بنيّة متعدّدة السّلوك لجدولة المهام داخل خليّة إنتاج صناعيّ مرنة

زكرياء توكال*

تاريخ الإرسال 19 أكتوبر 2019 تاريخ القبول 10 نوفمبر 2019

الملخّص Abstract

في هذا البحث سنعرض بنية التّحكّم والقيادة لخلية إنتاج وتركيب مرنة تعتمد على نظام متعدّد الوكلاء والسّلوك والمستويات؛ من أجل تطبيق مسوّدة جدولة تفاعليّة تستند أساسًا على أوقات الخمول القابلة للاستخدام. اعتمدنا على نموذج من التّعاون بين الوكلاء استنادًا إلى شبكة التّعاقد التي تتيح مرونة معيّنة في نظام التّحكّم والقيادة. هذه المقاربة ترتكز على مبدأ إعادة جدولة جميع الأوامر ذات الأولويّة المنخفضة مع محاولة احترام الآجال النّهائيّة لجميع المهامّ في حالة حصول طارئ من نوع طلب جديد يتكلف النّظام بحساب أولويته أولا. ولكي يتمّ اختبار النّظام التّحكّم والقيادة المقترح، قمنا بتصميم منصّة مبنيّة على برمجيّة JADE (Java Agent Developement) لمحاكاة نظام الخليّة المرنة، التي تتيح التّكيف مع سياقات الإنتاج المتنوعة. وبالتّالي استطعنا تنفيذ خطة المقاربة المقترحة لحلّ مشكلة الجدولة في حالة حدوث الطّوارئ، مع محاولة ضمان عدم تجاوز الآجال والمواعيد النّهائيّة للمهام.

الكلمات المفتاحيّة: نظام متعدّد الوكلاء، الوكيل الفاعل، الوكيل الاتّحاديّ، السّلوك، نطاق العمليّات جدولة، طوارئ، منصّة JADE.

Title: Multi-behavioral structure for scheduling tasks within a flexible industrial production cell.

Abstract: In this paper we will present the structure of control and driving of a manufacturing flexible cell based on a multi-agent, multi-behavioral and multi-level system to implement an interactive draft scheduling approach based primarily on usable unoccupied times. We relied on a collaboration model between agents based on a contract network that allows certain flexibility in the control and driving system. This approach is based on the principle of rescheduling all low-priority orders while attempting to respect the deadlines of all tasks in the adverse events case as a emergency request order for which the system will first calculate its priority. To test the proposed control and driving system, we have designed a Java Agent

* المدرسة العليا للأساتذة القبة الجزائر Email: toukal@ens-kouba.dz

Development (JADE) platform to simulate the flexible cell, which allows adapting to different manufacturing contexts. We were therefore able to implement the proposed approach to solve the scheduling problem in the event of an emergency order while attempting to ensure that the deadlines for the tasks were not exceeded.

Keywords: multi-agent system, active agent, federal agent, behavior, scope of operations, scheduling, emergency, JADE platform.

1. المدخل Introduction :

لقد أدّى إدخال درجة عاليّة من الأتمتة في الصّناعة الآليّة إلى بناء منشآت إنتاجيّة تتمتّع بمرونة متزايدة. ومع ذلك، فإن أداء هذه الأنظمة الآليّة مشروط بأداء نظام التّحكّم والقيادة الخاصّ بها حيث تتزايد درجة الأتمتة والاستجابة والمرونة المطلوبة. وبالتّالي أصبح نظام التّحكّم يتطلّب عملا بحثيّا شاقّا ومكلفا تقنيًّا واقتصاديًّا. هذه الأهميّة المتزايدة أدّت إلى ضمان التّصميم المناسب لتحقيق الإنتاج المخطّط له في بيئة ديناميكيّة ومضطربة للغاية، لذلك، يجب أن يكون هذا النّظام قادرا على إدارة موارد النّظام، والمهام المختلفة التي يجب تنفيذها بشكل ديناميكيّ. أضف إلى ذلك، ضرورة ضمان التّنسيق التّام لأنظمة التّصنيع والمناولة مع إمكانيّة إدارة المخاطر وكلّ أنواع الخلل التي تظهر بشكل دائم تقريبًا أثناء الإنتاج. لقد أثبتت عمليّات التّصميم والتّخطيط والجدولة والإشراف التّقليديّة والمتمركزة والمتسلسلة أنّها غير مرنة للغايّة ولا تسمح للشّركات للتّعامل معها، ناهيك عن طبيعة التّفاعل مع تقلّبات السّوق وتغيّرات الطّلب. لذلك، أصبح من الضّروريّ تطبيق نظرة عن قرب، وفي الوقت الفعليّ لنظام الإنتاج. وهذا يعني أنّ الإدارة تأخذ في الاعتبار الحالة الفعليّة للنظام، وكذلك القيادة التّفاعليّة، ممّا يسمح للنّظام بالتّفاعل والتّكيّف، حسب أهداف الإنتاج، وتقلّبات الاحتياجات والمخاطر المختلفة. في هذا السّياق، كان لزاما، دمج مفاهيم تكنولوجيّة جديدة في تكنولوجيا المعلومات التي تعتمد عليها الشّركات، والاعتماد على التّقنيّات الجديدة لتقديم بنيات البرامج التي تسمح للنّظام المرن بالاستجابة والتّفاعل في الوقت المناسب مع التّغييرات في بيئة الإنتاج الدّاخليّة أو الخارجيّة. شهدت السّنوات الأخيرة ظهور فروع جديدة للذّكاء الاصطناعيّ تركّز على الجانب السّلوكيّ على حساب جانب صنع القرار. لهذا السّبب تمّ اختيار نموذج متعدّد الوكلاء بسبب مفهوم الظّهور الذي يعتمده هذا النّموذج والجانب السّلوكيّ الذي يرثه بشكل خاصّ. الهدف من العمل المقدّم في هذا البحث هو معالجة مشكلة إدارة أنظمة الإنتاج المرنة من خلال نهج متعدّد الوكلاء عن طريق اقتراح طرق منهجيّة وخوارزميّة للتّعامل مع مشكلة التّحكّم والقيادة في خليّة التّصنيع التي تخضع لقيود تشغيل قويّة: البيئة الدّيناميكيّة والاقتران بين خطط تشغيل الماكينات. يظهر هذا النّوع من الخلايا تعقيدًا ينبع من الحاجة إلى التّعايش مع آليات إدارة المعرفة وقيود الاستجابة على جميع مستويات التّحكّم: المحليّة (على مستوى الماكينة) والشّاملة

(على مستوى الخليّة) وتنفيذها في برمجيّة محاكاة تمّ تطويرها لهذا الغرض. الفكرة الرّئيسيّة، التي يتمّحور حولها هذا العمل، هي تطوير نظام محاكاة هدفه المستقبلي، هو تحليل أداء الطّرق والأدوات المختلفة لإدارة الخلل والمخاطر ولذا سنقوم باقتراح نموذج هندسة الوكلاء التّنظيميّ والذي يتمّتّع بقدر كبير من العموميّة ويظهر قدرات تفاعليّة وتداوليّة على مستوى كلّ وكيل من أجل تحقيق أهدافه وأهداف الخليّة. ونقترح أيضا نموذجا للتّعاون بين الوكلاء (الموارد الفاعلة) لإدارة حالات النّزاع النّاجمة عن الاضطرابات التي قد تحدث داخل الخليّة. للقيام بذلك، قمنا بتنظيم هذه البحث في ثلاثة أجزاء: يهدف الجزء الأوّل إلى وصف الطّرائق والأدوات حيث نقوم بتحديد أنظمة الإنتاج المرنة وكيفيّة إدارتها ثمّ تقديم مفهوم متعدّد الوكلاء لقيادة هذا النّوع. أمّا الجزء الثّاني فيشمل من جهة، النّتائج من حيث الهندسة البرمجيّة المقترحة التي تعتمد نموذجا متعدّد الوكلاء لتنفيذ التّطبيقات الآليّة المعقّدة التي تتطلّب جدولة العمليّات في ظلّ قيود قويّة من الاستجابة. ومن جهة أخرى النّتائج المحقّقة في معالجة مشكلة الجدولة المنسّقة في حالة إخضاع النّظام لقيود من نوع الأسبقيّة بين العمليّات وأيضا حدوث طوارئ أو خلل ما. أمّا الجزء الثّالثّ فهو مخصّص لتقديم عمليّة تقييم هذه الدّراسة من خلال محاولة تسليط الضّوء على النّقاط الإيجابيّة التي حصلنا عليها. وننهي هذا البحث بخلاصة عامّة نبيّن فيها أهميّة هذا العمل البحثيّ ونعرج على بيان وجهات نظر تطوّر هذا العمل في المستقبل القريب.

2. الأدوات والطّرائق Materials and method

بالنّسبة للورش الحديثة، إنتاج أفضل يعني تكلفة بأقلّ سعر وفي الوقت المناسب وفي المكان المناسب؛ لدرجة أن [12] أصدر شعار "أسرع وأفضل وأرخص". يمثّل تحسين كفاءة تطوير المنتجات تحديًا كبيرًا لشركات التّصنيع. من المهمّ تنسيق التّطوّرات المشتركة للمنتجات والأنظمة المرتبطة بها، بما في ذلك نظم الإنتاج. يمكن إجراء العديد من عمليّات التّصنيع لنفس المنتج، اعتمادًا على مكان تصنيعه. من الضّروريّ أيضًا إعادة استخدام معدّات الإنتاج لتقليل تكاليف الإنتاج (مثل السّيارات: نفس السّلسلة للسّيارات المختلفة). وبالتّالي، فإنّ معرفة تأثير التّغيير على الإنتاج مهمّة طويلة ومعقّدة ولكنّها مهمّة [7]. من أجل فهم أفضل للمشكلة التي يعالجها موضوعنا، فإنّنا نريد من خلال هذا الفصل تسليط الضّوء حول معرفة أنظمة الإنتاج المرنة، ثمّ نوضّح مشكلة تجربة أنظمة التّصنيع باستخدام تكنولوجيا متعدّدة الوكلاء. وفي الأخير، سنتطرّق لذكر مشكلات الجدولة التي تشكل وظيفة مهمّة في إدارة الإنتاج.

1.2 نظام الإنتاج المرن (F MS)

نظام الإنتاج المرن هو نظام إنتاج تقليديّ يحتوي على جميع الميزات التي تتيح التّفاعل مع حالات التّغييرات التي تحدث. وبالتّالي، فإنّ ورشة العمل المرنة تمتلك الخاصّيّة الأساسيّة لتكييف إنتاجها مع أيّ طارئ خارجيّ يتعلّق بتغيير الطّلب من حيث الكميّة أو النّوعيّة أو أجل التّسليم أو طارئ داخليّ يتعلّق بتغيير

ماكينة أو جهاز ما بسبب عطب على سبيل المثال. فهذا النّوع من الطّوارئ قد يؤدّي إلى تغيير جدولة الإنتاج في الوقت الفعليّ.

2.2. أنواع المرونة في (FMS)

أنواع المرونة [2]، [1] من حيث تأثيرها على هدف المنتج النّهائيّ ووسائل الإنتاج لإنتاج منتج. معيّن هي كالتّالي:

- مرونة المنتجات: توفّر إمكانيّة إعادة تشكيل النّظام لمراعاة منتج جديد أو مجموعة منتجات جديدة.

- مرونة الدّمج: إمكانيّة إنتاج مجموعة من المنتجات ذات الخصائص الأساسيّة المشتركة في وقت واحد.

- مرونة الكميّة: هي قدرة النّظام على التّعامل مع التّقلّبات في كميّة المنتجات التي سيتمّ إنتاجها عن طريق تغيير وتيرة الإنتاج.

- مرونة التّوجيه: تزوّد النّظام بالوسائل اللازمة لتغيير توجيه المنتوج أو بعض من أجزائه إلى معدّات متاحة أو قليلة التّشغيل.

-مرونة ترتيب العمليّات: تسمح بتغيير ترتيب العمليّات أثناء الإنتاج (والذي يفترض وجود نطاق عمليّات رئيسيّة ونطاقات ثانويّة).

- مرونة التّوسّع: تمكّن من تمديد وتعديل بنيّة النّظام الذي يتطلّب إعادة النّمذجة.

- مرونة الموارد: هي قدرة الموارد على أداء العديد من المهام الأساسيّة والسّماح بإعادة البرمجة.

الذي يهمّنا في هذا البحث هو مرونة ترتيب العمليّات وأوامر الطّلب، حيث إنّه وبعد الانتهاء من عمليّة تخطيط العمليّات بين موارد خليّة التّصنيع المرنة، ينبغي لكلّ منها مراعاة بعض القيود (في ما يتعلّق بالمواعيد النّهائيّة) وعن طريق تحقيق هدف محدّد جيّدًا، مثل تقليل وقت الإنتاج. يتيح حلّ هذه المشكلات وضع خطّة تصنيع مفصّلة ويحدّد ترتيب تنفيذ كلّ عمليّة على كلّ مورد فاعل أو جهاز مع مراعاة القيود المفروضة بواسطة مستوى التّخطيط. عندما يتمّ ترتيب تسلسل العمليّات تمامًا، فإنّنا نتحدّث عن جدولة واضحة [9]. تتضمن هذه الإستراتيجيّة أوقاتًا مهمّة جدًا للحوسبة، وليست مرنة على الإطلاق. الحل الآخر هو وضع مجموعة من القواعد التي تحدد، في كلّ مرّة يصبح فيها الجهاز حرّاً، وما ستكون العمليّة المقبلة. يمكن اعتبار هذه الإستراتيجيّة بمثابة تعريف لجدول زمنيّ ضمنيّ [9]. بشكل عامّ، إنّه أسلوب مختلط يجمع بين هاتين الإستراتيجيتين من شأنه أن يعطي أفضل نتيجة.

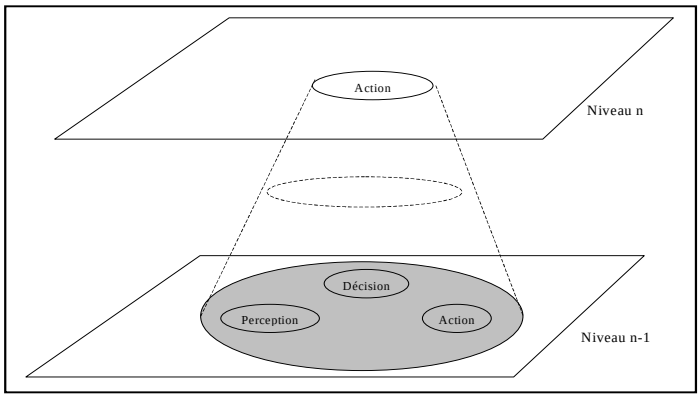
وبما أنّنا اعتمدنا نموذجا متعدّد الوكلاء من أجل حلّ مشكلة إعادة ترتيب عمليّات مختلف الموارد والأجهزة المكوّنة للورشة، فإنّنا سنقدّم في ما يلي عرضا مقتضبا عن طبيعة هذا النّموذج.

3.2 . **نظام متعدد الوكلاء** (SMA) : هو نظام يتضمّن مجموعة من الوكلاء حيث إنّ كلّ وكيل يعتبر كيانا حقيقيّا أو افتراضيّا يتمّتّع سلوكه باستقلاليّة، ويتطوّر في بيئة يمكنه من خلالها أن يدرك وأن يتصرّف ويتفاعل مع الوكلاء الآخرين وفقا للمرجع [3]. بناء على هذا التّعريف والتّعريفات الأخرى كما هو في [5] و [6] وأيضا في [4] تظهر ثلاثة مفاهيم أساسيّة تجعل من الممكن وصف الوكيل بها: الإدراك والمداولات والفعل (الشّكل 1):

- **الإدراك:** يمكّن الوكيل من إدراك البيئة التي يتطوّر فيها من تصرّفات الوكلاء الآخرين وأيّ تحوّل في هذه البيئة. - المداولة: لدى الوكيل مجموعة من المعارف إضافة إلى خطط وأساليب لاستغلالها حيث إنّها تتيح له القدرة على تحفيز مجموعة من الأفكار والتّصوّرات لأخذ القرار المناسب الذي يحقّق له أهدافه وبعض أهداف الآخرين أو كلّها.

- **التّأثير:** يمكن للوكيل التّأثير على بيئته وعلى الوكلاء الآخرين، وبالتّالي يمكنه التّصرّف عن طريق أفعال يقوم بها في أو على الأشياء والتّواصل مع الوكلاء الآخرين أو الدّخول في مفاوضات تعاون أو تعارض أو أيّ إجراء آخر يقرّره.

في بحثنا هذا اعتمدنا نموذج الوكيل الهجين الذي يتمّتّع بقدرات وخصائص الوكيل التّفاعليّ وخصائص الوكيل المعرفيّ. يشكّل هذا النّوع من العوامل كيانًا قادرًا على التّصرّف بشكل مختلف. تتكوّن بنيّة هذا النّوع من الوكلاء بشكل عامّ من عدّة طبقات برمجيّة يمكن ترتيب هذه الطّبقات في هيكل عموديّ (طبقة واحدة لديها وصول إلى المستشعرات والمؤثّرات) أو أفقيًّا (كلّ الطّبقات لها وصول إلى المدخلات والمخرجات).



الشّكل 1: .عمل الوكيل السّلوكيّ في المستوى N على سلوكيات المستوى N-1

1.3.2 **التفاعلات بين طبقات السلوك ومستوى السلوك.**

تحتوي وحدة السّلوك على واجهة تتيح لها التّواصل مع الوحدات النّمطيّة الأخرى من أجل تحقيق مهمّتها. يمكن تمييز نوعين من الاتّصالات في التّفاعل بين طبقتين: الأوّل يتكوّن من تبادل الرّسائل عبر صندوق بريد والثّاني على تبادل المعرفة في السّبورة المركزيّة (BlackBoard) يمكن القيام بهذا المشاركة بمعيّة

أو بدون مشاركة المشرف العامّ على أنشطة الوكيل. بناء على طبيعة المهامّ التي يؤدّيها الوكيل، فإنّ السّلوك يمكن أن يعتمد ثلاث صيغ:

- **السلوك التفاعليّ**: يستند الوكيل على مهارات يمكن تفعيلها نتيجة تفاعل بسيط حينما ترد معلومات من مختلف المستشعرات. [10] فتكون ردّة الفعل في هذه الحالة فوريّة أو حتّى شبه آنيّة على سبيل المثال لا للحصر، العمليّة التي يتمّ التّحكّم فيها بالتّغذيّة الرّاجعة (تجنّب العوائق، أو سقوط أداة من أدوات الرّوبوت أو النّاقل إلى غيره) أو الإجراءات المنعكسة (إيقاف الطّوارئ). فالوحدة النّمطيّة تتصرّف في هذه الحالة كأوتوماتا حالات محدودة دون امتداد لهذه التّصرفات في المستقبل.

- **السلوك المعرفيّ** الذي يستند على مجموعة من قواعد الذّكاء الاصطناعيّ أو مجموعة من الإجراءات المخزّنة التي تدعى بالإجراءات الحلقيّة القراريّة والتي تعتمد على السّياق. في هذه الحالة، تستخدم الوحدة النّمطيّة البيانات التي تمثّل الموقف الحاليّ للوكيل بناء على المعلومات الحسيّة الكاملة، ففي هذه الحالة يكون وقت ردّة الفعل محدودًا.

- **السلوك التّداوليّ** القائم على المعرفة والذي يبرز كموقف جديد. هذا الأخير يتطلّب وضع أو تعديل خطّة التّشغيل، اعتمادا على الغايّة التي يسعى إليها الوكيل، وأيضا على النّموذج العقليّ للنّظام الذي يراقب الخليّة أو الورشة. يسمح هذا النّموذج بتقييم تأثيرات خطّة العمليّات المعدّلة على الوكيل نفسه وعلى بيئته (الوكلاء الآخرين). علاوة على ذلك، فإنّ المعلومات في هذه الحالة تكون شاملة وحفظها على شكل يمثّل البيئة الجديدة ويكون زمن إنجاز هذا السّلوك أيضا محدودا وليس آنيّا. وفي ما يلي سنعرض تّرتيب النّتائج من حيث اختيار الهندسة البرمجيّة التي تتناسب مع طبيعة المشاكل المعقّدة التي تمّ الحديث عنها في بدايّة هذا البحث ثمّ نتطرّق لبيان النّتائج التي توصّلنا إليها من خلال معالجة مشكلة الجدولة المنسّقة في حالة إخضاع النّظام لقيود من نوع الأسبقيّة بين العمليّات وأيضا حدوث طوارئ.

3ـ النتائج على مستوى الهندسة البرمجيّة وعلى مستوى معالجة مشاكل الجدولة

1.3 بنيّة التحكم في خليّة التصنيع والتركيب المرنة

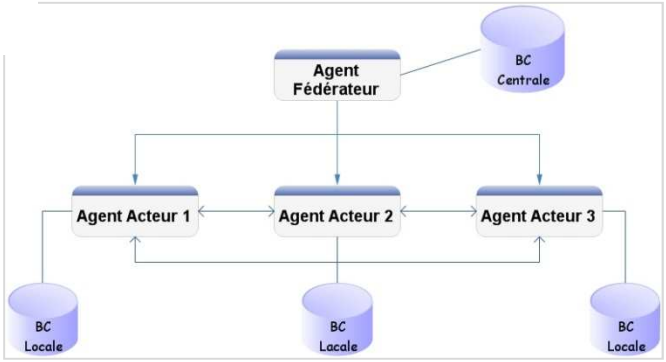
في ما يلي، نناقش بإيجاز بنيّة التّحكّم المرنة في الخليّة الحاليّة، والتي تتمثّل مساهمتها في تحديد وتنفيذ نماذج الوكلاء ونموذج تعاونها. نموذج الهيكل الحاليّ له الخصائص التّاليّة:

- العمل في الوقت الفعليّ (**Real time**).
- المرونة.
- الاستقلاليّة في التّحكّم الذّاتي محليّا و شموليّا.
- الجدولة الدّيناميكيّة الانعكاسيّة في حالة المخاطر أو وجود طارئ.

كما هو موضّح سابقا، يعدّ ضمان مرونة خليّة الإنتاج والتّركيب في الوقت الفعليّ مهمّة معقّدة، حيث يمكن أن تؤثّر المخاطر المختلفة على تشغيل النّظام. في هذه الحالة، يثبت النّهج متعدّد الوكلاء أنّه حلّ متّسق للغايّة لهذا النّوع من النّظام، حيث يكون التّعاون وتنسيق الإجراءات بين الوكلاء المختلفين مهمّين للغايّة من أجل تلبية الأهداف العامّة للنّظام. في ما يلي، نقدّم بنيّة الوكيل المخصّصة للتّحكم وقيادة خليّة الإنتاج والتّركيب المرنة.

1.1.3 عرض بنيّة النّظام

في هذه البنيّة، يمكن لكلّ وكيل إجراء عمليّة واحدة أو أكثر، تمامًا مثل كلّ عمليّة يمكن تنفيذها بواسطة وكيل واحد أو أكثر. وبالتّالي، يمكن لعب الدّور الوكيل من قِبل الوكيل Ai أو من قبل الوكيلAj . يتمّ تمثيل المستوى العلويّ للخليّة بواسطة النّموذج الفوقيّ (الشّكل 2) الذي يمثّل بنيّة التّحكّم في خليّة الإنتاج والتّركيب المرنة.

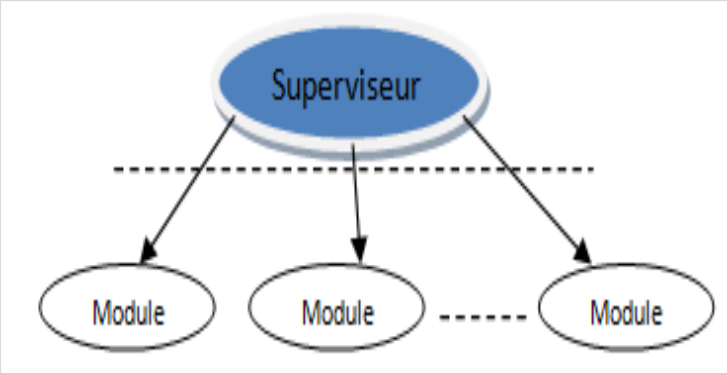


الشّكل 2: النّموذج الفوقي لبنيّة التّحكّم

يعتمد على نوعين من الوكلاء الهجينة، الوكيل الاتّحاديّ (Federator) والوكيل الفاعل (Actor). كلّ وكيل لديه معرفة حول الذّات وحول الآخرين، ومهارات، ومهارات التّفكير ومهارات الاتّصال والتّعاون. الوكيل الأوّل هو الواجهة مع المشغّلين وورشة العمل التي تنتمي إليها الخليّة. إنّه يضمن تطوير خطّة الإنتاج والتّركيب المقدّرة في شكل نطاقات عمليّات، يتمّ تعيين وإسناد العمليّات المرتبطة إلى مختلف الوكلاء المعنيّين. أمّا الوكيل الفاعل، فهو يتعلّق بكلّ مورد نشط للخليّة (روبوت متنقّل، روبوت مناور، روبوت متنقّل مناور، ناقل، عربة موجّهة، حزام ناقل، طاولة دوّارة، ماكينة آليّة، معدّات تحكّم، وما إلى ذلك). يعمل كلّ وكيل على تطبيق الكيانات السّلوكيّة المتنافسة وتنفيذ نظام تنشيط / تثبيط. تعتمد هذه البنيّة على مفهوم السّلوكيّات المتنافسة والمتعدّدة المستويات؛ لأنّ كلّ سلوك معقّد يمكن تقسيمه إلى أنماط سلوك أقلّ تعقيدا. وبالتّالي يوصف نظامنا بنظام متعدّد الوكلاء، ومتعدّد السّلوكيّات والمستويات.

يعرّف السّلوك على أنّه تطوّر خاصّ يلحظه الوكيل الفاعل أو الوكيل الاتّحاديّ في عالمه الحقيقيّ (البيئة الوكلاء الآخرين). فهو يتعلّق بالآليّة التي تربط بين مهارات الوكيل من حيث الإدراك، التّفكير، القرار والتّأثير في

عالمه الحقيقيّ. يؤدّي تفعيل سلوك ما إلى تنشيط واحدة أو أكثر من المهارات المذكورة (الشّكل 3). تُستخدم قواعد تحكّم معيّنة من أجل تحديد آليات التّنسيق بين الوحدات البرمجيّة المكوّنة لهذه المهارات [11]



الشّكل 3 : وصف الوكيل السّلوكيّ

في الفقرات الآتيّة، سنناقش بشكل مقتضب نموذج بنيّة التّحكّم والقيادة لكل نوع من أنواع الوكلاء

1.1.1.3 الوكيل الاتّحاديّ

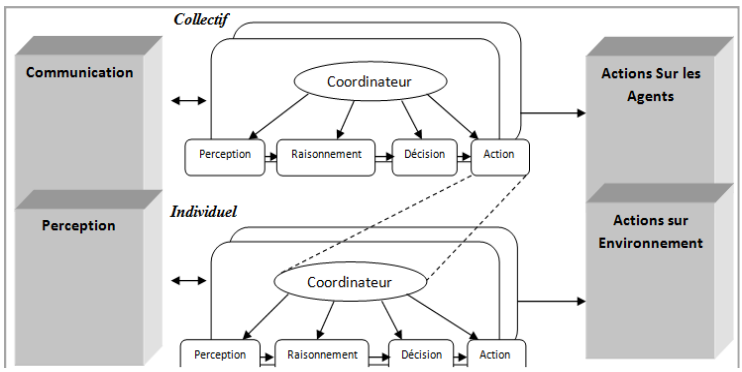
يقوم الوكيل الاتّحاديّ بواجب مراقبة جميع أنشطته وفقًا لحالته الدّاخليّة وبيئته وذلك بشكل مستقلّ ولديه الخصائص التّاليّة:

-الاستباق: يتمّ توجيه نشاطه بناء على أهدافه وطموحاته على عكس مفهوم الكائن (Object) الذي يكون تصرّفه استجابة للرّسائل الواردة من كائنات أخرى.

- التّكيّف: وهي القدرة على تعديل خصائص مهامّه من أجل تلبيّة الطّلبات الدّاخليّة والخارجيّة. يتكوّن نموذجه السّلوكيّ من مستويين سلوكيّين (الشّكل 4):

-المستوى السّلوكيّ الجماعيّ.

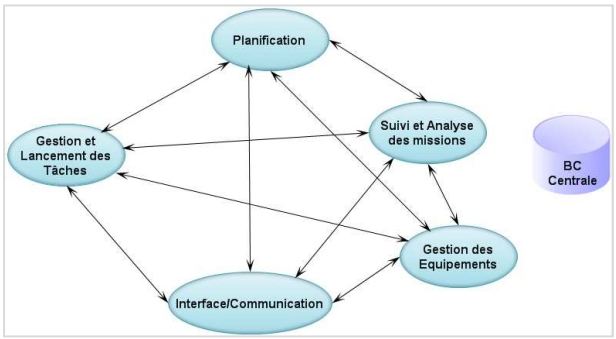
✓ المستوى السّلوكيّ الفرديّ



الشّكل 4 : المستويات السّلوكيّة للوكيل الاتّحاديّ

يتمّ تنشيط السّلوكيّات وفقًا لطبيعة الحدث المستلم: الطّلبات والعقود والاعترافات. على سبيل المثال السّلوك الذي يهدف إلى إيجاد المورد الذي يلبي الأهداف التي يجب تحقيقها لتصنيع المنتج على أفضل وجه يحتوي العامل الاتّحاديّ، في هيكله التّوجيهيّ، على مستويين: مستوى المحادثة ومستوى التّفاعل.

- **مستوى المحادثة**: الذي يشكّل الواجهة التي تضمن الحوار بين الوكيل الاتّحاديّ والوكلاء الآخرين في النّظام. المعلومات هي في الأساس بيانات الإنتاج (نطاقات العمليّات، العمليّات، الكمّيّات، إلخ) والتّقارير أو الطّلبات. يقوم هذا المستوى بدورين: الأوّل هو جمع وتفسير المعلومات الموجّهة للمستوى التّفاعليّ. أمّا الثّاني فيتمثّل في إرسال تقرير إلى المستوى الأعلى (وكيل الورشة الذي لم تتمّ دراسته في هذا البحث) حول التّقدّم المحرز في تنفيذ المهامّ المطلوبة والتّأكّد من نقل التّعليمات إلى الوكلاء الفاعلين في النّظام. يمثّل هذا المستوى في الوكيل الاتّحاديّ وحدة الواجهة والاتّصالات.



الشّكل 5: مستوى ردّة الفعل

مستوى ردّة الفعل:

يتمثّل دوره في اتّخاذ القرارات بناءً على الوضع الحاليّ للوكيل والمعلومات التي يتمّ إرسالها بواسطة مستوى المحادثة. ويمثّل هذا الدّور في الوكيل الاتّحاديّ الوحدات البرمجيّة التّاليّة (الشّكل 5):

- وحدة التّخطيط.
- وحدة متابعة المهامّ.
- وحدة إدارة المعدّات.
- وحدة إطلاق بداية المهام.
- وحدة الرّصد.

يجب أن يكون هذا المستوى مجهّزًا بقدرات صنع القرار لإدارة موارده، وحلّ مشكلات الطّوارئ والخلل والاستجابة لطلبات الوكلاء الآخرين. بالإضافة إلى ضرورة تبنيه السّلوكيّات وفقًا لقواعد الأولويّة لإنشاء الأوامر الأكثر استعجالا.

2.1.1.3 الوكيل الفاعل

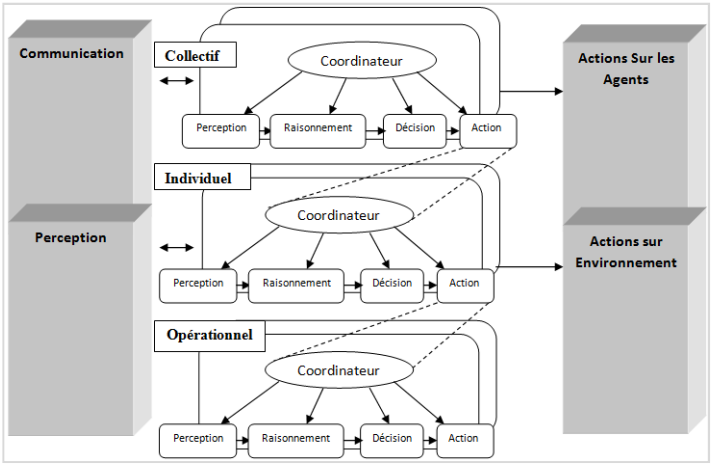
يشرف كلّ وكيل فاعل على نشاط الإنتاج للمورد الذي يتحكّم فيه ولديه مستوى من المعرفة يسمح له باستقلاليّة معيّنة في صنع القرار. كلّ الوكلاء الفاعلين يمكنهم تبادل المعرفة وأحيانًا المهام وفقًا لنوع الخطر أو الطّارئ الذي يحدث، وبالتّالي، فإنّ الصّعوبة تكمن في حلّ النّزاعات التي قد تحدث أثناء السّعي لتحقيق المنتج. كلّ وكيل فاعل لديه عدّة مستويات من الاستجابة:

-المستوى السّلوكيّ الاستراتيجيّ

-المستوى السّلوكيّ الفرديّ

-المستوى السّلوكيّ العمليّاتيّ

مثال عن سلوك الوكيل الفاعل الذي يهدف إلى إدارة قائمة انتظار عن طريق تحديد العمليّة التّاليّة التي ينبغي انجازها وفقًا لمعايير معيّنة.



الشّكل 6: المستويات السّلوكيّة للوكيل الفاعل

على غرار بنيّة الوكيل الاتّحاديّ، يعتمد الوكيل الفاعل على طبقتين: طبقة محادثة وطبقة تفاعليّة.

✓ مستوى المحادثة:

مثل ما ذكرنا سالفا، فإنّ هذا المستوى يضمن الحوار بين الوكيل الفاعل والوكلاء الآخرين للنّظام. يقوم هذا المستوى بدورين أساسيّين: الأوّل هو جمع وتفسير المعلومات الموجّهة للمستوى التّفاعليّ، أمّا الثّاني فيتمثّل في إرسال تقرير إلى الوكيل الاتّحاديّ حول التّقدم المحرز في تنفيذ المهام المطلوبة. يمثّل هذا المستوى في الوكيل الفاعل وحدة الواجهة والاتصالات.

✓ مستوى ردة الفعل:

يتمثّل دوره في اتّخاذ القرارات بناءً على الوضع الحالي للوكيل والمعلومات التي يتمّ إرسالها بواسطة مستوى المحادثة. يتمّ تمثيله في الوكيل الفاعل بالوحدات التّاليّة:

✓ - وحدة الجدولة

- وحدة التّفاوض

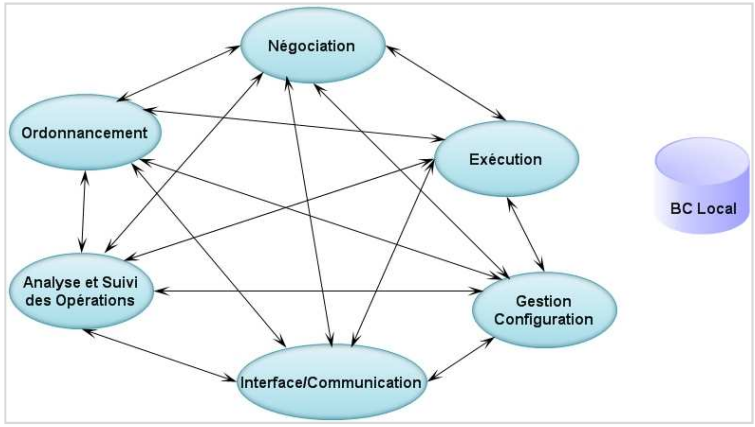
- وحدة التّنفيذ

- وحدة الرّصد والتّحليل

- وحدة الإعدادات

- وحدة الواجهة والاتّصالات

يتمتّع هذا المستوى بقدرات صنع القرار لإدارة المورد الذي يتحكّم فيه، وحلّ مشكلة المخاطر والطّوارئ وأيضا الاستجابة لطلبات الوكلاء الآخرين



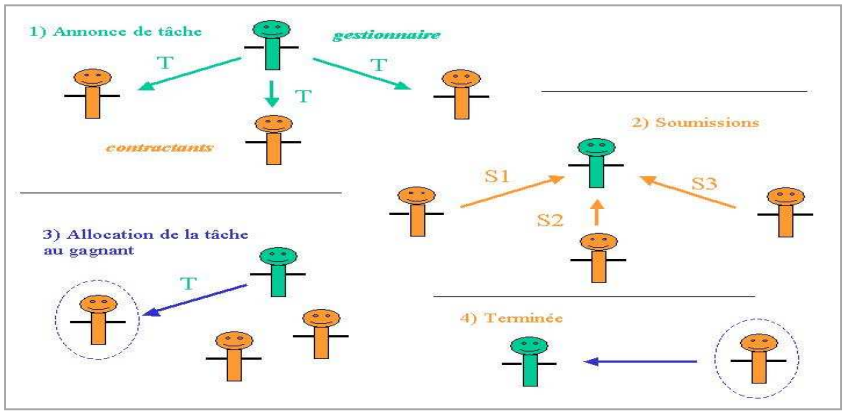
الشّكل 7 : مستوى ردّة الفعل

3.1.1.3 نموذج التعاون

نظرا إلى الأنواع المختلفة من القيود المفروضة على العمليّات التي تشكّل مهمّة الإنتاج داخل الخليّة لمرنة فإنّ نموذج التّفاعل والتّجاذب داخل البنيّة يعتمد تنسيق الأعمال والإجراءات عن طريق تبادل المعرفة والتّفاوض الذي يفضي إلى تبادل وتوزيع المهام.

فأمّا التّعاون من خلال تبادل المهام فإنّه يتمّ توزيعها على أساس شبكة التّعاقد (Contract Net) الذي يمثّل ديناميكيّة كبيرة في إسناد المهام بسبب الاهتمام الذي يكمن في التّماثل الحاصل في المواقف التي بين المديرين والمتعاقدين ومع ذلك، فإنّ هذا النّموذج لديه سلبيّة، تكمن في العدد الكبير من الرّسائل المرسلة.

يعتمد هذا البروتوكول على استعارة تنظيميّة: يقوم الوكلاء بتنسيق أنشطتهم من خلال إبرام عقود من أجل تحقيق أهداف محدّدة (الشّكل 8).



الشّكل 8 : خطوات برتوكول شبكة التّعاقد

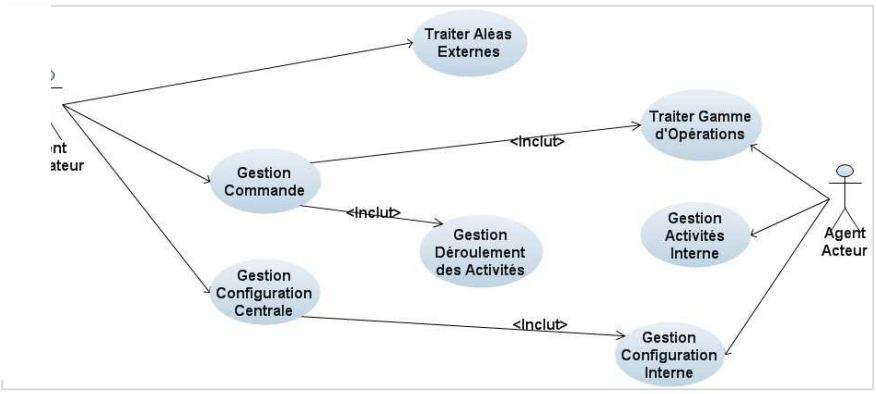
يقوم الوكيل (المدير) الذي يتعيّن عليه القيام بمهمّة ما بالإعلان عنها على شبكة من الوكلاء (الفاعلين) الذين لديهم الموارد المناسبة والخبرات اللازمة فيقومون بعمليّة إرسال العروض التي تنطوي على قدراتهم على أداء المهمّة، إلى المدير. في حالات استثنائيّة، يمكن للمدير إلغاء العقد وذلك عن طريق إعلان يرسله للمتعاقد بأنّ عليه التّخلي عن تنفيذ المهمّة. بالنّسبة للتعاون من خلال المعرفة، فإنّ هذا النّهج، يركّز على تبادل المعلومات بين الوكلاء، تسمح لكلّ وكيل بتحديث نموذجه الخاصّ بالآخرين وبالبيئة، ممّا يؤدّي إلى تحسين تفكيره حول العمليّات المستقبليّة.

2.3 النهج المقترح لمعالجة مشكلة الجدولة المنسّقة

كما ذكرنا أعلاه، فإنّ عملنا يهدف إلى إيجاد طرق لتوزيع العمليّات التي ينبغي إنجازها من أجل الحصول على المنتج في ظلّ وجود المخاطر وحدوث طوارئ. للقيام بذلك، اخترنا نهجا يتناسب مع افتراضات حدّدناها ومع ذلك يمكننا اختيار طرق أخرى ربّما تكون الأفضل وأكثر توافقيّة مع إطار الإنتاج.

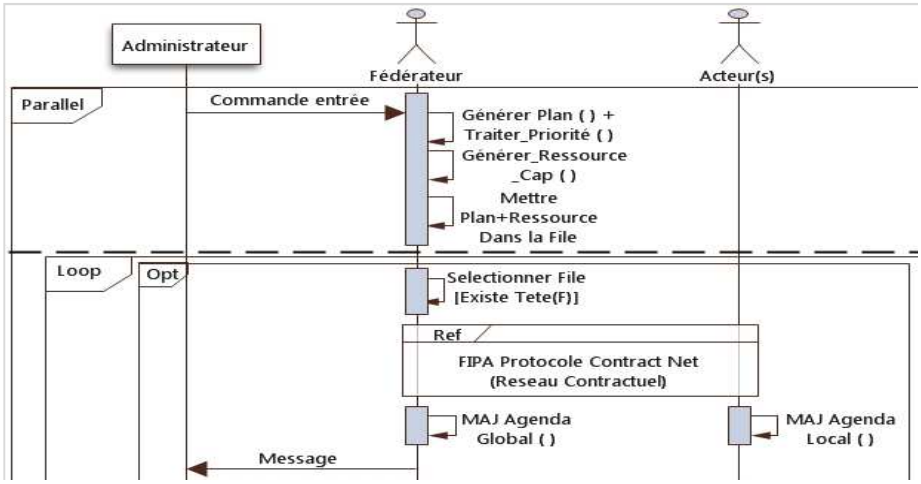
3. 1.2 **عرض الطريقة عندما يصدر المسؤول أمرا يخصّ طلبا معيّنا**، يقوم الوكيل الاتّحاديّ بإنشاء خطّة التّنفيذ الخاصّة بهذا الطّلب أي نطاق الإنتاج الذي يتوافق مع المنتج المرغوب ويستمر من خلال إيجاد الوكلاء القادرين على تنفيذ آخر عمليّة من نطاق العمليّات المكوّن. في هذه المرحلة، يبدأ الوكيل الاتّحاديّ بإعمال شبكة التّعاقد لتخصيص المهامّ للموارد. يمكن للوكلاء المعنيين إمّا رفض التّعاون أو تقديم عرض بمجرّد حصولهم هم أيضا على عروض تخصّ العمليّات التي تسبق العمليّة الأخيرة، ولكي يتمّ القيام بذلك يقوم كلّ وكيل بإزالة آخر عمليّة من النّطاق وإقامة شبكة تعاقديّة على البقيّة، وهلم جرا، حتّى لا يبقى شيء من النّطاق. في هذه اللحظة، يقدّم الوكيل الفاعل اقتراحًا بإنجاز العمليّة التي طلبت من أحدهم. بمجرّد أن يتلقّى الوكيل الاتّحاديّ المقترحات من الوكلاء الفاعلين الذين تعاقد معهم، يقوم بتجميعها وإسناد المهمّة إلى

الوكيل الذي قدّم أفضل اقتراح، بناءً على أقصر وقت يستغرقه في إنجاز العمليّة. في هذه المرحلة، يبرم عقدًا مع الوكيل المختار، في حالة قيام الوكيل الفاعل بتأكيد هذا العقد، يقوم الوكيل الاتّحاديّ بتحديث قاعدة بياناته عن طريق إدخال كلّ عمليّة تشغيل مع منجزها، وكذلك تاريخ البدء فيها وتاريخ الانتهاء منها، وكذلك الوكلاء الفاعلين المشاركين يفعلون هذا أيضا. وهذه هي الطّريقة التي تعتمد لكلّ أوامر الطّلبات الأخرى. يقوم الوكيل الاتّحاديّ بإيقاظ كلّ عمليّة أولى للمهمّة لما يحين وقت بدئها. لقد وقع اختيارنا على لغة النّمذجة AUML (Agent Unified Modeling Language) لتصميم النّظام. وبخصوص النّهج المعتمد الذي قمنا بتطبيقه على المنصّة البرمجيّة JADE (Java AgentDevelopement). الشّكل 9 يوضّح الوظائف المختلفة للنظام، كلّ وظيفة تخضع لأكثر من سيناريو واحد حسب وضعيّات الوكلاء الفاعلين المعنيّين.



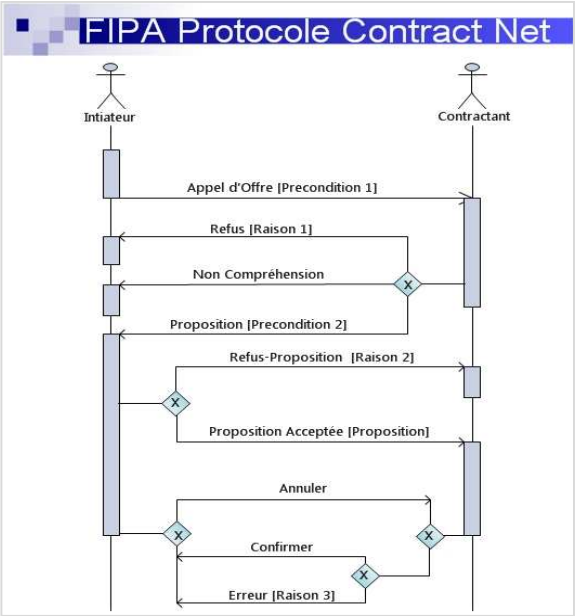
الشّكل 9: مخطّط حالات الاستخدام

الشّكل 10 يوضّح مخطّط حالة الاستخدام المتعلقة بإدارة الطّلب: وصول أمر الطّلب، إنشاء خطة التّنفيذ الخاصّة به، والوكلاء الفاعلين القادرين على إنجاز آخر عمليّة من الخطّة، شبكة التّعاقد التي تمّ تنفيذها وأخيراً تحديثات قواعد المعرفة.



الشّكل 10: مخطّط التّسلسل لحالة الاستخدام إدارة الطّلب

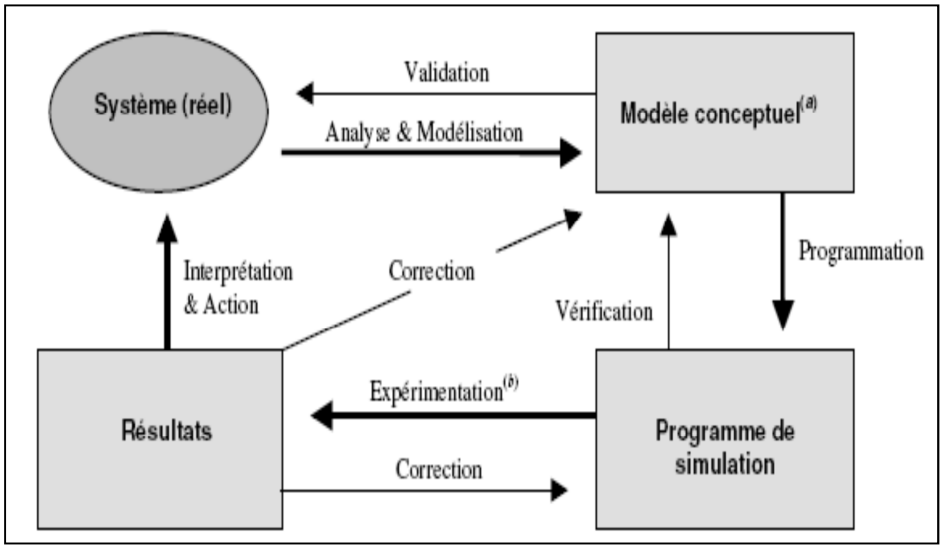
أمّا الشّكل 11 فيظهر مخطّط تسلسل شبكة التّعاقد حيث يوجّه البادئ دعوة مناقصة يحقّ للمتعاقد رفضها أو قبولها بتقديم اقتراح معروض فيقرّر بعدها البادئ قبول أو رفض الاقتراح الصّادر، وفي النّهايّة قد يقرّر المتعاقد التّوقيع أو عدمه، والشّيء نفسه يحصل بالنّسبة للبادئ.



الشّكل 11: مخطّط تسلسل شبكة التّعاقد

2.2.3 المنهجيّة المعتمدة لتنفيذ نهج الجدولة

الشّكل 12 يظهر طريقة محاكاة نظام خليّة الإنتاج والتّركيب المرنة باستعمال منصّة JADE



الشّكل 12 :منهجيّة المحاكاة

قبل التّطرّق إلى عرض بعض سيناريوهات العمل ينبغي أن نشير إلى أنّ هناك نوعين من السّلوكيّات: سلوك داخلي للوكيل، سلوك شامل بين الوكلاء.

في ما يخصّ السّلوك الدّاخلي، يقوم الوكيل بشكل فرديّ بإطلاق سلسلة من الأنشطة من أجل تحقيق هدفه. عندما يقع حدث ما، فإنّه ينشط الوحدات المعنيّة بالمهمّة المراد تنفيذها. لاحظنا من خلال تنفيذنا لهذا النّظام، العدد الكبير من السّلوكيّات التي يمكن أن تحدث، على سبيل المثال: مثال إطلاق أمر طلب جديد، فبمجرّد أن يتلقّى الوكيل الاتّحاديّ الأمر، يبدأ بإرسال أمر الطّلب إلى وحدة التّخطيط، والتي بعدما تنتهي من إنشاء خطّة التّصنيع (نطاق العمليّات)، فإنها ترسلها مباشرة إلى وحدة إدارة وإطلاق المهامّ، هذه الأخيرة تقوم بإدراج قائمة تضمّ جميع الوكلاء الفاعلين القادرين على تحقيق عمليّة من عمليّات النّطاق. (العمليّة الأخيرة). بعد ذلك، يتمّ إرسال الكلّ إلى وحدة الواجهة والاتّصالات، التي، وبعد فراغها من إنشاء رسالة إعلان عن مناقصات، تضعها في قائمة الانتظار المخصّصة للرّسائل التي تنتظر تنفيذ المناقصات.

أمّا بالنّسبة للسّلوك الشّامل، فإنّ الوكلاء يقومون بتبادل الرّسائل أو الخدمات من أجل تحقيق هدف الخليّة الشّامل. لقد قمنا باختيار مفهوم توزيع المهامّ بين الوكلاء من أجل تحسين الأداء ومحاولة، قدر الإمكان القضاء على خطر فقدان السّيطرة على نظام التّحكّم والقيادة. على سبيل المثال: دعوة المناقصات حيث يقوم الوكيل الاتّحاديّ، من خلال وحدة إدارة وإطلاق المهام (المسؤولة عن إدارة قائمة الانتظار) بإطلاق شعار المناقص، يتلقّى كلّ وكيل فاعل الاقتراح من خلال وحدة الجدولة وإذا كان حجم النّطاق أكبر من "1" فسيؤدّي بدوره إلى دعوة مناقصات إلى الوكلاء الآخرين، وبعد إدخال جميع المقترحات، يرسل العقد إلى الوكيل الفاعل المختار. يلاحظ أنّ سلوكا شموليّا ما، ينشأ من تفاعل مختلف الوكلاء من خلال تبادل الرّسائل والخدمات وذلك من أجل الوصول إلى هدف مشترك؛ يتمثّل في تحقيق جدولة نطاق العمليّات.

الحالة التي اعتمدناها في تطبيقنا هي متجر الوظائف(Job-shop) الذي يتألّف من خمس آلات، كلّ منها يمكنها القيام بالعديد من العمليّات. وقت التّشغيل للعمليّة يحسب بوحدات الزّمن، هو الوقت اللازم لإجراء العمليّة على الجهاز. وسائل الإنتاج موضّحة في الجدول التّالي :(الشّكل 13)

المورد	العمليّة	مدّة الإنجاز
RMMOB	خذ	4
Manipul	أمسك	3
MACH	انقل	4
TAPR	حرك	6
Table	احسب	5

الشّكل 13: موارد المعالجة

لقد كان اهتمامنا منصبّا حول إستراتيجيّة الإنتاج المتعدّد، حيث سيكون لكلّ منتج نطاق التّصنيع الخاصّ به ويسمح نظامنا بدعم العديد من المنتجات بالتّوازي مع الموارد المختلفة.

1.2.2.3 عرض سيناريو وسلوك النّظام

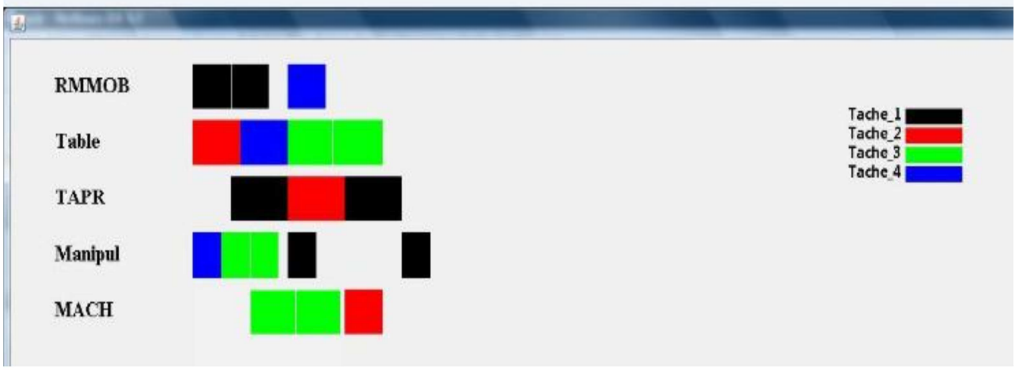
في ما يلي سيكون لدينا دراسة سلوك النّظام الذي ينفّذ أربعة أوامر في المجموع، وهذا الأخير لديه الخصائص التّاليّة:

الكميّة	نطاق العمليّات	المهمّة	الـ
2	خذ، حرك ، أمسك	المهمّة 1 (سيناريو 1 و2)	A
1	احسب، حرك ،انقل	المهمّة 2 (سيناريو 1 و2)	B
2	أمسك، انقل، احسب	المهمّة 3 (سيناريو 1 و2)	C
1	أمسك، احسب، خذ	المهمّة 4 (سيناريو 1 و2)	D
2	أمسك، انقل ، احسب	المهمّة 4 (سيناريو 3)	E
2	أمسك، احسب، خذ	المهمّة 3 (سيناريو 3)	F

الشّكل 14 : جدول المهام

وفي ما يلي سندرس السّيناريو 2 على سبيل المثال ثمّ نقوم بتحليل نتائجه. يتشكّل هذا السّيناريو من أربعة أوامر A و B و C و D الموضّحة أعلاه بفاصل زمنيّ صغير للغايّة، أي أنّ النّظام سيعالج الأوامر واحدًا تلو الآخر بعد ترتيب وصولهم، مع العلم أنّه في هذه الحالة ، تكون الأوامر A و B و D أكثر أهميّة من الأمر C .

2.2.2.3 نتيجة المحاكاة وفقا للنّهج المعتمد



الشّكل 15: محاكاة السّناريو 2

الجدول الذي يوضّح جدولة المهامّ هو كما يلي:

IDF_Tache	IDF_Ressource	IDF_Op	Debut_Exec	Fin_Exec	N_iteration
Tache_1	RMMOB	خذ	13H00	13H04	1
Tache_2	Table	احسب	13H00	13H05	
Tache_4	Manipul	امسك	13H00	13H03	
Tache_1	Manipul	امسك	13H04	13H08	2
Tache_1	TAPR	حرك	13H04	13H10	1
Tache_3	TAPR	حرك	13H03	13H06	1
Tache_3	MACH	انقل	13H06	13H10	1
Tache_3	MACH	انقل	13H06	13H09	2
Tache_4	Table	احسب	13H05	13H10	
Tache_3	Manipul	امسك	13H10	13H15	1
Tache_3	RMMOB	خذ	13H15	13H20	2
Tache_2	RMMOB	خذ	13H10	13H16	
Tache_1	TAPR	حرك	13H16	13H22	2
Tache_1	Manipul	أمسك	13H22	13H25	2
Tache_1	Manipul	أمسك	13H10	13H13	1
Tache_2	MACH	انقل	13H16	13H20	
Tache_4	RMMOB	خذ	13H10	13H14	
Tache_3	MACH	انقل	13H06	13H10	2

الشّكل 16: محاكاة السّناريو 2

في الفقرة التّاليّة سنقدّم تحليلا وتقييما للأداء بناءً على السّيناريوهات المطبّقة.

4. المناقشة Discussion

1.4 تحليل السّيناريو 2

يوضّح السّيناريو2 سلوك النّظام في حالة إعطاء أولويّة جديدة للطّلب الجديد أكثر من سابقه، كما هو موضّح في المثال أعلاه الذي يصف السّيناريو. يتمّ تنفيذ الأمر D المهمّة 4 في المثال قبل الأمر C لأنّه بالفعل أقلّ أولويّة من الأمر D ، ما حدث في الواقع هو أنّ الأوامر الثّلاثة الأولى تمّت جدولتها، عند وصول الأمر الرّابع ، وإذا نظرنا في جدول الأعمال، لمعرفة ما إذا كانت هناك أوامر أقلّ أولويّة ولم تبدأ عمليّاتها كما هو الحال بالنّسبة للأمر C ، لذلك تمّ حذفها من جدول العمليّات من أجل جدولة الأمر D قبلها للطّلب، قبل الأمر وهذا ما يدلّ على الأخذ بعين الاعتبار الآجال النّهائيّة.

2.4.تحليل الأداء

وفقًا للسيناريوهات التي تمّت دراستها ما ذكرنا منها وما لم نذكر، يمكن أن نستنتج الأمور التّاليّة:

- سلوك النّظام مقنع تمامًا عند وصول الطّلب عبر الخطّ لأنّه تمّت جدولة الطّلب الجديد دون تضييع للوقت، و نلاحظ أن النّهج المتّبع يحرص على تقليل المدّة الزّمنيّة الكليّة لتنفيذ المهمّة.

- في ما يتعلّق بالطّوارئ المتعلّقة بتغيير يحصل في الكميّة أو نطاق العمليّات، يتصرّف النّظام بطريقة مرضيّة للغايّة أو حتّى مثاليّة، ولكن لم يتمّ دراسة السّيناريوهات المتعلّقة بالطّوارئ والمتغيّرات التي تحدث خارجيّا.

- في حالة طارئ "الطّلب العاجل" ، يختار النّظام السّلوك بطريقة تتمّ إزالة جميع العمليّات التي قد تتداخل مع الأمر العاجل، ما لم تكن العمليّة قيد التّنفيذ لأنّه في الواقع، لا يمكننا قطع تنفيذ العمليّة، لكن تجدر الإشارة إلى أنّ النّهج المتّبع يعتمد على جدولة المهمّة بأكملها قبل البدء في تنفيذ عمليّاتها وإذا واجهنا في أيّ لحظة طارئا، سيكون لدينا الكثير من المهام التي يجب إعادة جدولتها.

- احترام الآجال النّهائيّة لإنجاز المهام يظلّ أمرا معقّدا؛ لأنّه وبكلّ بساطة مسألة مراعاة زمن النّهايات يبقى مشكلة من نوع NP COMPLET الذي لا يمكن ضمان حله بالشّكل الأمثل، عن طريق خوارزميّة بسيطة. بالرّغم من أن معيار احترام المواعيد النّهائيّة، لم يكن جيّدًا، فيمكن القول إنّ نظامنا يتصرّف بطريقة مرضيّة، إذا تحدّثنا عن سياق عمل محدّد جيدًا؛ حيث يتمّ على سبيل المثال حساب الوقت بواسطة العنصر البشريّ (مع الأخذ في الاعتبار حالة الخليّة) الذي يقدّمه للعميل، يمكن لهذا الأخير قبول هذا الأجل أو رفضه، وفي هذه الحالة لن يكون للنّظام قيود ضيّقة جدًّا من ناحيّة الوقت، وهذا يتناسب جيدا مع نظامنا.

إنّ أيّ تطوير للبرنامج المناسب لطبيعة المشكلة ولنظام التّحكّم والقيادة الذي نريده هو مهمّة معقّدة

وعمليّة التّنفيذ طويلة وشاقّة. من ناحيّة أخرى، يتمتّع النّظام بمرونة كبيرة، مكّنتنا من دراسة سلوك النّظام. لقد قمنا بدراسة وتقييم نهج واحد لإدارة خلايا الإنتاج المرنة، وتميل النّتائج التي تمّ الحصول عليها لإثبات صحّة الهيكليّة والمنهجيّة المنفّذة، ومع ذلك لم نتمكّن من القيام بمزيد من السّيناريوهات. لقد وجدنا أنّ تصميم مثل هذه الأنظمة هو مهمّة صعبة، وأنّ تنفيذها، على الرّغم من أنّها تبدو سهلة، في الواقع معقّدة للغايّة بالنّظر إلى تحلّل البرنامج إلى وحدات (سلوكيّات في منصّة JADE ليست سوى برامج خيطيّة. تعمل بشكل متوازٍ) وهذا يؤدّي إلى ضرورة حلّ المشاكل المزامنة، وبالفعل كانت تلك هي الصّعوبة الرّئيسيّة التي واجهناها أثناء تنفيذ نهجنا. ومع ذلك، فقد وجدنا أنّ البرمجة الموجّهة نحو العملاء هي طريقة برمجة مناسبة، وبالخصوص، إذا كان الأمر يتعلّق بنمذجة أنظمة تحكّم وقيادة خلايا الإنتاج المرنة، داخل ورشات الإنتاج؛ لأنّنا أدركنا أن JADE يدعم الكثير من الجوانب التّفصيليّة للبرمجة (التّواصل بين الوكلاء على سبيل المثال). من خلال هذا الفصل، حاولنا شرح تنفيذ المحاكاة والتّحقّق من صحّة النّهج المتّبع من خلال دراسة

بعض السّيناريوهات، التي لا تزال غير كافيّة؛ لأنّه سيكون من الضّروريّ دراسة المزيد من الحالات لتحليل أداء النّظام بشكل أفضل.

الخلاصة Conclusion

يعدّ تنفيذ نظام إدارة خلية إنتاج مرنة، عمليّة معقّدة؛ لأن تدفق الإنتاج يتغير باستمرار، كبروز طلب عاجل بشكل غير متوقّع، بالإضافة إلى أنّ هذه الأنظمة تتميز بعدم الاستقرار في مواجهة حالات الطّوارئ. في هذا البحث قمنا بعرض بنية التّحكّم والقيادة لخليّة إنتاج وتركيب مرنة تعتمد على نظام متعدّد الوكلاء والسّلوك والمستويات؛ من أجل تطبيق مسوّدة جدولة تفاعليّة، تستند أساسًا على أوقات الخمول القابلة للاستخدام. بالإضافة إلى ذلك، من أجل احترام الآجال النّهائيّة، قدّمنا خوارزميّة بسيطة تتيح في حالة وصول طلب جديد، حسب أولويّة هذا الأمر؛ لكي يتمّ تنفيذ إعادة جدولة جميع الأوامر ذات الأولويّة المنخفضة. لتنفيذ مقاربتنا أو نهجنا في جدولة العمليّات، اعتمدنا على نموذج من التّعاون بين الوكلاء استنادًا إلى شبكة التّعاقد، مما يتيح مرونة معيّنة في نظام التّحكّم.

من جهة أخرى، نريد أن نؤكّد على أنّنا فضّلنا تصميم منصّة لمحاكاة نظام التّحكّم والقيادة للخليّة المرنة التي تتيح التّكيّف مع سياقات الإنتاج المتنوعة، حتّى وإن كانت المقاربة التي اقترحناها لحل مشكلة الجدولة في حالة حدوث الطّوارئ، كانت أقل شموليّة؛ لأن المسألة تتطلب إنجاز وظيفتين في وقت واحد الجدولة مع عدم تجاوز الآجال والمواعيد النّهائيّة للمهامّ.

هذا العمل يفتح آفاق العمل المستقبليّ لتحسين المقاربة المقترحة لتكون أكثر شموليّة، واقتراح أساليب جديدة أكثر ملائمة لإدارة الطّوارئ الدّاخليّة والخارجيّة من خلال عمليّة جدولة قويّة وذكيّة تقوم أساسا على استقلاليّة أفضل في صنع القرار الذي يتطلب تحسين الجزء المعرفي للوكلاء. علاوة على ذلك، يمكن مستقبلا تنفيذ عمليّة تقييم أداء متانة هذا النّوع من الأنظمة. هذا الأخير يجعل من الممكن اختبار السّلوك الكلّيّ لنظام الإنتاج من خلال الأرقام، عبر دراسة العديد من السّيناريوهات ومحاولة دراسة الإحصائيات. ولكي يكون التّقييم موضوعيا، ينبغي تنفيذ بنية النّظام على خليّة إنتاج حقيقيّة عبر التّحكّم والقيادة للخليّة من خلال نظام المحاكاة المقترح.

6. المراجع: References

1. Abrudan I, 1996. Système flexible de fabrication – concepts de projecture si management, Ed. Dacia, Cluj-Napoca.

2. Adamou M, 1997. Contribution à la modélisation en vue de la conduite des systèmes flexibles d'assemblage à l'aide des réseaux de Pétri orientés objet. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté.

3. Y. Demazeau et A. R. Costa, 1996. Populations and organisations in open multi-agent systems". In 1st Symposium on Parallel and Distributed AI, Hyderabad, India.

4. J. Erceau, 1993. Intelligence Artificielle Distribuée et Systèmes Multi-Agents - de la théorie aux applications. 23ème Ecole Internationale d"Informatique de l"AFCET, Neuchâtel.

5. J.Ferber, 1995. Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective, InterEditions, ISBN : 2- 72-96-0572-X.

6. J. Ferber, 1999. Multi-Agent Systems - An introduction to distributed artificial intelligence. Addison- Wesley, ISBN 0-201-36048-9.

7. M. Messaadia, A.E.K. Sahraoui, 2007 .PLM as linkage process in a systems engineering framework. International Journal of Product Development, Vol.4, N°3/4.

8. Noureddine. Seddari, 2015 . Outils formels et opérationnels pour la modélisation et la simulation des systèmes complexes. Thèse de Doctorat de 3° cycle (LMD) de l'Université de Skikda, Algérie. Juin.

9. Stéphane Julia, 1997. Conception et pilotage de cellules flexibles à fonctionnement répétitif modélisées par Réseaux de Petri. Thèse doctoral de l'université Paul Sabatier de Toulouse.

10. J.Y. Tigli, , 1996. Vers une architecture de contrôle pour Robot Mobile orientée Comportement, SMACH. Thèse de doctorat de l'université de Nice-Sophia Antipolis, France.

11. Toukal Zakaria, 2000. Contrôle/Commande distribué d'une organisation d'agents robots. Thèse de Doctorat de l'université Paris XII, spécialité robotique.

12. http://www.incose.org/practice/fellowsconsensus.aspx(ChapIV)