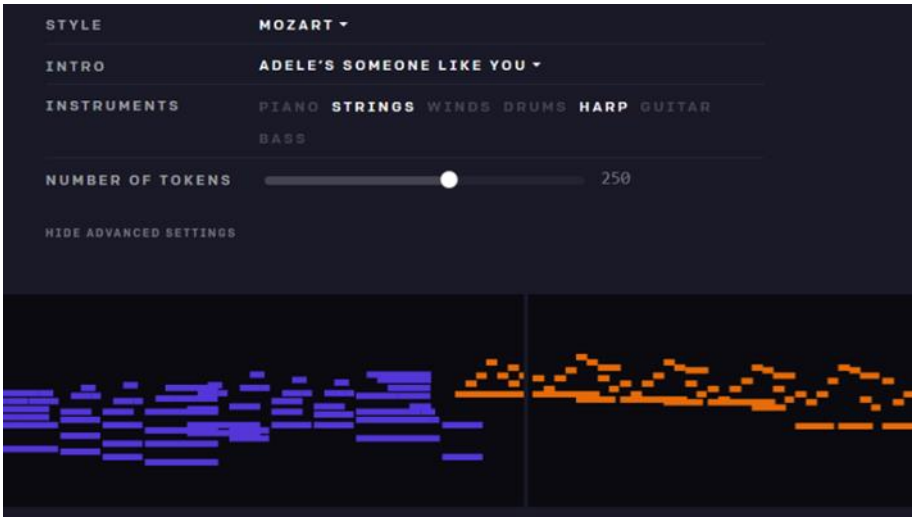
3.3.2- مشروع Google Magenta وMusicLM :

في العصر الحديث، يمثل مشروع Magenta من Google مثالاً بارزاً على تطبيق الذكاء الاصطناعي المتقدم في التوليد الموسيقي. طورت Magentaسلسلة من النماذج، بما في ذلكMusicLM ، الذي يستخدم نماذج اللغة الكبيرة لتوليد الموسيقى من الأوصاف النصية .هذا النهج متعدد الوسائط (Multimodal) يفتح إمكانيات جديدة للتفاعل بين اللغة والموسيقى(Miranda, 2021, p.234) .

برمجية Magenta Studio AI

3.3.3- مشروع OpenAI MuseNet :

يُمثل مشروع MuseNet، الذي طورته شركة OpenAI، نقلةً نوعية في مجال التوليد الموسيقي بالاعتماد على التعلم العميق. فبخلاف النماذج السابقة التي قد تُركّز على نمط موسيقي واحد أو آلية محدودة، صُمم هذا النموذج ليكون نظاماً مرناً وقادراً على توليد مقطوعات معقدة متعددة الآلات، مستوعباً طيفاً واسعاً من الأساليب الموسيقية الممتدة من الكلاسيكية والجاز إلى الموسيقى الشعبية المعاصرة. يعتمد MuseNet في بنيته الأساسية على معمارية المحولات(Transformers) ، والتي أثبتت كفاءة استثنائية في معالجة التسلسلات الطويلة وتمييز العلاقات المعقدة ضمن البيانات، سواء أكانت نصية أم موسيقية. هذه القدرة تتيح للنموذج فهم البنى الداخلية للألحان والتناغمات والإيقاعات وفتراتها الزمنية، واستخلاص الأنماط العميقة التي تميز كل أسلوب موسيقي. إنّ الأكثر إثارة في أداء MuseNet هو مزجه الإبداعي بين هذه الأساليب. فالنموذج لا يقتصر على محاكاة أسلوب بعينه، بل يمكنه، بناءً على المعطيات أو "التلميحات" المقدمة له، توليف تأثيرات موسيقية جديدة تماماً، مثل دمج ألحان على نمط موسيقى البوب مع ترتيبات وتوزيع آلي يشبه أسلوب العصر الرومانسي، أو إدخال عناصر إيقاعية حديثة على هيكل سيمفوني. هذه السيولة الأسلوبية تجعل من MuseNet أكثر من مجرد أداة تقليد، بل أداة استكشافية تفتح آفاقاً للتجريب على تقاطعات الأنواع الموسيقية المختلفة(Miranda, 2021, p.51) .



قدرة MuseNet على المزج بين نمطين مختلفين للموسيقى (https://techcrunch.com/2019/04/25/musenet-generates-original-songs-in-seconds-from-bollywood-to-bach-or-both)

/

4- إشكاليات الهرمنة الخوارزمية:

تثير الهرمنة الخوارزمية والتأليف الموسيقي القائم على الذكاء الاصطناعي مجموعة من التساؤلات الفلسفية والجمالية والقانونية التي تتجاوز المسائل التقنية لتصل إلى صميم فهمنا للإبداع الفني والتجربة الإنسانية.

4.1- إشكالية الأصالة والتكرار :

4.1.1.- التوليد الخوارزمي بين الإبداع والمحاكاة :

تثير الهرمنة الخوارزمية تساؤلات عميقة حول مفهوم الأصالة (Originality) في الفن. إذا كانت الخوارزمية تتعلم من الموسيقى الموجودة وتولد أعمالاً جديدة بناءً على الأنماط المستخرجة، فهل يمكن اعتبار هذه الأعمال "أصيلة"؟ أم أنها مجرد إعادة تركيب معقدة للمواد الموجودة؟(Cope, 2001, p.178) .في هذا الإطارتميّز الفيلسوفة مارغريت بودن (Margaret Boden) بين ثلاثة أنواع من الإبداع : (Boden, 2004, pp. 2-4)

- **الإبداع الاستكشافي (Exploratory Creativity) :**استكشاف إمكانات فضاء مفاهيمي موجود مسبقاً
- **الإبداع التركيبي (Combinational Creativity) :**دمج عناصر مألوفة بطرق غير مألوفة
- **الإبداع التحويلي (Transformational Creativity) :**تغيير قواعد الفضاء المفاهيمي نفسه لإنتاج إمكانات جديدة كلياً

معظم أنظمة التأليف الخوارزمي الحالية تعمل ضمن النوعين الأولين، حيث تستكشف الأنماط الموسيقية الموجودة أو تركّبها بطرق جديدة، لكنها نادراً ما تحقق الإبداع التحويلي الذي يغيّر الأطر الجمالية نفسها (المصدر نفسه ص.234).

4.1.2-تجربة ديفيد كوب والسؤال المقلق عن الأصالة :

في تجربته الموسيقية التي أجراها ديفيد كوب، عُرضت ثلاث قطع موسيقية على جمهور من الموسيقيين والنقاد: الأولى من تأليف باخ الأصلي، والثانية قطعة معاصرة كُتبت على غرار أسلوبه، والثالثة مولَّدة بالكامل بواسطة برنامجه" EMI " فشل المستمعون بمن فيهم خبراء موسيقى الباروك في تمييز القطعة المولَّدة خوارزميًا، بل إن بعضهم وصفها بأنها تبدو "أكثر باخيةً من باخ نفسه". (Cope, 2001, pp. 89-112) . من جانبه، رأى عالم الحاسوب الأمريكي دوغلاس هوفستادتر في تعليقه المشهور على عمل كوب، أن نجاح هذه الأنظمة الخوارزمية في توليد موسيقى مقنعة يطرح تساؤلاً مقلقًا: هل التأليف الموسيقي "حرفة" (Craft) أم "فن" (Art)؟ فإذا كانت الخوارزمية قادرة على إتقان "الحرفة" الموسيقية - أي إجادة القواعد والأنماط والتراكيب النحوية - فما الذي يبقى ليميز الفنان الحقيقي؟ هل هو البعد العاطفي؟ أم القصدية الإبداعية؟ أم التجربة الحياتية الفريدة؟ أم أن هذه العوامل نفسها تصبح، في نهاية المطاف، قابلةً للنمذجة والمحاكاة الخوارزمية؟ (Hofstadter, 1997, pp. 36-55)

4.1.3-التوتر بين المفهومين الصوري والتعبيري للموسيقى :

يكشف السؤال الذي طرحه دوغلاس هوفستادتر عن توتر أساسي بين فهمين للإبداع الموسيقي (Collins, 2010, p.15) :

- **الفهم الصوري-البنيوي (Formalist-Structural) :**يرى الموسيقى كنظام من العلاقات الصوتية والبنى النحوية القابلة للصياغة الرياضية والمنطقية. من هذا المنظور، إذا استطاعت الخوارزمية محاكاة هذه البنى بنجاح، فقد حققت شكلاً من أشكال الإبداع (Hanslick, 1986, p.35).
- **الفهم التعبيري-الفينومينولوجي (Expressivist-Phenomenological) :**يرى الموسيقى كتعبير عن التجربة الإنسانية الفريدة، المشبعة بالعاطفة والقصدية والوعي الذاتي. من هذا المنظور، الموسيقى المولدة خوارزمياً قد تكون "صحيحة" تقنياً لكنها تفتقر إلى البعد الوجودي العميق.(Scruton, 1997, p. 5)

يرى الفيلسوف البريطاني روجر سكروتون أن القصدية (Intentionality)هي العنصر المركزي الذي يميز الفن الحقيقي عن المحاكاة. الموسيقى ليست مجرد أنماط صوتية، بل هي إيماءة معبّرة (Expressive Gesture) موجهة من وعي إنساني إلى آخر . (Scruton, 2009, p. 23).لكن هذا الموقف يواجه اعتراضاً قوياً: إذا كان المستمعون غير قادرين على التمييز بين الموسيقى البشرية والمولدة آلياً، ويستجيبون عاطفياً لكليهما بنفس الطريقة، فهل القصدية حقاً ضرورية للتجربة الجمالية هكذا يتساؤل الفيلسوف النيوزيلاندي ستيفان ديفيس؟(Davies, 2003, pp. 195-210)

4.1.4- التأليف الموسيقي كإعادة تركيب:

من الجدير بالذكر أن إشكالية "الأصالة" في مواجهة "التكرار" ليست وليدة العصر الرقمي، بل هي متأصلة في تاريخ الموسيقى نفسه، حيث اعتمد عمالقة التأليف عبر العصور - وبصورة منهجية - على إعادة توظيف المواد الموسيقية القائمة. فقد أعاد باخ صياغة أعماله وأعمال سابقيه، وانساق موزارت مع الصيغ والتوبوسات السائدة في عصره، ونسج براهمز حواراً واعياً مع التراث الموسيقي، بينما اغترف بارتوك من ينابيع الموسيقى الشعبية في تأليفه. هذا دون إغفال الانزياح الواسع نحو التناص الموسيقي كإستراتيجية تأليفية بارزة في القرن العشرين.

وبالتالي، لا يكمن الفارق الجوهري في ابتكار المادة من العدم، بل في التحويل الجمالي (Aesthetic Transformation)، أي القدرة على إعادة صياغة المواد القائمة ووضعها في سياق جديد يمنحها معنى ودلالة مبتكرة(Boden, 2004, p.45) .

وهذا ما يقود إلى السؤال المحوري: هل تمتلك الأنظمة الخوارزمية المعاصرة القدرة على مثل هذا التحويل الجمالي العميق، أم أن إنتاجها لا يعدو كونه إعادة تركيب سطحي (Surface Recombination) للمواد القائمة دون استيعاب حقيقي لدلالاتها الموسيقية؟ (Pearce & Wiggins, 2012, pp. 225-237)

4.2-إشكالية المسؤولية الفنية والتأليف :

4.2.1-من المؤلف في العصر الخوارزمي؟

من يتحمّل المسؤولية الفنية عن عمل موسيقي مُولَّد خوارزميًا؟ يُطرح هذا السؤال على عدة مستويات متداخلة، تشكل إجاباتها معًا تحديًا للتصورات التقليدية عن الإبداع والمؤلف(Miranda, 2021, p.412) :

- **مصمم البرمجية :**يمكن القول إن المسؤولية تقع على عاتق الشخص الذي صمّم الخوارزمية وحدّد معاييرها ومعاملاتها الأساسية. في هذا المنظور، تُعد الخوارزمية مجرد "أداة" متطورة، بينما يبقى المبرمج هو المؤلف الحقيقي الذي يوجه العملية الإبداعية من خلف الكواليس.(Brown, 2018, pp. 67-85)
- **الخوارزمية ذاتها (الفاعل غير البشري) :**إذا كانت الخوارزمية قادرة على اتخاذ قرارات "إبداعية" غير متوقعة بناءً على عمليات تعلّم معقدة، فهل يمكن اعتبارها "فاعلًا" إبداعيًا مستقلاً؟ هذا الرأي يثير تساؤلات فلسفية عميقة حول طبيعة الفاعلية (Agency) والقصدية (Intentionality)في سياق غير بشري.(Boden, 2004, pp. 317-320)
- **مجموعة البيانات التدريبية والمؤلفون الأصليون :**بما أنμ الخوارزميات التوليدية تتعلم بشكل أساسي من قاعدة بيانات من الأعمال الموسيقية القائمة، فإن المخرجات هي، بمعنى ما، مشتقات من هذه المجموعة. وهذا يدفعنا إلى التساؤل التالي: هل يحق للمؤلفين الأصليين لتلك البيانات الاعتراف بهم أو حتى التعويض المادي؟ (Briot et al., 2020, pp.178-195)
- **المستخدم/المؤدي (نموذج التعاون إنسان-آلة) :**في العديد من الأنظمة التفاعلية، يلعب المستخدم دورًا توجيهيًا حاسمًا من خلال اختياراته وتدخلاته أثناء عملية التوليد. وفي هذه الحالة، يصبح العمل الفني النهائي ثمرة تعاون (Collaboration) بين الإنسان والآلة، مما يعقد توزيع مسؤولية التأليف بين الطرفين.(Pachet, 2012, p.89)

وبالتالي، يمكن القول أن مفهوم المؤلف في العصر الخوارزمي لم يعد عبارة عن كيان فردي واحد، بل تحوّل إلى شبكة من المساهمات البشرية والتقنية، مما يستدعي إطارًا قانونيًا ونقديًا جديدًا لاستيعاب هذه العلاقات الإبداعية المعقدة.

4.2.2-موقف ديفيد كوب:

يرى كوب أن الأعمال المولدة بواسطة الحاسوب هي "ملكنا بقدر ما هي ملك أعظم إلهاماتنا الشخصية ".بالنسبة لكوب، الإبداع القائم على الآلة يُوسّع القدرة الإنسانية (Augments Human Capacity) بدلاً من استبدالها(Cope, 2001, pp. 245-267) .يقارن كوب الحاسوب بالآلات الموسيقية التقليدية: كما أن البيانو "يوسع" قدرة الموسيقي على إنتاج الصوت دون أن يُنكر دوره الإبداعي، كذلك الخوارزمية تُوسع قدرة المؤلف على استكشاف الإمكانات الموسيقية (المصدر نفسه, ص.268). بيد إن هذه المقارنة إشكالية: البيانو هو أداة سلبية تستجيب مباشرة لنوايا العازف، بينما الخوارزمية التوليدية تتخذ قرارات مستقلة بناءً على معايير داخلية معقدة و هذا ما يطرحه عالم الحاسوب البريطاني سيمون كولتن في مقاله المعنون " الإبداع مقابل إدراك الإبداع في الأنظمة الحوسبية" (Creativity Versus the Perception of Creativity in Computational Systems) (Colton, 2008, pp. 25-35).

4.3-إشكالية التلقي والاستمتاع الجمالي :

تشكِّل إشكالية التلقي والاستمتاع الجمالي حجر زاوية في النقاش حول الموسيقى المولّدة خوارزمياً، حيث يطفو السؤال الجوهري :هل تؤثر معرفتنا بأن عملاً موسيقياً مولَّد بالكامل بواسطة خوارزمية على تجربتنا الجمالية تجاهه، وقدرتنا على الاستمتاع به؟ تشير الأدلة التجريبية في هذا المجال إلى نتائج متباينة تثير اهتماماً خاصاً. ففي تجارب كوب الموسيقية الشهيرة، التي عرض فيها أعمالاً لباخ إلى جانب مقطوعات مولَّدة ببرنامجه(EMI) ، فشل عدد كبير من المستمعين بمن فيهم المتخصصون في موسيقى الباروك في التمييز بين المصدر البشري والمصدر الآلي للعمل الموسيقي، بل إن البعض أبدى إعجاباً أكبر بالنسخ المولدة آلياً(Cope, 2001, p.112) .

إلا أنّ هذه الصورة تتغير بشكل جذري عندما يدرك المستمعون حقيقة الأصل الآلي للعمل مسبقاً. فقد أظهرت دراسات لاحقة أن معرفة السياق الإبداعي يمكن أن تشكّل عاملاً حاسماً في التقييم الجمالي، حيث تنخفض التقديرات العاطفية والقيمة المنسوبة للعمل أحياناً بمجرّد إدراك أنه ناتج عن آلة. هذا التحول يشير إلى أن التجربة الجمالية ليست وظيفة مباشرة للخصائص الصوتية الموضوعية فحسب، بل هي ظاهرة معقدة تشتبك فيها العوامل السياقية والمعرفية والثقافية بشكل وثيق (Boden, 2004, pp. 234-256) .فنحن لا نستمع إلى الأنماط الصوتية في فراغ، بل ندركها من خلال عدسة من التوقعات والمعتقدات حول ماهية الفن، ودور الفنان، وطبيعة الإبداع.

بالتالي، يثير توليد الموسيقى بواسطة الذكاء الاصطناعي أسئلة عميقة حول القيمة السردية التي نمنحها للأعمال الفنية. فجزء كبير من استجابتنا العاطفية وتقديرنا الجمالي متجذر في السرديات المرتبطة بالخلق الإنساني كفكرة المعاناة، والإلهام، والتعبير عن التجربة الذاتية. عندما يغيب هذا السرد البشري، قد نشعر بفجوة عاطفية أو فلسفية حتى وإن كان المحتوى الصوتي مقنعاً من الناحية السمعية. بعبارة أخرى، الموسيقى ليست مجرد نظام من العلاقات الصوتية المجردة بل إنها ممارسة ثقافية وإنسانية غنية، وحوار معقد بين المؤلف والأداة والتاريخ والمتلقي. ولذلك، فإن تقييم الموسيقى المولدة آلياً لا يختبر جودة الناتج الصوتي فقط، بل يختبر أيضاً استعدادنا لإعادة تعريف مفاهيمنا عن الإبداع، والفاعلية، والمعنى في الفن في عصر رقمي تتعاظم فيه شراكة الإنسان مع الآلة الذكية.

5- نحو نموذج تكاملي للهرمنة الموسيقية :

5.1- التفاعل بين الإنسان والآلة في التأليف الموسيقي :

يرى الملحن النمساوي غيرنارت نيرهاس أنه بدلاً من النظر إلى العلاقة بين التأليف البشري والخوارزمي كعلاقة تنافسية أو استبدالية، يمكننا تصور نموذج تكاملي يستفيد من قوة كل منهما. في هذا النموذج، لا تحل الخوارزمية محل المؤلف البشري، بل تعمل كأداة إبداعية موسعة تفتح آفاقاً جديدة للاستكشاف الموسيقي.و من هنا يمكننا تصنيف أشكال التعاون بين الإنسان والآلة في التأليف الموسيقي إلى عدة مستويات(Nierhaus, 2009, pp.34-45) :

- **التوليد بمساعدة الآلة (Machine-Assisted Composition)**:حيث يستخدم المؤلف البشري الخوارزميات كمصدر للإلهام أو كأداة لاستكشاف إمكانيات موسيقية جديدة، لكنه يحتفظ بالسيطرة الكاملة على القرارات الفنية النهائية.
- **التأليف التعاوني (Co-creative Composition)**:حيث يتفاعل المؤلف البشري والخوارزمية في حوار إبداعي مستمر، كل منهما يستجيب لمساهمات الآخر ويبني عليها.
- **التأليف المستقل بإشراف بشري (Autonomous Composition with Human Curation)**:حيث تولّد الخوارزمية مواد موسيقية بشكل مستقل، لكن المؤلف البشري يختار وينظم ويعدل هذه المواد لإنتاج العمل النهائي.

هذا النموذج التكاملي يتجنب الثنائية الزائفة بين "الإبداع الإنساني الأصيل" و"التقليد الآلي الميكانيكي"، ويعترف بأن كلا النهجين يمكن أن يساهم في توسيع اللغة الموسيقية و إثراء مجالات الإبداع الفني.

أشكال التعاون بين الإنسان والآلة في التأليف الموسيقي حسب نيرهاوس

5.2- البعد الجمالي للموسيقى الخوارزمية :

رغم أن الموسيقى الخوارزمية غالباً ما تُناقش من منظور تقني أو نظري، فمن المهم الاعتراف بأن لها إمكانيات جمالية فريدة. الموسيقى المولدة خوارزمياً يمكن أن تستكشف مساحات موسيقية يصعب أو يستحيل على المؤلف البشري الوصول إليها بسبب قيود الإدراك والذاكرة البشرية. فعلى سبيل المثال، يمكن للخوارزميات إنتاج بنى موسيقية معقدة للغاية تتضمن طبقات متعددة من التزامن والتناظر الرياضي الذي يصعب على الأذن البشرية إدراكه مباشرة، لكنه يخلق تأثيراً جمالياً فريداً (Roads, 2015, p.241) .كما يمكن للخوارزميات استكشاف مساحات هرمنية غير تقليدية بطرق منهجية أكثر شمولاً مما يمكن للمؤلف البشري تحقيقه. في كتابه "Algorithmic Composition: Paradigms of Automated Music Generation"، يناقش غيرهارد نيرهاوس كيف أن التأليف الخوارزمي يفتح "مساحات تصميمية" جديدة لم تكن متاحة من قبل (Nierhaus, 2009, p.289) .هذه المساحات ليست مجرد توسيع للممارسات الموسيقية التقليدية، بل تمثل أشكالاً جديدة من التنظيم الموسيقي لها منطقها الجمالي الخاص.

5.3-الأبعاد الثقافية والاجتماعية للموسيقى الخوارزمية :

الموسيقى الخوارزمية لا توجد في فراغ ثقافي، بل هي جزء من سياق اجتماعي وثقافي أوسع. طريقة إنتاج وتلقي الموسيقى المولدة خوارزمياً تعكس وتشكل القيم الثقافية المعاصرة. في عصر تهيمن عليه خوارزميات التوصية وقوائم التشغيل المُولَّدة آلياً، أصبح الاستهلاك الموسيقي نفسه مُخْوْرَزَماً (Algorithmicized) .منصات مثل Spotify و YouTube Musicتستخدم خوارزميات تعلّم آلي معقدة لتخصيص تجربة الاستماع لكل مستخدم. هذا التخصيص الخوارزمي للاستهلاك الموسيقي يطرح تساؤلات حول دور الذوق الشخصي والاستكشاف الموسيقي في عصر التوصيات الآلية. علاوة على ذلك، فإن البيانات التي تُدرَّب عليها خوارزميات التوليد الموسيقي تحمل تحيزات ثقافية (Briot et al., 2020, pp. 156-178) . إذا كانت البيانات تعكس بشكل غير متناسب الموسيقى الغربية، فإن الموسيقى المولدة ستميل نحو هذه التقاليد. هذا يثير قضايا التمثيل الثقافي والتنوع في التأليف الخوارزمي. وهو ما يشير إليه بريو قائلا: "تُشكّل مجموعة البيانات المُستعملة في عملية التدريب عاملاً حاسماً في تحديد أسلوب الموسيقى المولّدة وخصائصها. وإذا كانت المدونة التدريبية تمثّل بشكل غالب الموسيقى التونالية الغربية، فسوف يتجه النظام بطبيعة الحال نحو إعادة إنتاج السمات الأسلوبية المشابهة، مما يحتمل أن يُهمّش التقاليد والثقافات الموسيقية الأخرى"[4].

5.4- التحديات الأخلاقية والقانونية :

مع التطور المتسارع لقدرات الذكاء الاصطناعي في حقل التأليف الموسيقي، تبرز مجموعة من التحديات الأخلاقية والقانونية الجدية التي تفرض إعادة نظر في الأطر التنظيمية والفكرية السائدة. في مقدمة هذه التحديات تطفو إشكالية حقوق التأليف والملكية الفكرية، حيث يصبح من الصعب تحديد الجهة التي تمتلك حقوق الموسيقى المولدة آلياً: هل هو مطور الخوارزمية، أم مالك قواعد البيانات المستخدمة في التدريب، أم المستخدم الذي وجه عملية التوليد؟ وتكمن المفارقة في أن معظم الأنظمة القانونية الحالية تفتقر إلى الآليات الكافية للتعامل مع هذه الأسئلة المستجدة . (Miranda, 2021, pp. 445-467)كما تبرز على الصعيد الأخلاقي قضية الشفافية والمساءلة، خاصة عند استخدام الموسيقى المولّدة خوارزمياً في سياقات تجارية أو علاجية. هنا يطرح التساؤل حول وجوب الإفصاح عن الأصل الآلي للعمل، وكيفية ضمان ألا تنتهك الخوارزميات حقوق المؤلفين الأصليين الذين استُخدمت أعمالهم في تدريب النماذج دون ترخيص أو اعتراف واضح.ولا يمكن إغفال التأثير العميق المحتمل على سوق العمل الموسيقي، حيث تثير الجودة المتزايدة للموسيقى المولدة آلياً مخاوف حقيقية حول مستقبل فرص عمل الموسيقيين البشر، لا سيما في المجالات التجارية الواسعة مثل الموسيقى التصويرية والإعلانات والموسيقى الخلفية، مما يستدعي حواراً عاجلاً حول التوازن بين الابتكار التكنولوجي والحماية الاجتماعية والمهنية للفنانين.

6- تطبيقات وآفاق مستقبلية:

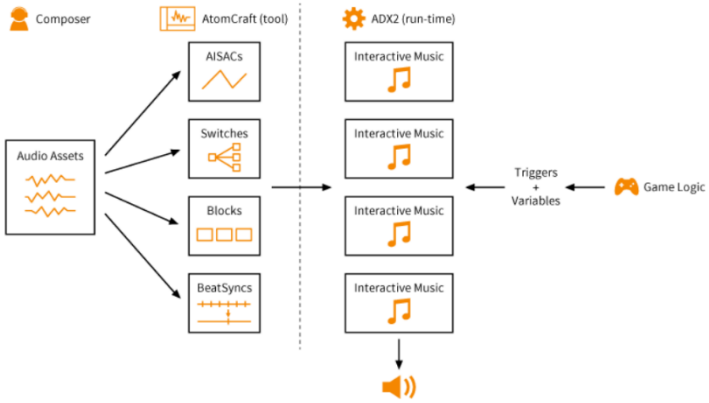
تتحول الخوارزمية اليوم تدريجياً من مجرد أداة تنفيذية إلى فاعل إبداعي مستقل، قادر على اقتراح مسارات صوتية وإبداعية تتفاعل مع الموسيقي. ولا يقتصر أثر هذا التحول على الجانب النظري فحسب، بل يتجسد في تطبيقات عملية متنامية تمتد من صناعة الألعاب التفاعلية إلى فضاءات التعليم المتخصص والعلاج بالموسيقى الموصولة، مما يوسع دائرة تأثير الموسيقى الرقمية في حياتنا اليومية. وتُبشِّر التطورات التقنية المتسارعة كالنماذج متعددة الوسائط والذكاء الاصطناعي التوليدي بفتح آفاق إبداعية غير تقليدية، تُعيد تعريف العلاقة بين الفن والتقنية. وهذا التحول العميق يستدعي بدوره صياغة إطار جمالي وتقويمي جديد، يراعي الخصائص الفريدة للموسيقى الخوارزمية ويقدّر لغتها المبتكرة، مؤسساً بذلك لمرحلة جديدة في تاريخ الإبداع تُوَحِّد بين العقل البشري والذكاء الاصطناعي.

[4] "The dataset used for training has a crucial impact on the style and characteristics of the generated music. If the training corpus predominantly represents Western tonal music, the system will naturally tend to reproduce similar stylistic features, potentially marginalizing other musical traditions and cultures." (Briot et al., op.cit, p.161)

6.1-التطبيقات العملية للتأليف الخوارزمي :

لم يعد التأليف الموسيقي الخوارزمي مجرد تجربة أكاديمية، بل أصبح له تطبيقات عملية واسعة في عدة مجالات نذكر منها:

- **الموسيقى التصويرية للألعاب الإلكترونية** :تستخدم العديد من الألعاب الحديثة موسيقى تكيفية (Adaptive Music) تتغير استجابة لأحداث اللعبة. هذا يتطلب أنظمة توليد موسيقي قادرة على إنتاج موسيقى متناسقة وجذابة في الوقت الفعلي (Collins et al., 2013, pp. 178-203).



Adaptive Music Implementation in AtomCraft
/(https://blog.criware.com/index.php/2017/04/11/composing-adaptive-music-in-atomcraft)

- **العلاج بالموسيقى المخصّصة** :تُطوَّر أنظمة قادرة على توليد موسيقى مخصّصة لأغراض علاجية، مثل تخفيف القلق أو تحسين النوم، بناءً على الخصائص الفيزيولوجية والنفسية للمستمع.
- **التعليم الموسيقي** :يمكن للأدوات الخوارزمية أن توفّر تمارين موسيقية تتكيّف مع مستوى الطالب وتقدّمه، أو أن تولّد أمثلة توضيحية لمفاهيم موسيقية معيّنة(Miranda, 2021, p.333) .
- **الموسيقى التجارية والإعلانات** :تُستخدم أدوات التوليد الموسيقي لإنتاج موسيقى خلفية للإعلانات والفيديوهات ومقاطع البودكاست بتكلفة منخفضة وبسرعة عالية.

6.2-التطورات التقنية المتوقعة :

مع استمرار التقدم في التعلم العميق والذكاء الاصطناعي، يمكننا توقع عدة تطورات في التأليف الموسيقي الخوارزمي:

- **النماذج متعددة الوسائط (Multimodal Models)** :نماذج قادرة على دمج المدخلات من وسائط متعددة - نص، صور، فيديو - لتوليد موسيقى تتناسب مع السياق الأوسع.(Briot et al., 2020, pp. 234-256)
- **التخصيص العميق (Deep Personalization)** :أنظمة قادرة على توليد موسيقى مخصصة بناءً على التفضيلات الفردية، الحالة المزاجية، السياق، وحتى الاستجابات الفيزيولوجية في الوقت الفعلي.
- **التوليد التفاعلي (Interactive Generation)** :واجهات أكثر حدسية تسمح للمستخدمين بتوجيه عملية التوليد الموسيقي من خلال إشارات عالية المستوى، مما يجعل الأدوات الخوارزمية أكثر سهولة للموسيقيين غير التقنيين.
- **الفهم الموسيقي العميق** :تطوير نماذج لا تولد الموسيقى فحسب، بل تفهم البنى الموسيقية والعلاقات والدلالات الثقافية بطرق أكثر تطورا.(Miranda, 2021, p.479)

6.3-نحو جماليات جديدة للموسيقى الرقمية :

مع نضوج التكنولوجيا، نحتاج اليوم إلى تطوير إطار جمالي جديد لفهم وتقييم الموسيقى المولدة خوارزمياً. هذا الإطار يجب أن يتجاوز المعايير التقليدية المستمدة من الموسيقى البشرية، ويعترف بالخصائص الجمالية الفريدة للموسيقى الخوارزمية التي قد تشمل:

- **التعقيد الحسابي (Computational Complexity)** :درجة تعقيد العمليات الخوارزمية المستخدمة في التوليد يمكن أن تُعتبر قيمة جمالية في حد ذاتها(Xenakis, 1992, p.201) .
- **الظهور (Emergence)** :قدرة الخوارزمية على إنتاج بنى موسيقية غير متوقعة لا يمكن التنبؤ بها مباشرة من قواعد التوليد.
- **الاستكشاف المساحي (Spatial Exploration)** :قدرة الخوارزمية على استكشاف مساحات موسيقية واسعة ومتنوعة بطريقة منهجية.(Nierhaus, 2009, p.346)
- **التماسك الأسلوبي (Stylistic Coherence)** :قدرة الخوارزمية على إنتاج موسيقى متماسكة أسلوبياً رغم التنوع الداخلي.

7-البعد الفلسفي للهرمنة الخوارزمية :

7.1- إعادة التفكير في مفهوم الإبداع :

تفرض الموسيقى الخوارزمية علينا إعادة النظر في الافتراضات الأساسية حول طبيعة الإبداع. هل يظل الإبداع سمةً حصرية للوعي البشري؟ أم يمكن فهمه باعتباره عمليةً قابلة للتعبير الحسابي، بل وحتى للمحاكاة أو التجاوز من قبل الآلات؟

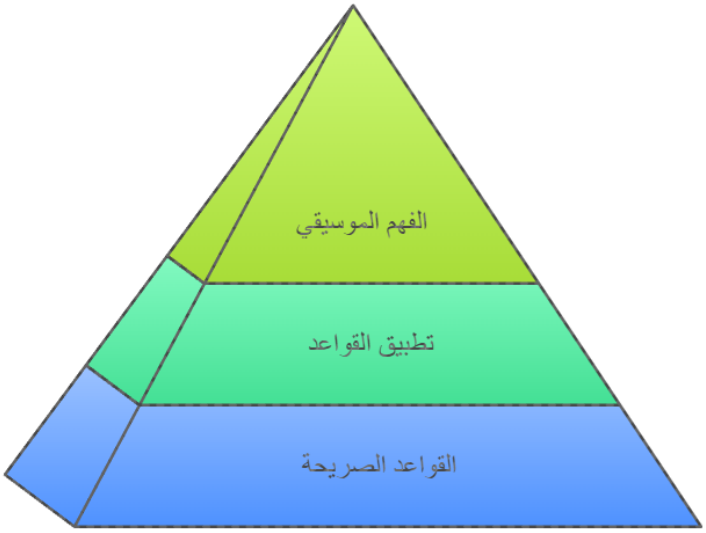
لطالما نظرت الفلسفة التقليدية للفن إلى الإبداع باعتباره عمليةً غامضةً ترتبط بالإلهام والحدس والتجربة الذاتية الفريدة. لكنّ الذكاء الاصطناعي يطرح نموذجاً بديلاً، يعتبر الإبداع عملية استكشاف منهجية لمساحة الإمكانيات، أي آلية بحث وتحسين داخل فضاء من الاحتمالات المحددة (Boden, 2004, p.41). وهذا ما تؤكده مارغريت بودين في نظرية الإبداع الحاسوبي، التي تميز بين ثلاثة أنواع من الإبداع: التوافقي، والاستكشافي، والتحويلي. ويمكن القول إن الأنظمة الخوارزمية الحالية تتفوّق بوضوح في تحقيق النوعين الأولين، بينما لا يزال الإبداع التحويلي أي القدرة على إعادة تعريف القواعد والمعايير الجوهرية ذاتها يشكل تحدياً كبيراً وعتبةً حاسمة في مسار تطورها.

7.2- البعد السيميائي للموسيقى :

من منظور سيميائي، يمكن النظر إلى الموسيقى كنظام علامات (Sign System) يحمل معاني ودلالات. التأليف الموسيقي، في هذا الإطار، هو عملية بناء رسائل موسيقية ضمن هذا النظام.(Cook, 1990, pp. 123-145) أمّا الخوارزميات، فهي من خلال تحليلها لكميات هائلة من الموسيقى، تتعلم قواعد و آليات هذا النظام السيميائي. لكنها تتعلم البنية السطحية (Surface Structure) أكثر من البنية العميقة (Deep Structure)أي الأنماط الإحصائية للعلامات الموسيقية بدلاً من المعاني الثقافية والعاطفية العميقة التي تحملها. هذا يشير إلى حدود الفهم الخوارزمي الحالي للموسيقى. بينما يمكن للخوارزميات تقليد الأنماط الأسلوبية بفعالية، فإن فهمها للدلالات الثقافية والعاطفية للموسيقى لا يزال محدوداً(المصدر نفسه، ص.ص.178-203).

7.3- الهرمنة كنموذج معرفي :

الهرمنة، سواء كانت تقليدية أو خوارزمية، يمكن فهمها كنموذج معرفي (Cognitive Model) لتنظيم المعلومات الموسيقية. في هذا الإطار، التحول من الهرمنة التقليدية إلى الخوارزمية يعكس تحولاً أوسع في كيفية فهمنا للمعرفة والتنظيم. الهرمنة التقليدية كانت قائمة على قواعد صريحة ومعايير نمطية .(Normative Standards) الهرمنة الخوارزمية، خاصة في نماذج التعلم العميق، قائمة على اكتشاف الأنماط الضمنية (Implicit Patterns) من البيانات .هذا التحول من المعرفة الصريحة إلى المعرفة الضمنية له تبعات فلسفية عميقة (Briot et al., 2020, pp. 289-312) . في النموذج التقليدي، الفهم الموسيقي يعني معرفة القواعد والقدرة على تطبيقها. في النموذج الخوارزمي، "الفهم" هو قدرة إحصائية على التنبؤ والتوليد ضمن توزيع احتمالي. هذان نموذجان مختلفان جذرياً للمعرفة الموسيقية.



التحول المعرفي في الهرمنة الموسيقية

النتائج الرئيسية :

- **التكامل لا الاستبدال** :الموسيقى الخوارزمية لا ينبغي أن تُرى كبديل للإبداع البشري، بل كامتداد له .إذ إنّ العلاقة الأكثر إنتاجية بين الإنسان والآلة هي العلاقة التكاملية، حيث تعزز كل منهما قدرات الأخرى.

- **التنوع الجمالي** :الموسيقى الخوارزمية لها جمالياتها الخاصة التي تختلف عن الموسيقى البشرية. فبدلاً من محاولة تقليد الإبداع البشري فقط، يجب أن نستكشف ونطور الإمكانيات الجمالية الفريدة للتوليد الخوارزمي.

- **الوعي النقدي** :مع انتشار الموسيقى المولّدة خوارزمياً، نحتاج إلى تطوير وعي نقدي حول هذه التكنولوجيات كفهم قدراتها وحدودها، تحيزاتها وافتراضاتها، تبعاتها الثقافية والاجتماعية.

- **الحفاظ على التنوع الثقافي** :مع عولمة التكنولوجيا الموسيقية، من الضروري ضمان أن التطورات في التأليف الموسيقي الخوارزمي تحترم وتحتفي بالتنوع الموسيقي الثقافي العالمي، بدلاً من فرض نموذج موسيقي واحد.

التوصيات:

بناءً على التحليل المقدم في هذا المقال، نقترح عدة اتجاهات للبحث المستقبلي:

- **تطوير نماذج متعددة الثقافات** :ضرورة تطوير أنظمة خوارزمية مدرّبة على مجموعات بيانات متنوعة ثقافياً، قادرة على فهم وتوليد موسيقى من تقاليد موسيقية مختلفة.

- **البحث في الإبداع التحويلي** :بينما تتفوق الأنظمة الحالية في الإبداع الاستكشافي والتركيبي، هناك حاجة لمزيد من البحث في كيفية تحقيق الإبداع التحويلي والقدرة على إعادة تعريف القواعد الموسيقية نفسها.

- **دراسات التلقي والإدراك** :الحاجة لمزيد من الدراسات التجريبية حول كيفية إدراك المستمعين للموسيقى المولّدة خوارزمياً، وكيف تؤثر معرفة المصدر على التجربة الجمالية.

- **الإطار الأخلاقي والقانوني** :تطوير أطر أخلاقية وقانونية شاملة تتعامل مع قضايا حقوق التأليف، الشفافية، والمسؤولية في سياق الموسيقى المولدة بالذكاء الاصطناعي.

- **أدوات التعاون الإنساني-الآلي** :تطوير واجهات وأدوات أكثر حدسية تسهل التعاون الإبداعي الحقيقي بين المؤلفين البشر والأنظمة الخوارزمية.

الخاتمة:

في نهاية هذا البحث، نعود إلى السؤال الأساسي: ما هي طبيعة الموسيقى في عصر الخوارزميات؟ الموسيقى، في جوهرها، هي ظاهرة إنسانية وتعبير عن التجربة، العاطفة، الثقافة، والمعنى. التكنولوجيا، مهما تقدمت، هي أداة نستخدمها لاستكشاف وتوسيع هذه الظاهرة الإنسانية . الخوارزميات قد تغير كيفية إنتاج الموسيقى وتوزيعها واستهلاكها، لكنها لا تغير حاجتنا الأساسية إلى الموسيقى كوسيلة للتعبير والتواصل والجمال. التحدي الحقيقي ليس تقني، بل فلسفي وثقافي: كيف نستخدم هذه الأدوات القوية بطريقة تعزّز، وليست تقلّل من، البعد الإنساني للموسيقى؟ كيف نضمن أن التقدم التكنولوجي يخدم التنوع الثقافي والإبداع الإنساني، بدلاً من تقييده أو تجانسه؟ الإجابة على هذه الأسئلة لن تأتي من التكنولوجيا وحدها، بل من حوار مستمر بين الموسيقيين، المفكرين، المبرمجين، والمستمعين، حوار يحترم التراث ويحتضن الابتكار، يقدر الحرفة ويجرّب بالجدة، يفهم القواعد ويتجاوزها بإبداع. في هذا السياق، التحول من الطباق الموسيقي إلى الخوارزمية ليس نهاية للموسيقى كما نعرفها، بل هو فصل جديد في القصة المستمرة للإبداع البشري، فصل مليء بالتحديات والفرص، المخاطر والإمكانيات. مسؤوليتنا هي التأكد من أن هذا الفصل يُكتب بطريقة تحترم الماضي وتحتضن المستقبل، مع الحفاظ دائماً على الإنسانية في قلب التجربة الموسيقية.

قائمة المراجع:

المراجع العربية :

القرفي, محمد. (2012). " تعدد الأصوات و وسائل تطبيقه, تقنيات الهارموني". مركز النشر الجامعي. تونس. تونس.

المراجع الأجنبية :

Adorno, T. W. (2002). *Essays on music*. University of California Press.

Atlas, A. W. (1998). *Renaissance Music: Music in Western Europe, 1400–1600*. New York: W.W. Norton & Company.

Beauchamp, J. W. (Ed.). (2007). *Analysis, Synthesis, and Perception of Musical Sounds: The Sound of Music*. New York: Springer.

Boden, M. A. (2004). *The creative mind: Myths and mechanisms* (2nd ed.). Routledge.

Boethius, A. M. S. (trans. 1989). *Fundamentals of Music* (De institutione musica). New Haven: Yale University Press.

Bracewell, R. N. (2000). *The Fourier Transform and Its Applications* (3rd ed.). Boston: McGraw-Hill.

Briot, J.-P., Hadjeres, G., & Pachet, F. (2020). *Deep learning techniques for music generation*. Springer.

Brown, A. R. (2018). *Music Technology and Education: Amplifying Musicality* (2nd ed.). New York: Routledge.

Burgess, R. J. (2014). *The History of Music Production*. Oxford: Oxford University Press.

Christensen, T. (Ed.). (2002). *The Cambridge History of Western Music Theory*. Cambridge: Cambridge University Press.

Colton, S., & Wiggins, G. A. (2012). Computational creativity: The final frontier? In L. De Raedt et al. (Eds.), *ECAI 2012: 20th European Conference on Artificial Intelligence* (pp. 21-26). IOS Press.

Collins, N., Schedel, M., & Wilson, S. (2013). *Electronic music*. Cambridge University Press.

Cook, N. (1990). *Music, imagination, and culture*. Clarendon Press.

Cope, D. (2000). *The Algorithmic Composer*. Madison: A-R Editions.

Cope, D. (2001). *Virtual Music: Computer Synthesis of Musical Style*. Cambridge, MA: MIT Press.

Dahlhaus, C. (1980). *Between Romanticism and Modernism: Four Studies in the Music of the Later Nineteenth Century*. Berkeley: University of California Press.

Dahlhaus, C. (1990). *Studies on the Origin of Harmonic Tonality*. Princeton: Princeton University Press.

Davies, S. (2003). *Themes in the Philosophy of Music*. Oxford: Oxford University Press.

Fletcher, N. H., & Rossing, T. D. (1998). *The Physics of Musical Instruments* (2nd ed.). New York: Springer.

Fux, J. J. (1725/1965). *The Study of Counterpoint* (Gradus ad Parnassum). New York: W.W. Norton.

Griffiths, P. (2010). *Modern Music and After* (3rd ed.). Oxford: Oxford University Press.

Grout, D. J., & Palisca, C. V. (2014). *A History of Western Music* (9th ed.). New York: W.W. Norton.

Hanslick, E. (1986). *On the Musically Beautiful*. Indianapolis: Hackett Publishing.

Harrison, M. (2006). *Rachmaninoff: Life, Works, Recordings*. London: Continuum.

Hofstadter, D. (1997). Staring Emmy straight in the eye—and doing my best not to flinch. In D. Cope, *Experiments in Musical Intelligence*, pp. 33–82. Madison: A-R Editions.

Hoppin, R. H. (1978). *Medieval Music*. New York: W.W. Norton.

Huber, D. M., & Runstein, R. E. (2013). *Modern Recording Techniques* (8th ed.). Burlington: Focal Press.

Hyer, B. (2002). Tonality. In T. Christensen (Ed.), *The Cambridge History of Western Music Theory*, pp. 726–752. Cambridge: Cambridge University Press.

Jeppesen, K. (1992). *Counterpoint: The Polyphonic Vocal Style of the Sixteenth Century*. New York: Dover Publications.

Katz, M. (2007). *Capturing Sound: How Technology Has Changed Music*. Berkeley: University of California Press.

Lester, J. (1992). *Compositional Theory in the Eighteenth Century*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Loy, G. (2007). *Musimathics: The Mathematical Foundations of Music* (Vol. 2). Cambridge, MA: MIT Press.

Manning, P. (2013). *Electronic and Computer Music* (4th ed.). Oxford: Oxford University Press.

McGuire, S., & van Dyke, M. (2022). *MIDI 2.0: The Complete Guide*. Milwaukee: Hal Leonard.

Merlier, B. (2013). *Musique et ordinateur: Techniques de création musicale assistée par ordinateur*. Paris: Éditions L'Harmattan.

Miranda, E. R. (2021). *Handbook of Artificial Intelligence for Music: Foundations, Advanced Approaches, and Developments for Creativity*. Cham: Springer.

Müller, M. (2015). *Fundamentals of Music Processing: Audio, Analysis, Algorithms, Applications*. Cham: Springer.

Nattiez, J.-J. (1990). *Music and Discourse: Toward a Semiology of Music*. Princeton: Princeton University Press.

Nierhaus, G. (2009). *Algorithmic Composition: Paradigms of Automated Music Generation*. Vienna: Springer.

Nyquist, H. (1928). Certain topics in telegraph transmission theory. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, 47(2), 617–644.

Pachet, F. (2012). *Musical Virtuosity and Creativity*. Tokyo: IRCAM.

Pearce, M. T., & Wiggins, G. A. (2012). Auditory expectation: The information dynamics of music perception and cognition. *Topics in Cognitive Science*, 4(4), 625–652. https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2012.01214.x

Pohlmann, K. C. (2011). *Principles of Digital Audio* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.

Powers, H. S., et al. (2001). Mode. In S. Sadie (Ed.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians* (2nd ed., Vol. 16), pp. 775–860. London: Macmillan.

Pritchett, J. (1993). *The Music of John Cage*. Cambridge: Cambridge University Press.

Puckette, M. (2007). *The Theory and Technique of Electronic Music*. Singapore: World Scientific.

Rameau, J.-P. (1722). *Traité de l'harmonie réduite à ses principes naturels*. Paris: Jean-Baptiste-Christophe Ballard.

Reese, G. (1959). *Music in the Renaissance* (rev. ed.). New York: W.W. Norton.

Roads, C. (1996). *The Computer Music Tutorial*. Cambridge, MA: MIT Press.

Roads, C. (2015). *Composing Electronic Music: A New Aesthetic*. Oxford: Oxford University Press.

Rosen, C. (1997). *The Classical Style: Haydn, Mozart, Beethoven*. New York: W.W. Norton.

Rumsey, F. (1994). *MIDI Systems and Control* (2nd ed.). Oxford: Focal Press.

Rumsey, F. (2001). *Spatial Audio*. Oxford: Focal Press.

Samson, J. (Ed.). (2001). *The Cambridge History of Nineteenth-Century Music*. Cambridge: Cambridge University Press.

Schoenberg, A. (1975). *Style and Idea: Selected Writings*. Berkeley: University of California Press.

Scruton, R. (1997). *The Aesthetics of Music*. Oxford: Oxford University Press.

Scruton, R. (2009). *Understanding Music: Philosophy and Interpretation*. London: Continuum.

Stockhausen, K. (1963). *Texte zur Musik 1952–1962* (Vol. 1). Cologne: DuMont.

Taruskin, R. (2010). *Music in the Nineteenth Century* (The Oxford History of Western Music, Vol. 3). Oxford: Oxford University Press.

Walker, A. (1989). *Franz Liszt: The Virtuoso Years, 1811–1847* (Vol. 1). Ithaca: Cornell University Press.

Watkinson, J. (2001). *The Art of Digital Audio* (3rd ed.). Oxford: Focal Press.

Wishart, T. (1996). *On Sonic Art* (rev. ed.). Amsterdam: Harwood Academic.

Xenakis, I. (1992). *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition* (rev. ed.). Stuyvesant, NY: Pendragon Press.

Zölzer, U. (Ed.). (2011). *DAFX: Digital Audio Effects* (2nd ed.). Chichester: John Wiley & Sons.

المواقع الالكترونية:

https://blog.criware.com/index.php/2017/04/11/composing-adaptive-music-in-atomcraft/

https://www.curtisroads.net/software

https://www.iannis-xenakis.org/musique-stochastique/

https://imslp.org/wiki/File:PMLP256209-824-esl-i-8-0.pdf

https://imslp.org/wiki/Tristan_und_Isolde,_WWV_90_(Wagner,_Richard)

https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/10298649211034906

https://www.levelsmusicproduction.com/blog/ableton-live-standard-vs-suite-what-s-the-difference

https://magenta.withgoogle.com/studio-announce

http://ntemusique.free.fr/musique/MIDI/MIDI.pdf

https://pulsar.audio/

https://www.sonovente.com/guides/tout-sur-le-protocole-midi-2-0.html

https://techcrunch.com/2019/04/25/musenet-generates-original-songs-in-seconds-from-bollywood-to-bach-or-both/

https://vmirror.imslp.org/files/imglnks/usimg/1/16/IMSLP312795-PMLP505064-Josquin_des_Pr%C3%A9s_-_Ave_Maria_(Bordes_C).pdf