



**P r o d u c t i o n i n d u s t r i e l l e
a u t o m a t i s é e e t i n f o r m a t i s é e**

Chapitre 6

Organisation et implantation de la fabrication

Après cinq chapitres consacrés à l'ensemble du système de production, les chapitres 6, 7 et 8 sont consacrés à la seule fabrication des produits et à son automatisation. Ils ne s'intéressent donc qu'à ce qui se passe dans l'atelier ; là où des systèmes automatisés exécutent les gestes physiques de la fabrication ; et là aussi où circulent les informations nécessaires et dues au fonctionnement de ces systèmes. Premier des trois, ce chapitre 6 s'intéresse précisément à l'organisation et à l'implantation des systèmes automatisés dans l'atelier.

Il commence par recenser les quatre grands types de systèmes automatisés presque toujours présents dans l'atelier de fabrication d'un système productique. Et de la même façon, il recense les quatre types d'informations qui circulent dans un tel atelier. Est alors proposée, à partir de ces deux recensements, une typologie dans laquelle sont caractérisés les trois grands types d'ateliers automatisés de tout système productique.

Pour aller plus loin dans l'organisation de l'atelier, le chapitre s'intéresse à la façon dont y sont maîtrisés le temps et l'espace. Ces deux paramètres sont surdéterminants dans l'implantation des machines ou des systèmes. Ils le sont également le choix d'un pilotage centralisé ou réparti de l'atelier. Ce qui sera examiné sur deux exemples particulièrement significatifs.

Organisation et implantation de la fabrication

Table des matières du chapitre 6

1. Organisation de la fabrication.....	4
1.1. Types de systèmes automatisés et informatisés implantés dans un atelier	4
1.2. Types d'informations circulant dans un atelier.....	7
1.3. Types d'ateliers selon la variété des produits	13
2. La maîtrise de l'espace et du temps dans l'atelier	14
2.1. La maîtrise de l'espace : sections homogènes / hétérogènes	14
2.2. La maîtrise du temps : différé / réel (long, moyen et court terme)	17
3. Ateliers automatisés à pilotage centralisé ou réparti	20
3.1. Exemple d'un atelier automatisé à pilotage centralisé (usinage).....	20
3.2. Exemple d'un atelier automatisé à pilotage réparti (assemblage)	21
Conclusion	25

1. Organisation de la fabrication

Tout d'abord il convient ici de rappeler que parler de la fabrication, c'est parler de ce qui se passe à l'atelier ou dans les différents ateliers de l'entreprise. C'est donc s'intéresser au sous-ensemble le plus visible de la production, celui qui en privilégie le système physique.

C'est d'abord s'intéresser aux machines et aux systèmes implantés et mis en œuvre dans les ateliers de l'entreprise ; des systèmes pas seulement automatisés, mais aussi informatisés. Quatre types de systèmes seront ainsi proposés.

Mais c'est ensuite s'intéresser aux informations dont ont besoin ces systèmes pour fonctionner et à celles qu'ils génèrent en fonctionnant. Là encore, quatre types d'informations seront proposés.

En prenant appui sur ces deux typologies de systèmes et d'informations, une troisième typologie sera présentée ; elle répartit dans trois catégories les différents types d'ateliers observés dans les différents systèmes productiques dont se dotent les entreprises manufacturières.

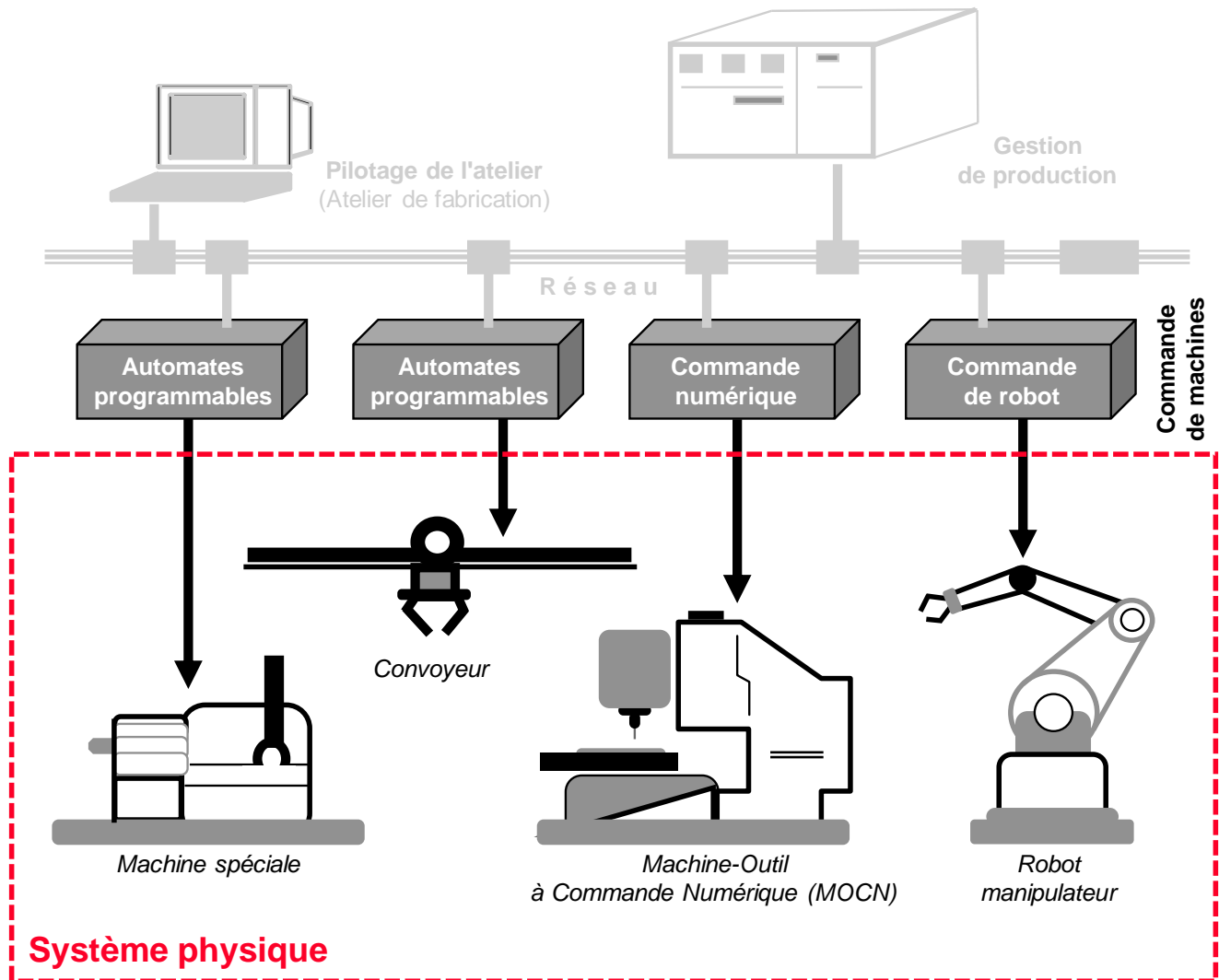
Le chapitre commence par examiner l'une après l'autre ces trois typologies de systèmes, d'informations et d'ateliers auxquels il est fait appel pour concevoir et réaliser un système productique.

1.1. Types de systèmes automatisés et informatisés implantés dans un atelier

Les systèmes automatisés et le plus souvent informatisés présents dans l'atelier constituent le système physique de production. Ils exécutent les gestes physiques, c'est-à-dire les tâches déclinées dans la gamme de fabrication de l'objet, qu'il s'agisse d'un composant élémentaire, d'un sous-ensemble d'un produit ou d'un produit complet. Ces systèmes peuvent se ranger selon les quatre types suivants :

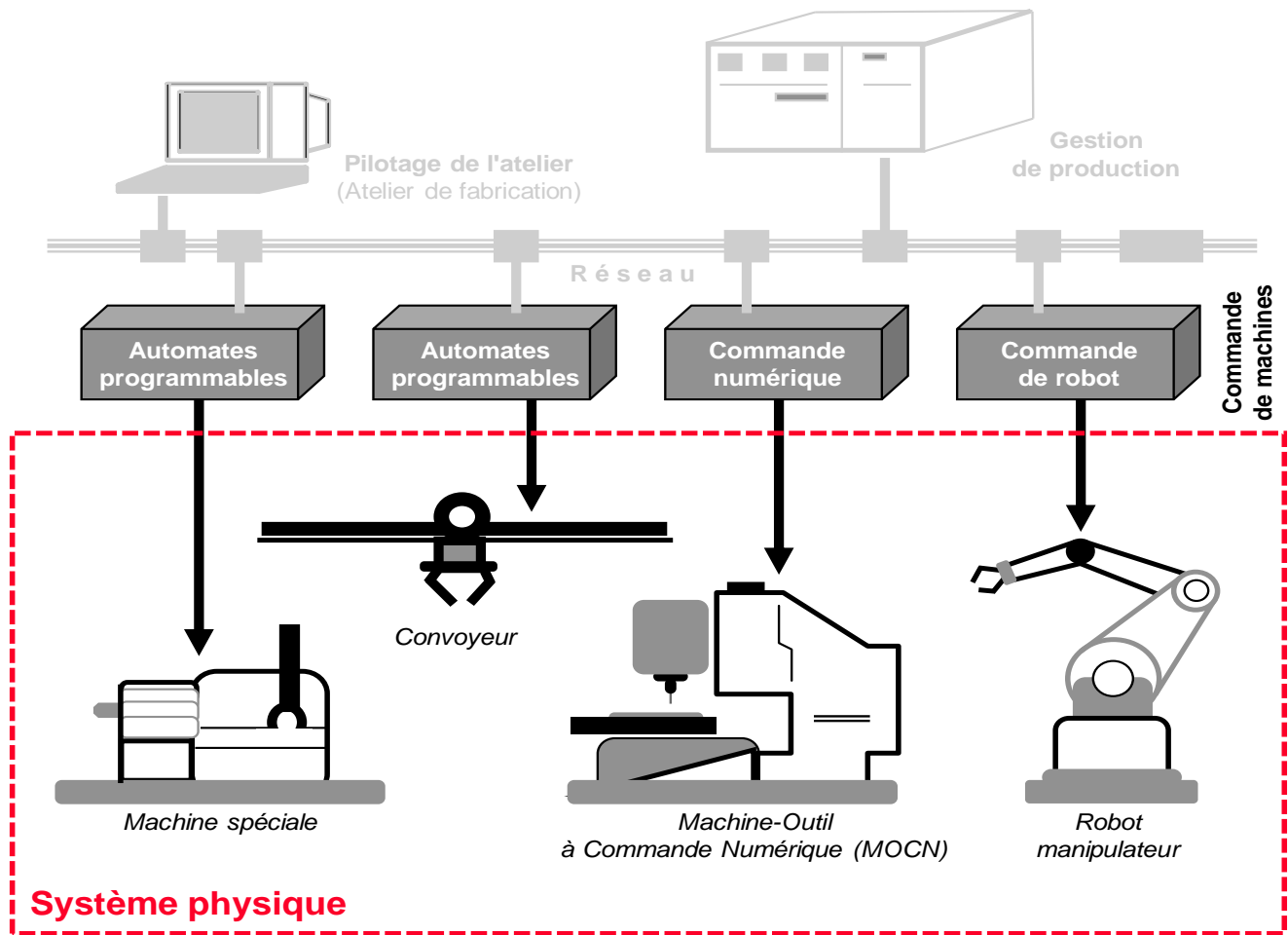
- les **machines spéciales** (presses, machines d'assemblage, machines-transfert, etc.) généralement pilotées par des automates programmables ;
- les **machines-outils à commande numérique** pilotées par des systèmes informatiques spécifiques, dits « à commande numérique » ;
- les **robots** (robots de manipulation, d'assemblage, de soudage, de peinture, etc.) généralement pilotés chacun par un ordinateur dédié ;
- les **systèmes de positionnement** (systèmes-transferts, convoyeurs, portique de manutention, chariots filoguidés, manipulateurs, systèmes porte-pièces ou porte-outils, magasins automatisés, etc.) généralement pilotés par des automates programmables.

Reprenons l'un après l'autre ces quatre types de systèmes technologiques présents à l'atelier.



Les **machines spéciales** sont destinées à exécuter le plus souvent une seule tâche ou parfois plusieurs tâches consécutives dans une gamme de fabrication ; mais des tâches en nombre toujours très limité et toujours sur le même objet. Ces machines sont dites « spéciales » par opposition à « flexibles » dans la mesure où elles sont dédiées à l'exécution d'opérations de fabrication pour un seul produit ; elles perdent donc toute utilité à la disparition du produit.

Les **Machines-Outils à Commande Numérique (MOCN)** sont destinées à exécuter généralement plusieurs opérations d'usinage généralement consécutives dans la gamme de fabrication d'un même objet. Les MOCN doivent pouvoir exécuter, sur un même objet, de multiples opérations d'usinage différentes. Une MOCN disposant de trois à cinq axes d'usinage peut réaliser un nombre presque illimité de profils de pièces et passer d'un profil à l'autre par simple changement de sa programmation. Aussi convient-il de ranger les MOCN parmi les systèmes flexibles de fabrication.

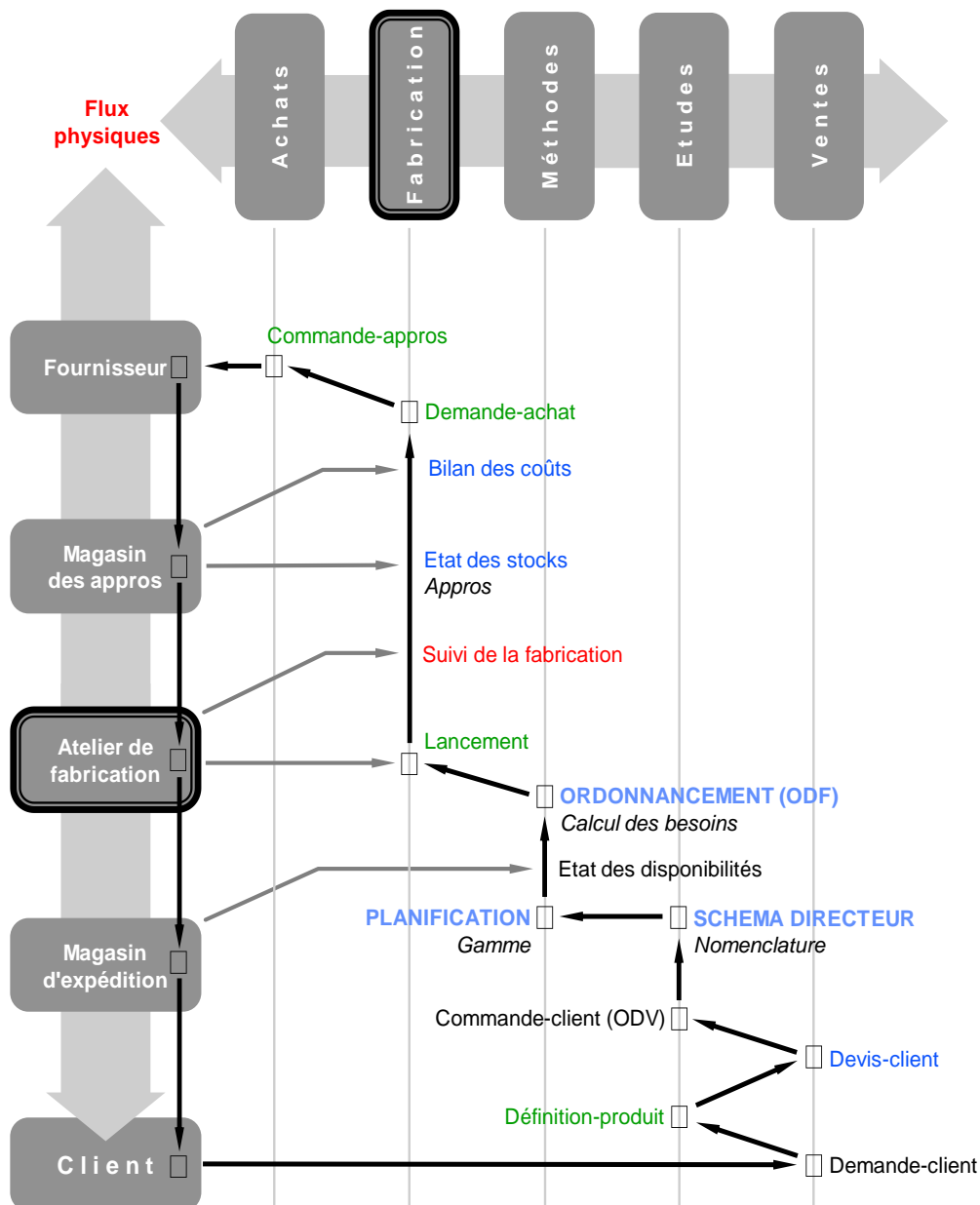


Les **robots** sont destinés à exécuter différents enchaînements de tâches consécutives dans chacune des gammes de fabrication d'objets ou produits différents. Les robots sont donc dits « flexibles » par opposition aux machines spéciales dans la mesure où ils ne sont pas, *a priori*, dédiés à l'exécution d'opérations de fabrication pour un seul produit, mais au contraire utilisables à la fabrication de produits différents sur un même site de production. Un même robot ou une même chaîne robotisée peut ainsi répondre, par changement de programmation, à des ordres de fabrication variant aussi bien dans l'instant (passage instantané d'un produit à l'autre à l'intérieur d'une même gamme commerciale) que dans le temps (passage possible d'une génération à l'autre dans l'évolution d'un même produit sur son marché).

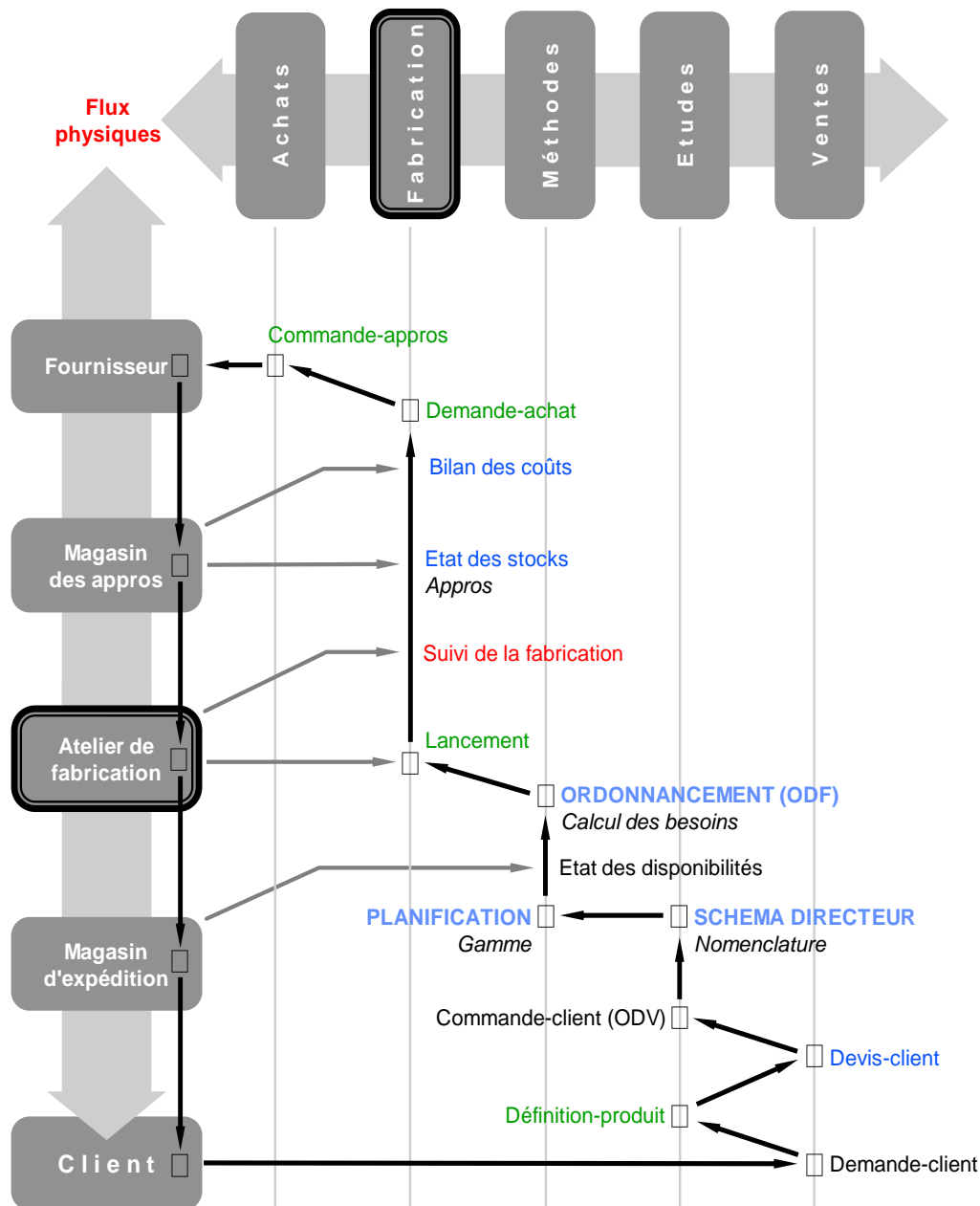
Les **systèmes de positionnement** sont destinés à manipuler ou convoyer des objets (pièces, produits ou outils) afin de les amener d'un point de stockage au lieu requis et dans la position requise pour l'exécution des opérations de fabrication. Ces systèmes peuvent être aussi bien spéciaux (systèmes-transfert, par exemple) que flexibles (chariots filoguidés, par exemple). Un système-transfert sera souvent dédié à la manipulation d'un seul objet alors qu'un chariot filoguidé pourra, par simple changement de sa programmation, assurer l'acheminement et le positionnement d'objets très différents.

1.2. Types d'informations circulant dans un atelier

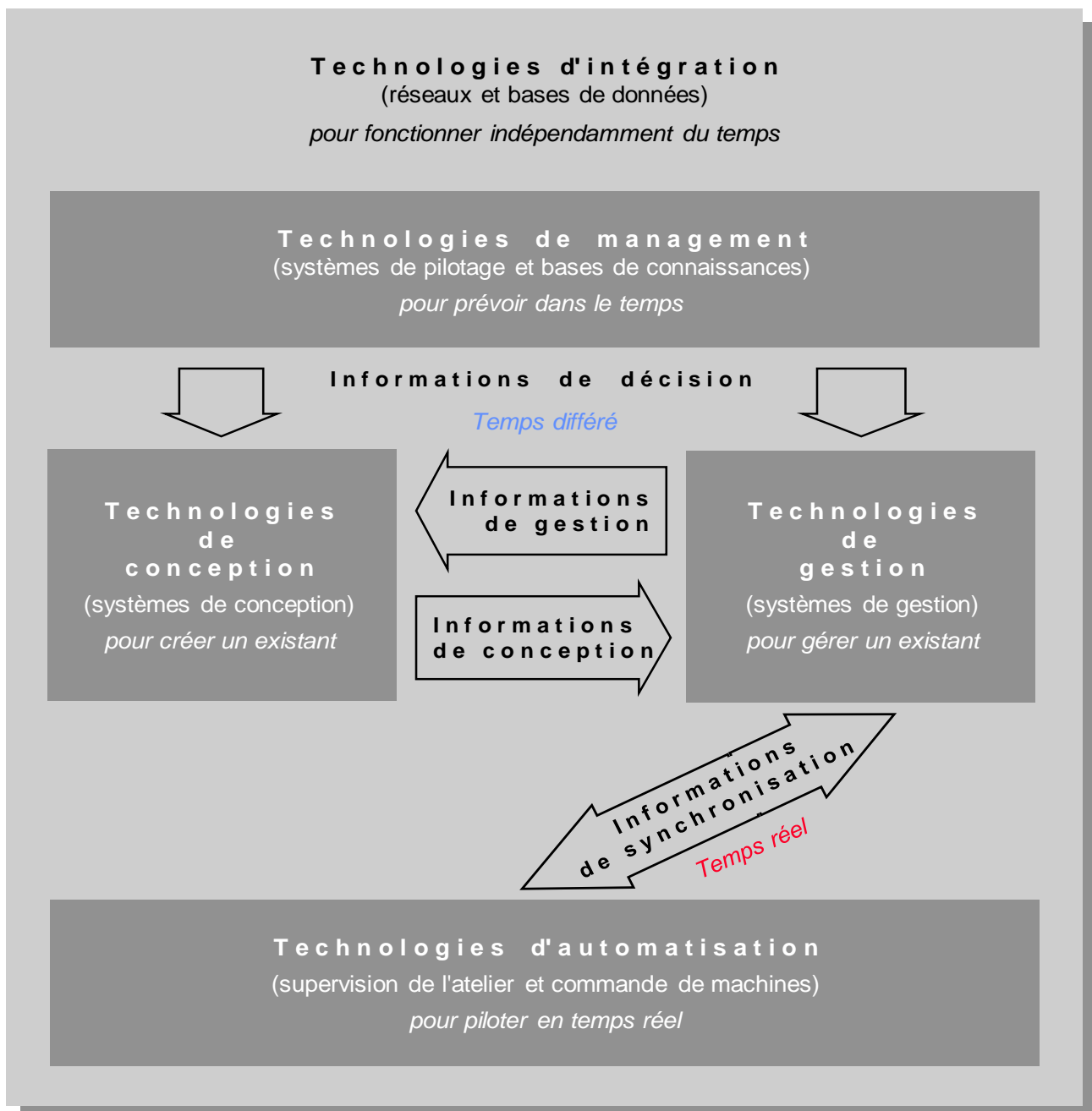
Pour gérer efficacement les flux physiques (matières et produits) aboutissant à la fabrication d'un produit, on a besoin de générer, de traiter, de croiser ou de transmettre des informations en très grande quantité et d'une très grande diversité. Ce sont, en effet, les flux informationnels (informations de conception ou de gestion, de synchronisation ou de décision) qui pilotent les flux physiques. L'atelier devient un vaste carrefour où s'échangent des informations techniques et économiques, des données quantitatives et qualitatives ; des informations produites et utilisées sous forme de schémas ou de séquences, de tableaux chiffrés ou de textes, de signaux électriques ou de lignes de programmes ; des informations fournies sur de multiples supports écrits, électroniques ou informatiques et traitées de façon manuelle ou automatique.



Le schéma ci-dessous montre la majeure partie de ces flux informationnels. Ce sont, par exemple, l'ordonnancement puis le lancement des ODF ; ou encore les demandes d'achat qui déclenchent les commandes d'approvisionnements, etc. Ces différents flux informationnels témoignent des très nombreuses relations entre services pour parvenir à la fabrication d'un seul produit pour un client particulier. La réalité sera bien plus complexe encore lorsqu'il s'agira de fabriquer, au fil du temps, des produits différents pour plusieurs clients.



Ces flux d'informations accompagnant les flux physiques sont de plus en plus importants. Et les informations produites et utilisées sont de différents types comme le résume le schéma suivant.



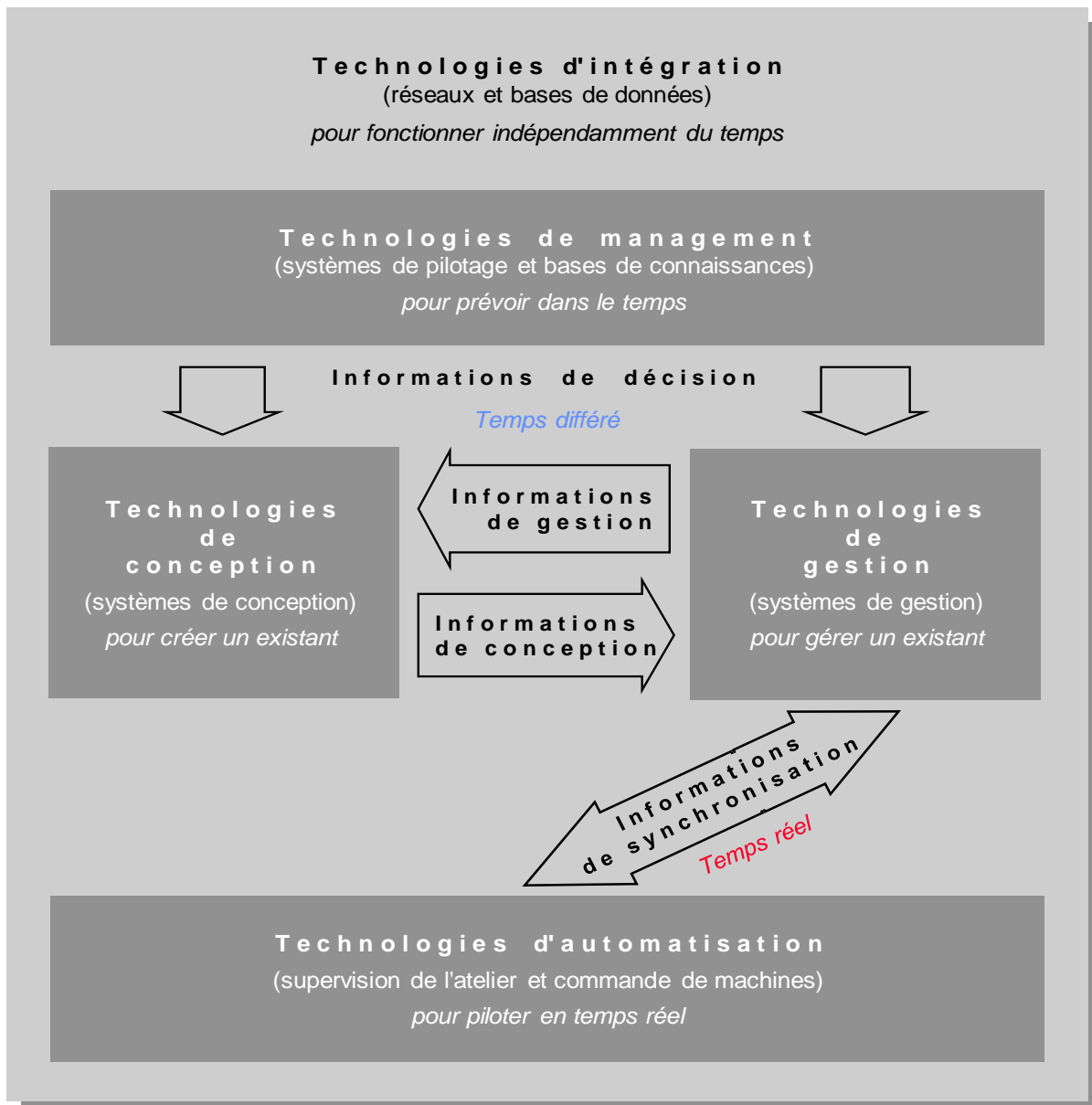
Ces informations sont de quatre types. Ce sont les **informations de décision, de conception, de gestion et de synchronisation**. Reprenons-les les uns après les autres.

Les **informations de décision** :

- sont générées par les technologies de management (PAO, GED, etc.),
- assurent la conduite de programmes de production,
- sont stockées dans des bases de connaissances.

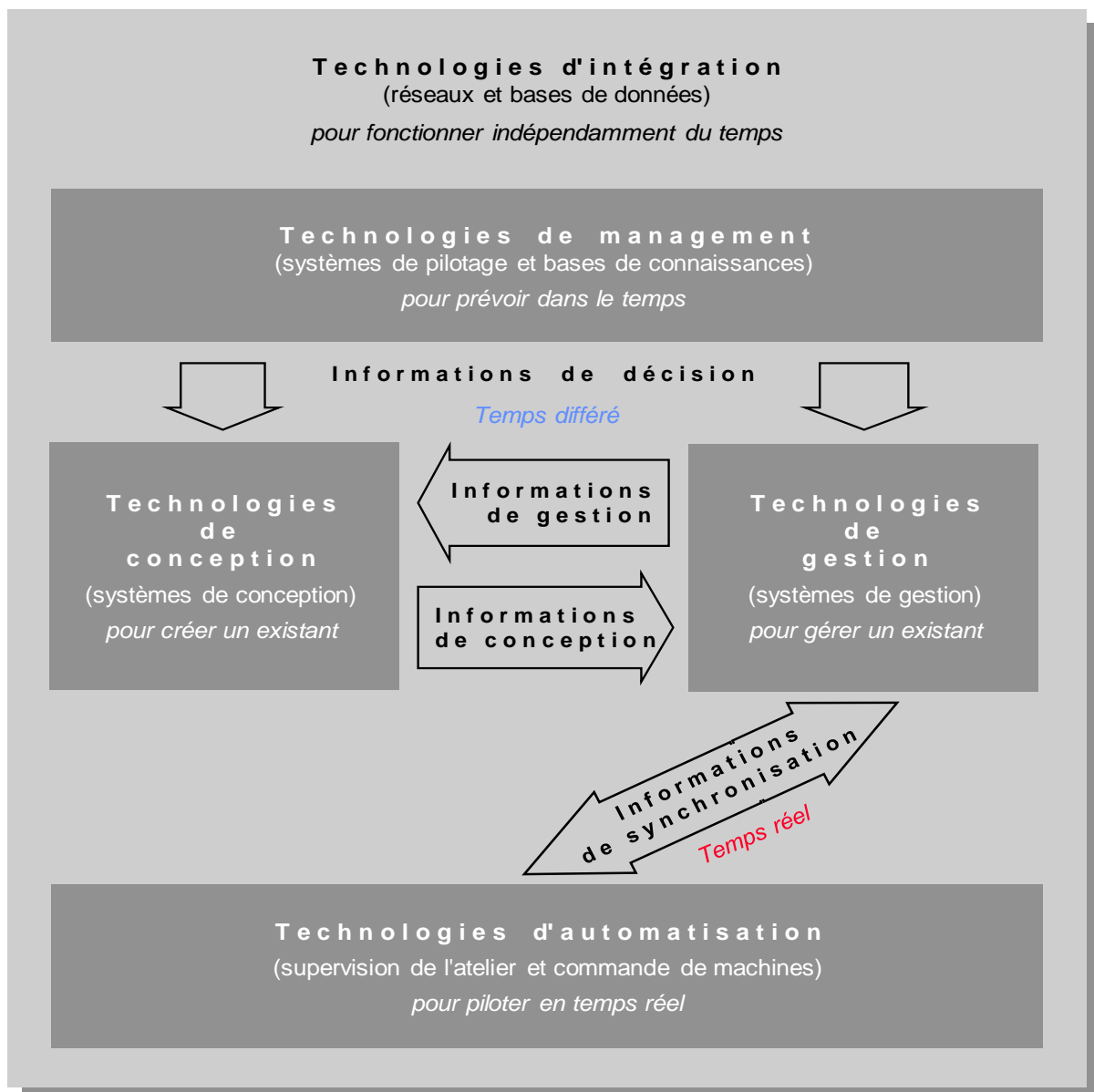
Les **informations de conception** :

- sont générées par les technologies de conception (DAO, CAO, FAO, TGAO, etc.),
- définissent aussi bien les produits à usiner que l'ensemble des gammes de fabrication,
- peuvent être stockées sur des supports écrits (dessins de définition, diagrammes de phases, etc.) ou informatiques (programmes d'usinage des MOCN ou de trajectoire des robots, plans de pièces, jauges des outils, etc.).



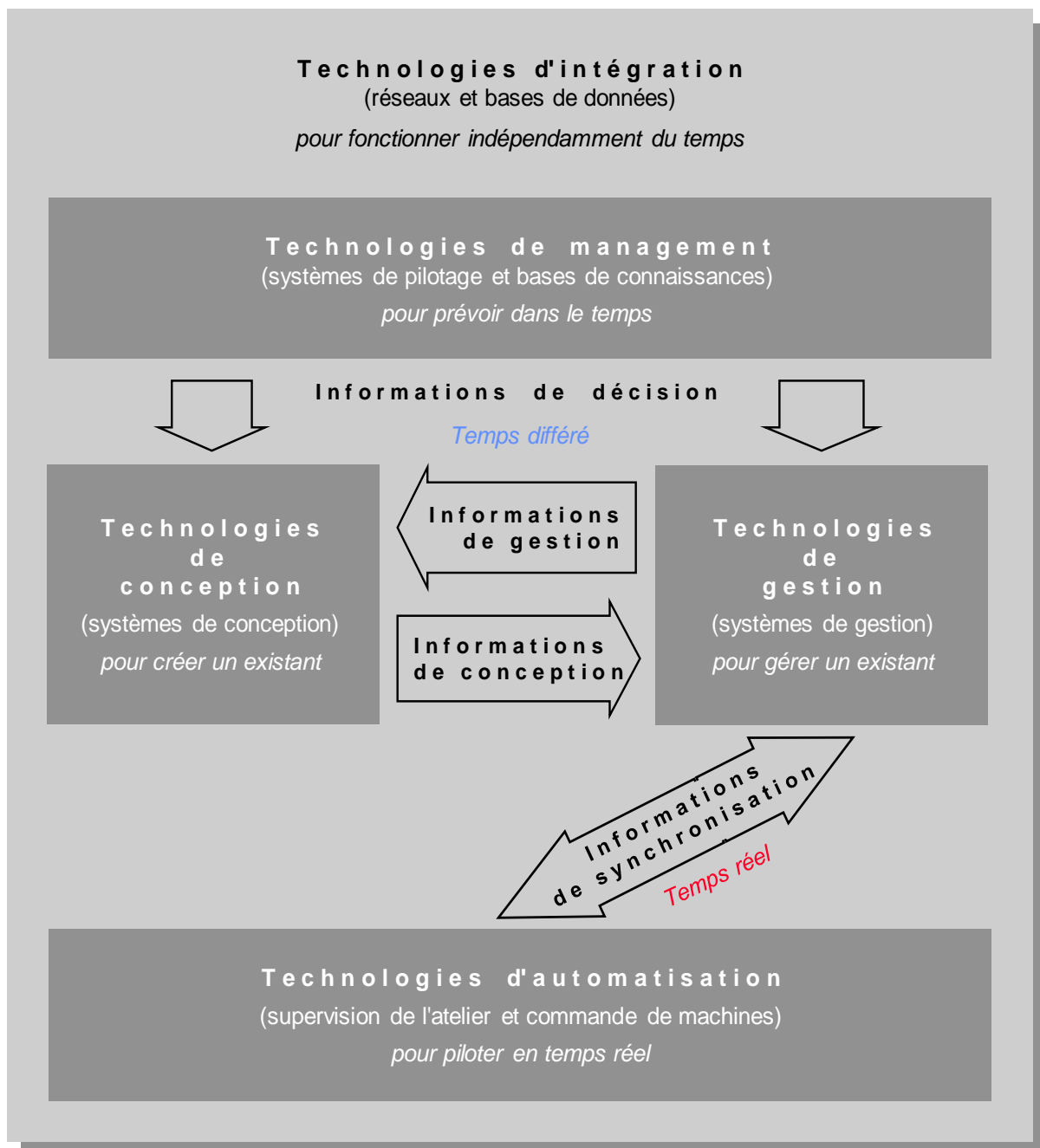
Les informations de gestion :

- sont générées par les technologies de gestion (GPAO, CQAO, MAO, etc.),
- informent sur le suivi de la production (quantités produites et consommées, suivi des ODF, surveillance des critères de qualité, etc.),
- donnent des informations sur les types de pannes survenues,
- peuvent être saisies manuellement par des opérateurs ou automatiquement par les technologies de gestion présentes au trois niveaux (schéma directeur à long terme, planification à moyen terme et ordonnancement à court terme).



Les informations de synchronisation :

- sont générées par les technologies d'automatisation,
- informent sur l'état du processus de fabrication et servent à coordonner les opérations de fabrication effectuées sur les machines,
- sont des ordres (marche, arrêt, démarrage de séquences, contrôle de cote, etc.),
- reposent sur des signaux électriques échangés entre la supervision de l'atelier et les machines ou directement entre machines (convoyeur de pièces ou d'outils et robot de chargement sur une MOCN, par exemple).



1.3. Types d'ateliers selon la variété des produits

Selon la variété des produits à fabriquer, il existe trois types d'ateliers.

- Les **ateliers flexibles d'usinage**. Ils intègrent tout l'environnement nécessaire à la réalisation complète d'une famille de pièces. Toutes les fonctions de production peuvent être centralisées et informatisées. Le transfert des pièces peut y être automatisé au maximum.
- Les **ateliers dédiés à une famille de produits**. Ils usinent des pièces différentes mais identifiées et prévisibles, ce qui permet de choisir des configurations de machines plus élaborées. Le degré d'automatisation peut être plus poussé car les investissements financiers et techniques, les taux d'occupation des machines sont maîtrisables. On peut y trouver des cellules flexibles alimentées par systèmes palettisés ou robotisés, ainsi qu'une informatique de gestion globale de l'atelier.
- Les **ateliers dédiés à un produit unique**. Ils ne présentent pas un haut niveau d'intégration informatique. Leur faible polyvalence est compensée par une grande productivité. Néanmoins ce type d'atelier peut nécessiter tous les types d'utilisation de l'informatique (programmation, contrôle, gestion de production, pilotage de l'atelier et conduite des machines).

Pour chacun de ces trois types d'ateliers et dans le domaine de l'usinage, le tableau suivant fournit un exemple et apporte les éléments de comparaisons utiles à leur caractérisation.

	Atelier flexible d'usinage	Atelier dédié à une famille de produits	Atelier dédié à un produit unique
<i>Exemples d'usinage</i>	<i>Toutes pièces obtenues, par tournage, fraisage, etc.</i>	<i>Une famille d'axes</i>	<i>Un carter et ses variantes</i>
Produits	Très variés et imprévisibles	Variés mais connus	Figés avec quelques variantes
Séries	Petites séries peu renouvelables	Séries moyennes variables mais connues	Grandes séries prévisibles et stables
Délais	Très variables et non maîtrisés	Courts mais connus et maîtrisés	Courts mais négociés avec le client
Machines utilisées	Machines flexibles adaptables à toutes opérations	Cellules flexibles adaptées à certaines opérations	Machines spéciales dédiées à une opération
Flexibilité de la production	Grande	Moyenne	Faible
Structure d'atelier	En section hétérogène adaptable à différents produits : atelier flexible	En cellules dédiées à une famille de produits : cellule d'usinage	En section homogène adaptée au produit : ligne de fabrication
Transport des pièces	Robotisé : chariot filoguidé	Manuel et palettisé	Convoyé et palettisé
Gestion des outillages	Robotisée	Manuelle ou informatisée	Manuelle

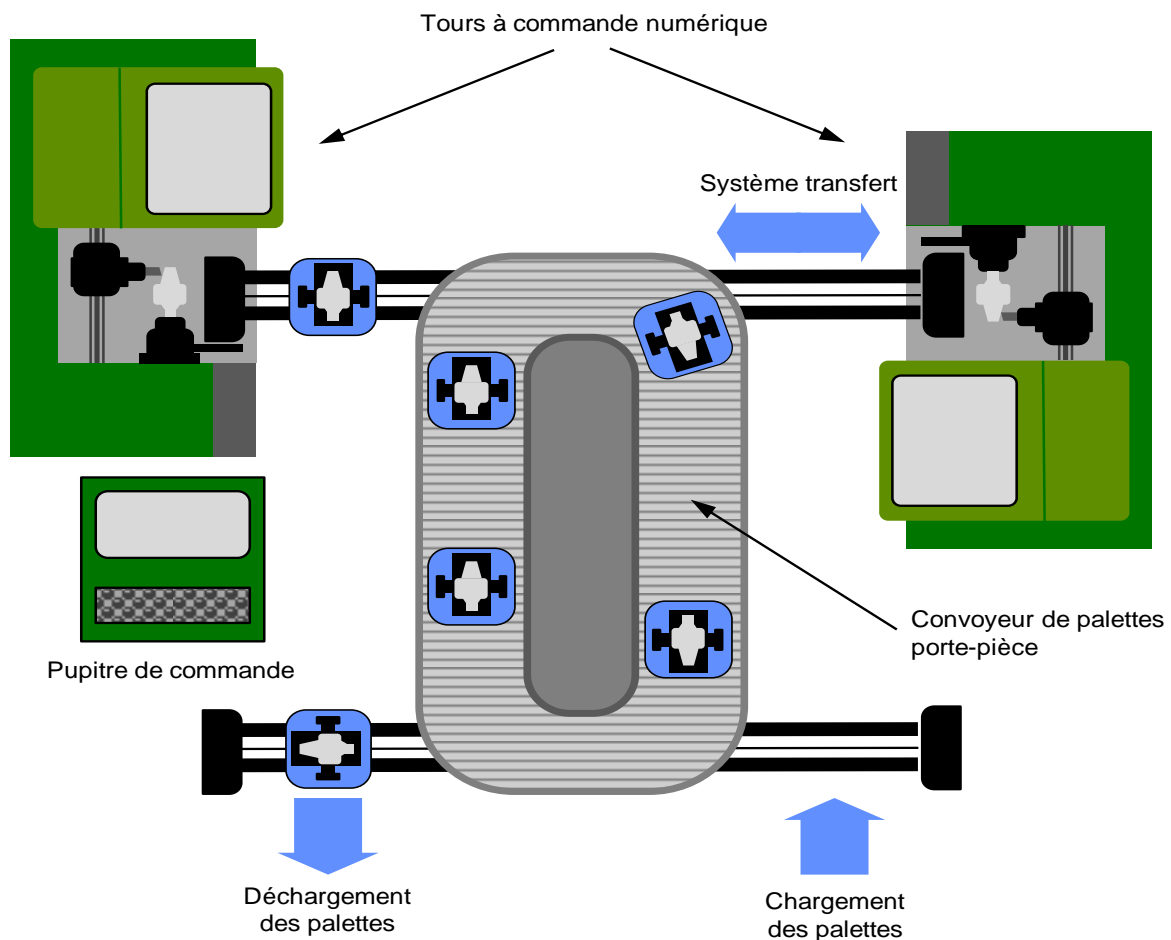
2. La maîtrise de l'espace et du temps dans l'atelier

Plus que la simple disposition des machines ou systèmes, la maîtrise de l'espace recouvre la façon dont sont regroupées dans les ateliers les opérations de fabrication. Faut-il regrouper localement des opérations identiques à effectuer sur des produits différents ? Ou, au contraire, faut-il regrouper localement les différentes opérations nécessaires à la fabrication d'un même produit ?

Quant à la maîtrise du temps, elle a déjà été abordé au chapitre 4 lors de la présentation de l'architecture d'un système productique et de ses cinq niveaux : c'est la distinction entre temps réel et temps différé.

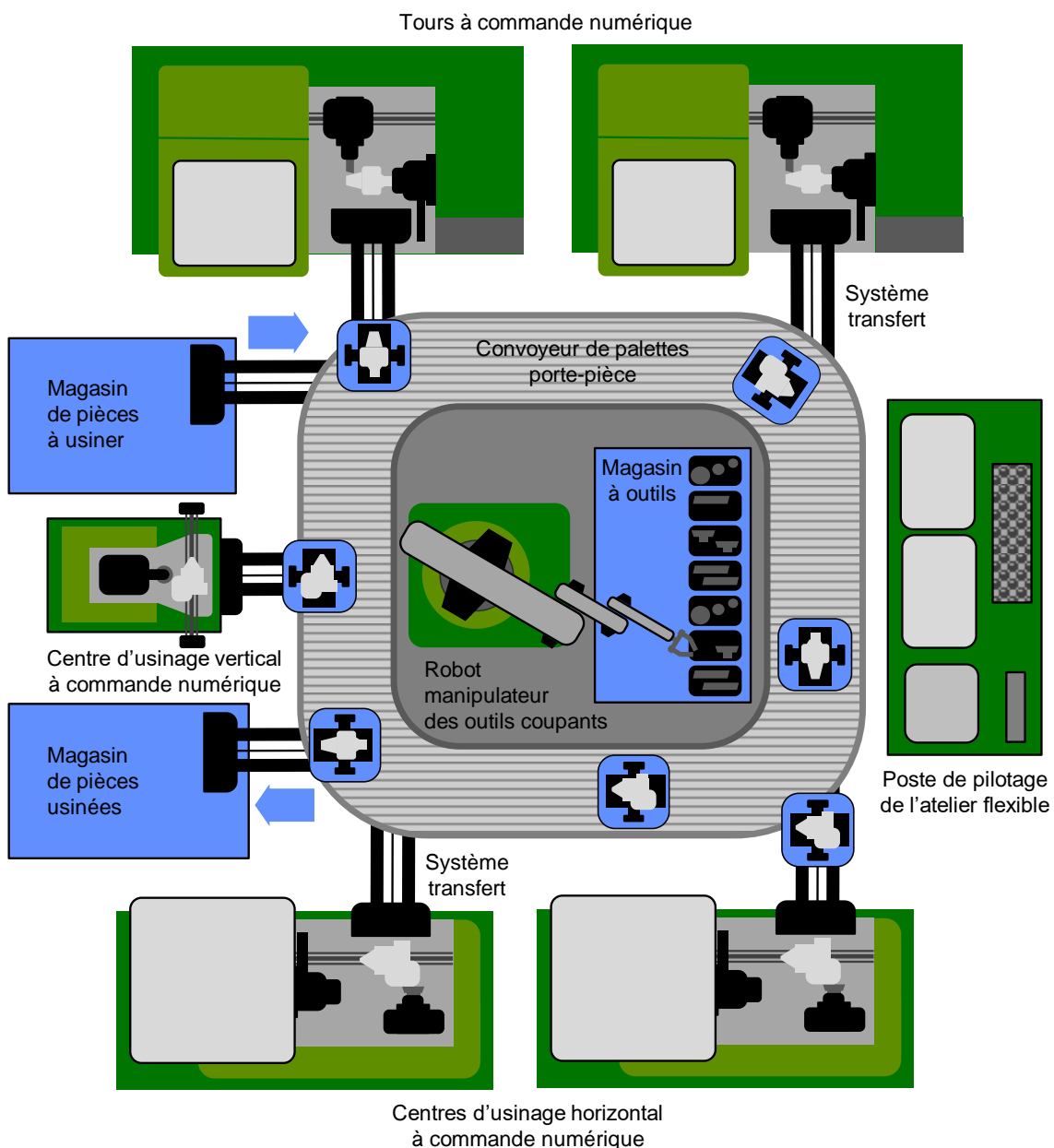
2.1. La maîtrise de l'espace : sections homogènes / hétérogènes

Historiquement l'organisation physique des ateliers étaient basée sur le regroupement des machines par type : atelier de tournage, atelier de fraisage, etc. Cette organisation est dite en **sections homogènes**. Elle se justifie encore lorsque l'influence du parcours de la pièce sur son prix est peu importante.



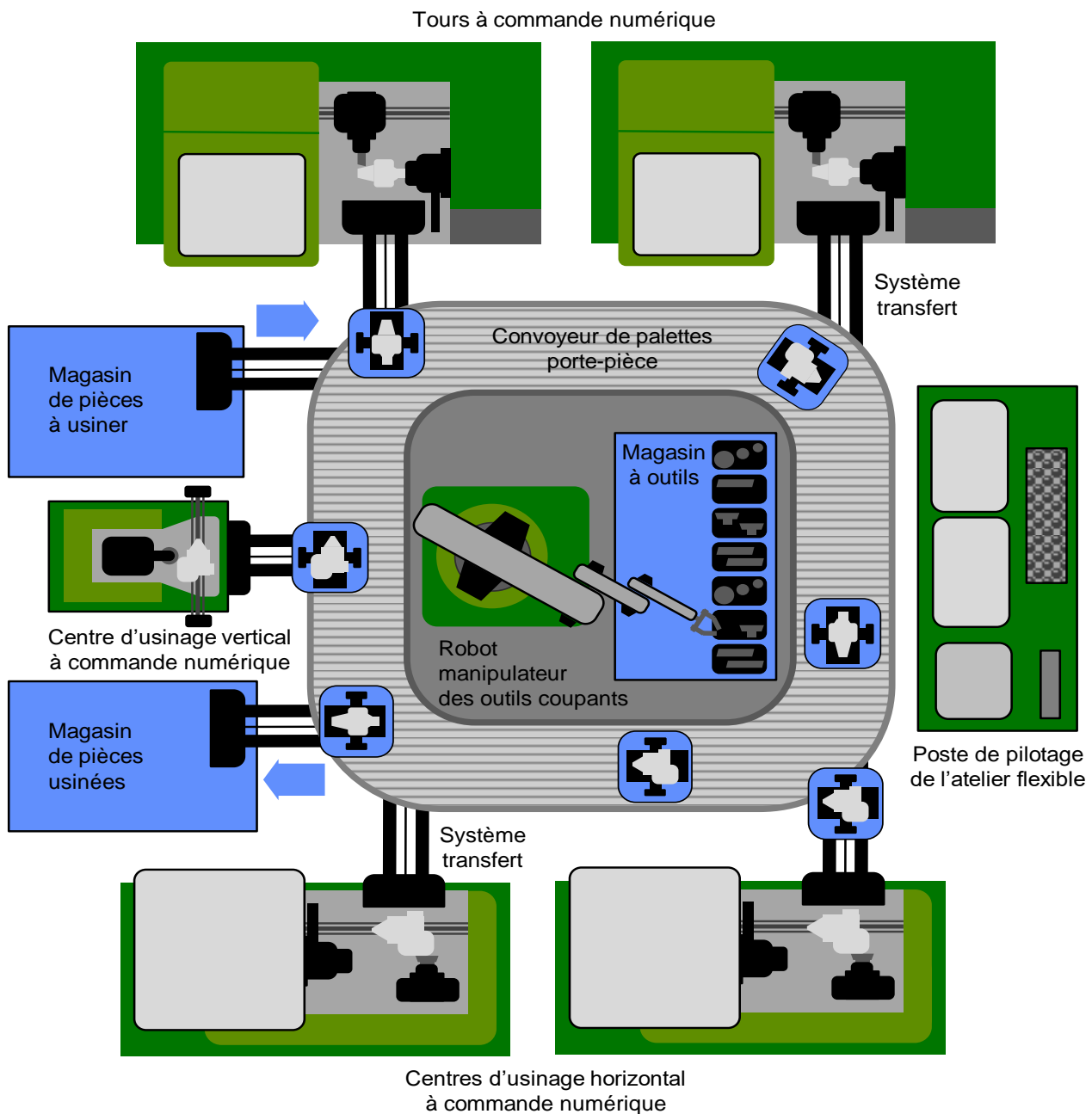
Ce premier type d'organisation s'illustre sur le schéma ci-dessus qui montre un regroupement de deux tours identiques alimentés par le même système de transfert et de convoyage des palettes porte-pièce.

Apparaît dans le schéma précédent un système de transfert et de convoyage qui alimente les deux tours en pièces à usiner et évacue les pièces usinées sur leurs palettes. Que se passe-t-il si l'un des tours est remplacé, par exemple, par une fraiseuse ? On passe alors d'une section homogène à une section hétérogène de fabrication ; et ce faisant, on se s'approche, de l'ilot flexible, voire de l'atelier flexible d'usinage. Car aujourd'hui, ce type d'organisation en sections homogènes tend à disparaître au profit d'organisations en **section hétérogène** beaucoup plus flexibles. Ce sont des organisations des organisations qui regroupent localement des machines de types différents ; des organisations non plus dédiées à la fabrication en grande quantité de produits identiques, mais conçues pour fabriquer des produits différents selon des demandes-clients diversifiées : on parle lors d'atelier flexible. Le schéma suivant présente un exemple de ce type d'organisation des postes de travail en section hétérogène ; un exemple qui commence à ressembler à un atelier flexible d'usinage dont un exemple sera décrit en 3.1.



Cet atelier flexible d'usinage comporte :

- un premier ensemble de deux tours identiques à commande numérique,
- un second ensemble de deux centres d'usinage vertical identiques à commande numérique,
- un unique centre d'usinage horizontal également à commande numérique,
- un magasin et un robot de distribution des outil coupants,
- deux magasins de pièces à usiner en entrée et de pièces usinées en sortie.

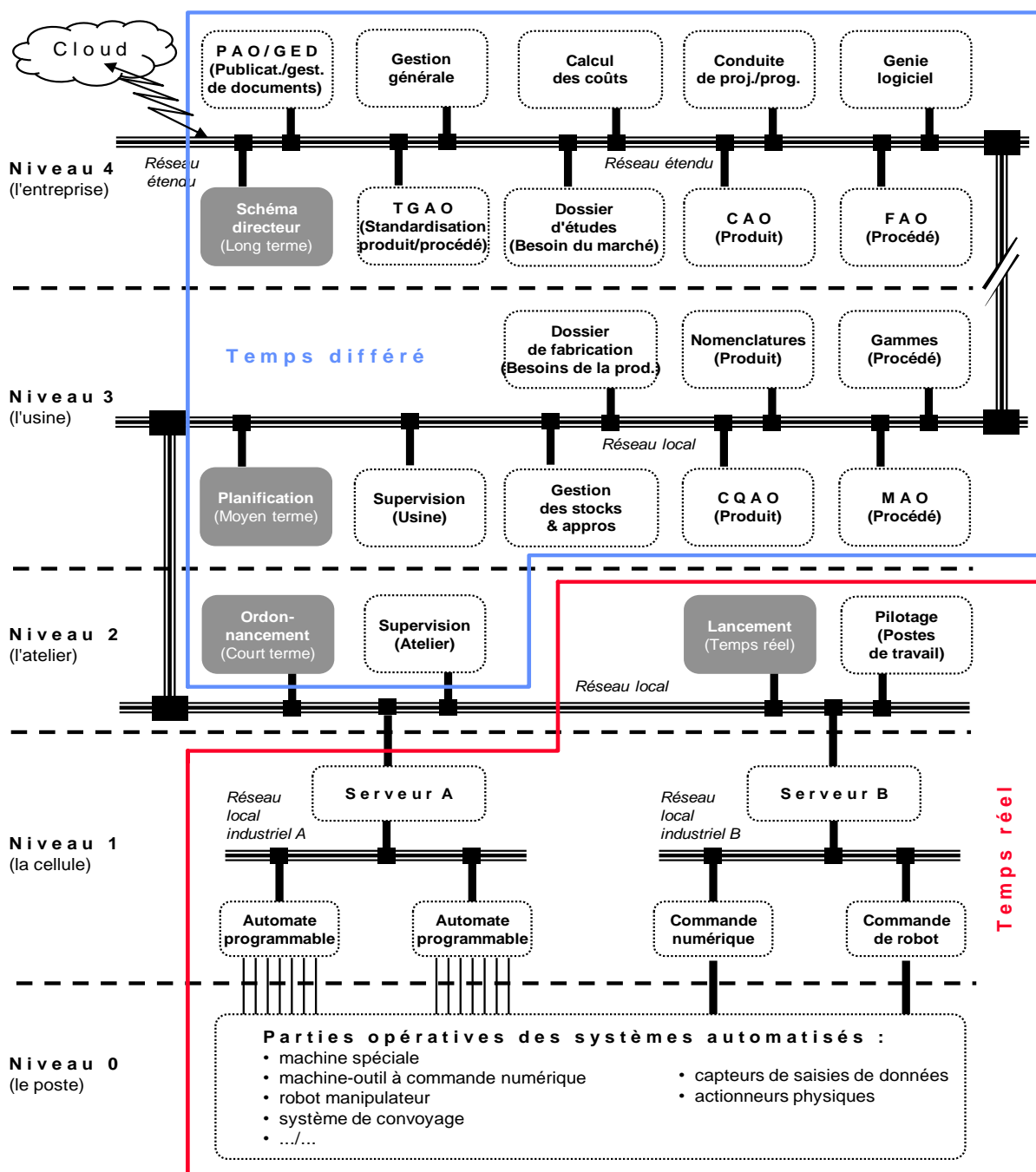


Ainsi regroupées en un même lieu, ces différentes machines-outils à commande numérique constituent ensemble un très bon exemple d'atelier flexible.

Cependant, chaque entreprise ayant ses caractéristiques propres, il n'existe pas de configuration universelle. Pour chaque cas, on essaie de limiter les temps improductifs, de simplifier les flux de matières, de composants et de produits en cours de fabrication ; on s'efforce d'organiser ces flux de manière à en réduire le nombre, à limiter les distances parcourues et à limiter plus encore le nombre de reprises et de manutentions.

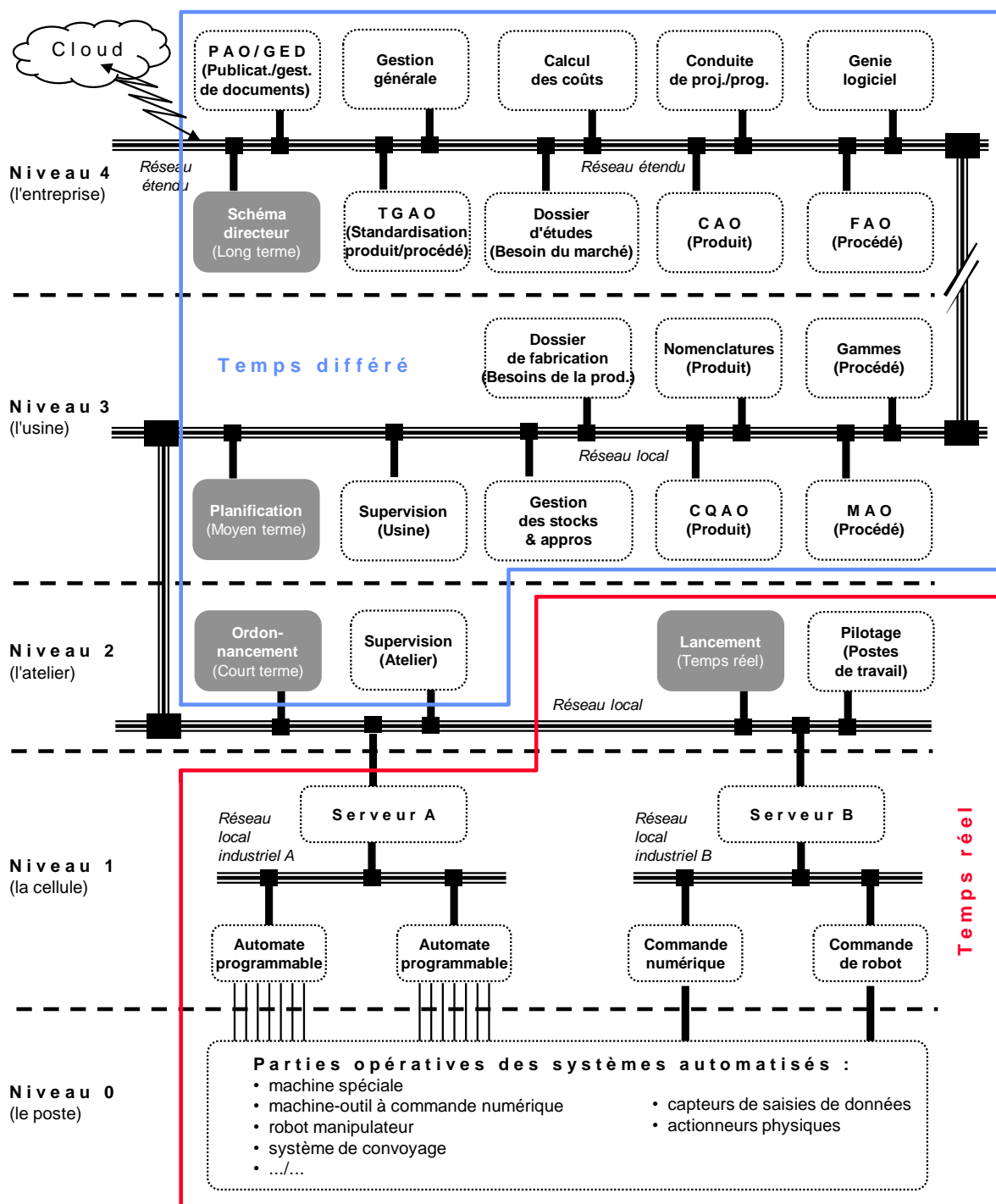
2.2. La maîtrise du temps : différé / réel (long, moyen et court terme)

Repris du chapitre 4, le schéma ci-dessous fait apparaître, en fonction du temps, deux grands domaines d'action pour conduire ou piloter le système de production. Certaines actions sont en effet conduites **en temps différé** et d'autres actions le sont **en temps réel**.



En temps différé, c'est, par exemple, le cas de la double conception du produit et du procédé au niveau le plus haut et de la planification des fabrications. Et en temps réel, c'est singulièrement le cas des gestes physiques de fabrication. Plus précisément, le **domaine du temps différé** se répartit sur les 3 niveaux les plus élevés de l'architecture. Ce sont ceux sur lesquels s'élaborent :

- le **schéma directeur** de la production à long terme au niveau 4,
- la **planification** de la production à moyen terme au niveau 3,
- l'**ordonnancement** de la production à court terme au niveau 2 (en partie).



Quant au **domaine du temps réel**, il se répartit sur les 3 niveaux les moins élevés de l'architecture. Ce sont ceux sur lesquels s'effectuent :

- le **pilotage des postes de travail** dans l'atelier au niveau 2 (en partie),
- la **commande des opérations de fabrication** sur chaque poste au niveau 1,
- l'**exécution des gestes physiques** sur l'objet fabriqué au niveau 0.

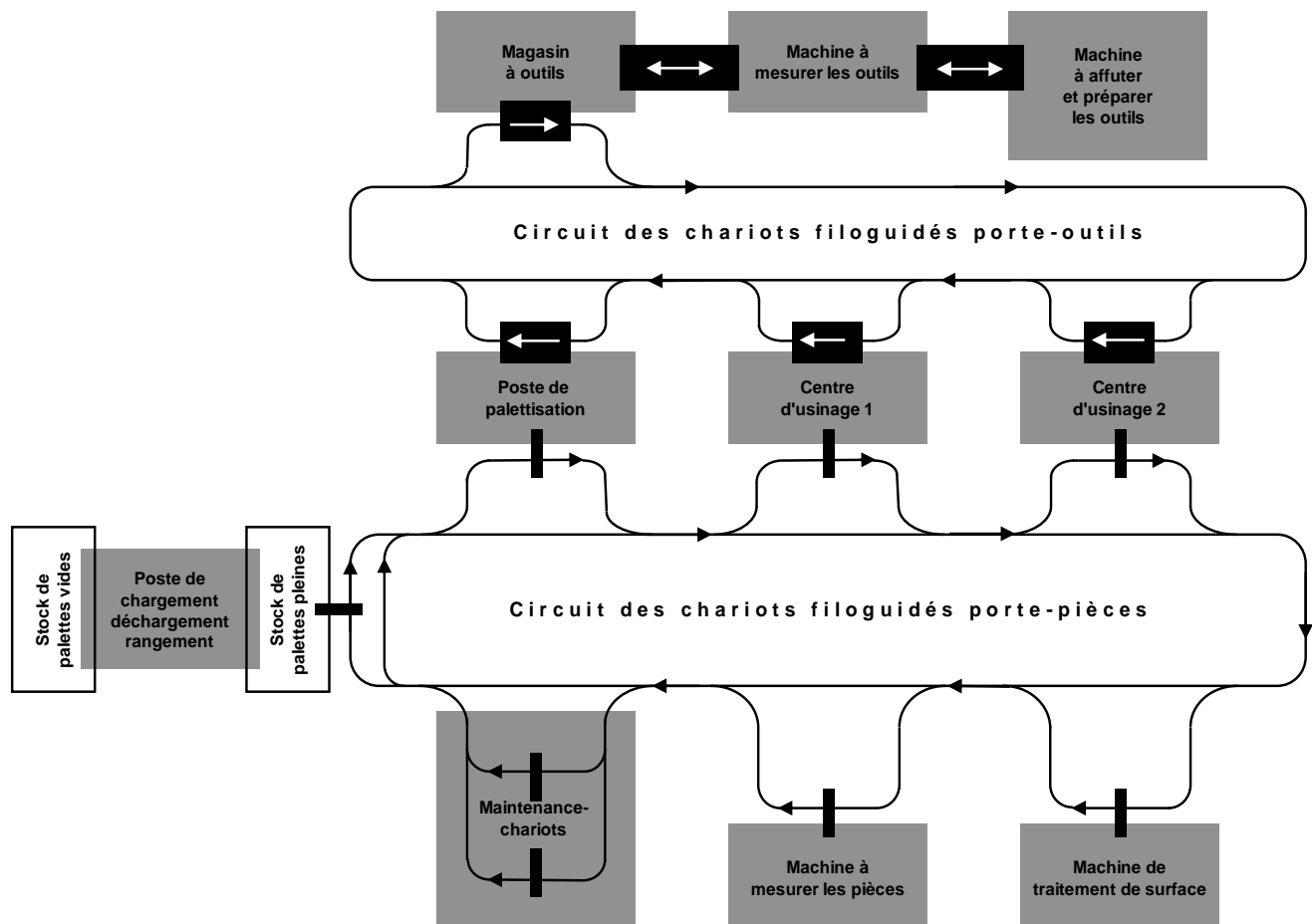
3. Ateliers automatisés à pilotage centralisé ou réparti

Après l'espace et le temps, il est un troisième paramètre lui aussi surdéterminant mais pas seulement dans l'implantation des machines ou des systèmes dans l'atelier. Il s'agit du mode de pilotage : l'atelier est-il piloté en mode centralisé ou en mode réparti ? Au travers d'une illustration de chacun de ces deux modes, il s'agit d'en bien comprendre le sens et d'en approcher les vertus.

3.1. Exemple d'un atelier automatisé à pilotage centralisé (usinage)

Il s'agit d'un **atelier flexible d'usinage à transfert asservi**, destiné à produire n'importe quelle pièce mécanique en aluminium et pouvant entrer dans un cube de 50 cm de côté.

- Les pièces à usiner sont transportées, par exemple d'un centre d'usinage à l'autre, par des chariots filoguidés capables de suivre un itinéraire matérialisé par un fil fixé sur le sol.
- Les outils sont également transportés par un second circuit de chariots filoguidés des postes d'usinage vers le magasin à outils pour être mesurés et affûtés avant d'être remis à la disposition de l'atelier.
- Les pièces usinées ou à usiner sont rangées sur des palettes dont le chargement et le déchargement sont assurés par un robot de manipulateur.



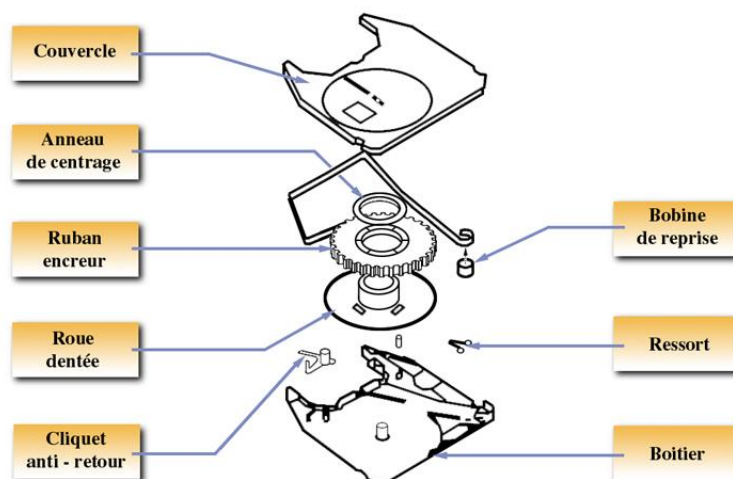
Le pilotage d'un tel atelier suppose un système de supervision capable de coordonner des opérations très différentes de positionnement, d'usinage, d'affûtage, de mesure et de rectification effectuées sur des machines différentes ; des opérations réalisées soit sur des pièces, soit sur des outils. De plus, pour assurer la flexibilité de l'atelier, cette coordination d'opérations doit pouvoir s'effectuer selon des scénarii très différents et variables d'un instant à l'autre. On est donc ici dans l'un des cas typiques de systèmes de productique à pilotage centralisé : un ordinateur assurant, tel un « chef d'orchestre », la coordination des commandes des différentes machines, qu'il s'agisse d'une MOCN d'usinage, d'un manipulateur robotisé ou d'un magasin automatique.

3.2. Exemple d'un atelier automatisé à pilotage réparti (assemblage)

Il s'agit ici d'une **ligne flexible d'assemblage à transfert libre** destinée à produire, à partir des composants de leurs nomenclatures respectives et au rythme de 800 unités par heure, des modèles différents de cassettes de ruban encreur pour machines à écrire ou imprimantes.

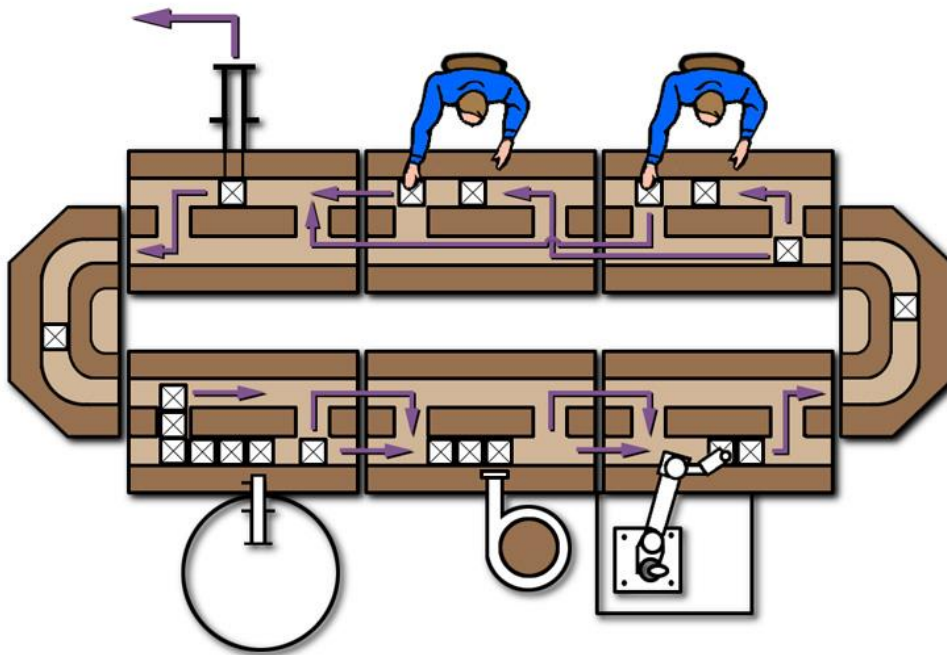
Un produit à assembler

Dans l'exemple décrit, la cassette à fabriquer comporte une dizaine d'éléments constitutifs : boîtier, ruban, axe, anneau de positionnement, galet, cliquet anti-retour, etc. Ces différents composants doivent être assemblés dans un ordre évidemment bien précis.



Au terme de son assemblage et avant que ne soit posé le couvercle du boîtier, chaque cassette fait l'objet d'un contrôle de conformité en vue de vérifier la présence et le positionnement des composants dans le boîtier. Puis, une par une, les cassettes quittent la ligne d'assemblage, au rythme de 800 unités à l'heure, pour être emballées en vue de leur expédition.

Une ligne flexible d'assemblage



Cette ligne flexible d'assemblage à transfert libre est composée de postes de travail assurant des opérations effectuées :

- par des systèmes de positionnement (ex. : mise en place du boîtier sur le chariot-porte-pièce),
- par des robots (ex. : pose du rouleau de ruban encreur),
- par des automatismes spécifiques (ex. : insertion d'un axe),
- manuellement (ex. : pose très délicate du cliquet anti-retour),
- par des manipulateurs (ex. : évacuation des cassettes assemblées).

La position des postes sur la ligne est indépendante de l'ordre selon lequel doit s'effectuer l'assemblage des composants. Fermée sur elle-même selon une boucle, la ligne présente deux voies parallèles de transfert sur lesquelles circulent des chariots portant chacun une cassette à des stades différents de leur assemblage. Ces deux voies résultent de la juxtaposition des postes de travail ; elles sont, pour les chariots, à la fois des voies d'acheminement et des zones de stockage.

La voie intérieure sert à aller d'un poste quelconque à un autre poste ; elle permet aux chariots d'aller du poste où s'effectue l'opération [n] à celui où s'effectue l'opération [n+1]. Et la voie extérieure est celle sur laquelle, à un poste donné, le chariot s'arrête pour que soit effectuée l'opération d'assemblage correspondante.

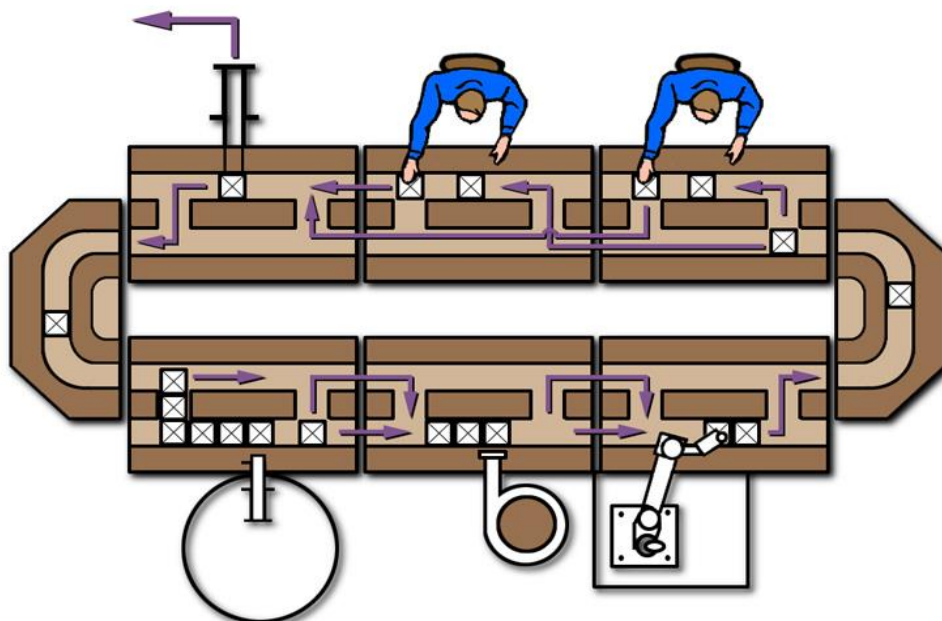
Pour ce faire, chaque chariot porte une « ardoise électronique » sur laquelle sont inscrites et mises à jour, après chaque opération, les informations nécessaires à sa progression de poste en poste ; et ce, jusqu'à la fin de l'assemblage. Chaque poste reçoit donc du chariot présent les informations nécessaires à la tâche qui lui est assignée et émet, en direction de ce même chariot, celles résultant de la tâche qu'il vient d'effectuer. Chaque poste est donc piloté individuellement par sa propre commande : **il n'y a pas de pilotage centralisé, mais un pilotage réparti** de l'ensemble sur chacun des postes.

Ainsi, certains éléments constitutifs des postes de travail sont les mêmes pour tous les postes :

- le système-transfert,
- la puissance,
- la logique de commande,
- le système de contrôle,
- etc.

D'autres éléments constitutifs des postes varient selon l'opérations effectuée sur le poste :

- un robot,
- un manipulateur,
- un système de positionnement,
- une opération faite à la main,
- etc.



Ce qui fondamentalement caractérise le concept de ligne flexible à transfert libre, ce sont les trois propriétés qui caractérisent de la même façon chacun des postes. Ces trois propriétés sont les suivantes :

- du point de vue dynamique, la **modularité** :
chaque poste peut être enlevé ou rajouté sur la ligne ;
- du point de vue temporel, l'**asynchronisme** :
chaque poste est indépendant des autres postes sur la ligne ;
- du point de vue spatial, l'**adressabilité** :
chaque poste dispose de son propre système de commande.

En d'autres termes, **sur une ligne flexible à transfert libre, la position des postes dans l'espace est indépendante de l'ordre des opérations dans le temps** ; ou encore, la topologie est indépendante de la chronologie¹.

¹ Pour reprendre les termes du paragraphe 2 du présent chapitre, la maîtrise de l'espace se fait en totale indépendance de celle du temps.

Conclusion

Le présent chapitre est le premier, cela a été dit en introduction, à ne retenir du système de production que l'atelier de fabrication. Ce chapitre ne s'est donc intéressé qu'à ce qui se passe dans l'atelier ; là où des systèmes automatisés exécutent les gestes fabricants.

Et pourtant ce chapitre se termine sur trois notions absolument fondamentales. Il le fait sur l'exemple d'un atelier flexible d'assemblage à pilotage réparti. Selon le point de vue adopté, c'est l'une ou l'autre de ces trois notions qui s'impose pour caractériser chacun des postes de travail de cette ligne flexible d'assemblage à transfert libre : la modularité d'un point de vue dynamique, l'asynchronisme d'un point de vue temporel et l'adressabilité d'un point de vue spatial.

Au moment de conclure ce chapitre, on ne pouvait que souligner le caractère éminemment fondamental de telles notions qui renvoient, en physique, aux trois composantes de l'action : la force, le temps et l'espace.
