

# MapReduce, premiers pas

[PRÉCÉDENT](#) | [SUIVANT](#) | [INDEX](#)

## MapReduce, premiers pas

### Liens utiles (voire indispensables)

- [Le cours RCP216 sur la fouille et de la visualisation de données massives](#). Complémentaire au cours NFE204, RCP216 aborde beaucoup plus en détails les calculs distribués (dont le modèle MapReduce fait partie) en général, et la fouille de données à grande échelle en particulier. Lecture très fortement recommandée pour développer l'introduction du présent chapitre.

Nous abordons maintenant un processus plus complet pour le traitement d'une collection, que nous allons appeler *chaîne de traitement* par traduction de « *data processing pipelines* » (ou simplement *workflow*). Le principe général est de soumettre chaque document d'une collection à une séquence d'opérations, comme par exemple:

- un *filtrage*, en ne gardant le document que s'il satisfait certains critères;
- une *restructuration*, en changeant la forme du document;
- une *annotation*, par ajout au document de propriétés calculées;
- un *regroupement* avec d'autres documents sur certains critères;
- des *opérations d'agrégation* sur des groupes de documents.

Une chaîne de traitement permet *entre autres* de calculer des agrégations, comme le `group by` de SQL. Leur pouvoir d'expression va au-delà, notamment par la possibilité d'ajouter en cours de route des attributs calculés, ou de changer complètement la structure des informations manipulées. Enfin, et c'est essentiel, ces chaînes sont conçues pour pouvoir s'exécuter dans un environnement distribué, avec un effet de passage à l'échelle obtenu par la parallélisation.

La spécification d'une chaîne de traitement s'appuie sur un paradigme nommé MapReduce que nous rencontrerons de manière récurrente. Ce chapitre propose une présentation détaillée du principe de calcul MapReduce, et une illustration pratique avec deux systèmes: MongoDB et CouchDB. MapReduce n'est vraiment intéressant que dans un contexte distribué: cet aspect sera abordé en profondeur dans le chapitre [Calcul distribué: Hadoop et MapReduce](#). Nous nous en tenons (à l'exception d'une présentation intuitive dans la première session) au contexte centralisé (un seul serveur) dans ce qui suit, ce qui permet de se familiariser avec les concepts et la pratique dans un cadre simple.

### S1: MapReduce démystifié

#### Supports complémentaires:

- [Présentation: MapReduce expliqué avec les mains](#)
- [Vidéo présentant MapReduce](#)

Commençons par expliquer que MapReduce, en tant que modèle de calcul, ce n'est pas grand chose! Cette section propose une découverte « avec les mains », en étudiant comment cuisiner quelques recettes simples avec un robot MapReduce. La fin de la section récapitule en termes plus informatiques.

#### Un jus de pomme MapReduce

Ecartons-nous de l'informatique pour quelques moments. Cela nous laisse un peu de temps pour faire un bon jus de pomme. Vous savez faire du jus de pomme? C'est simple:

- l'épluchage: il faut éplucher les pommes une par une;
- le pressage: on met toutes les pommes dans un presseoir, et on récupère le jus.

Le processus est résumé sur la [Fig. 22](#). Observons le cuisinier. Il a un tas de pomme à gauche, les prend une par une, épluche chaque pomme et place la pomme épluchée dans un tas à droite. Quand toutes les pommes sont épluchées (et pas avant!), on peut commencer la seconde phase.



Ce cours de [Philippe Rigaux](#) est mis à disposition selon les termes de la licence [Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International](#).

#### TABLE DES MATIÈRES

Introduction
Préliminaires: Docker
Modélisation de bases NoSQL
Interrogation de bases NoSQL
MapReduce, premiers pas
S1: MapReduce démystifié
Un jus de pomme MapReduce
Beaucoup de jus de pomme
Jus de fruits MapReduce
Le modèle MapReduce
Concevoir un traitement MapReduce
Les questions à se poser
Un peu de rigueur
Quiz
S2: MapReduce et CouchB
La notion de vue dans CouchDB
Les fonctions Map et Reduce
Mise en pratique
S3: Frameworks MapReduce: MongoDB
Frameworks MapReduce
Mon premier traitement MapReduce/MongoDB
Jointures avec MapReduce
Mise en pratique
Exercices
Cassandra - Travaux Pratiques
MongoDB - Travaux Pratiques
Introduction à la recherche d'information
Recherche d'information : l'indexation
Recherche avec classement
Recherche d'information - TP ElasticSearch
Recherche d'information - TP ElasticSearch : pertinence
Le cloud, une nouvelle machine de calcul
Systèmes NoSQL: la réPLICATION
Systèmes NoSQL: le partitionnement
Calcul distribué: Hadoop et MapReduce
Traitement de données massives avec Apache Spark

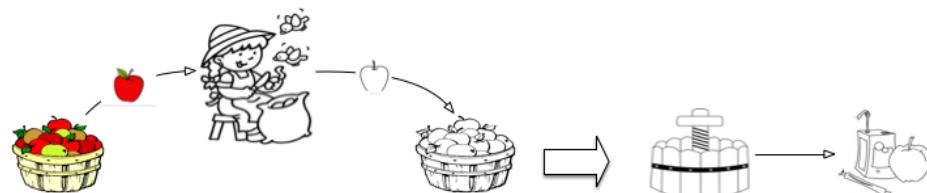


Fig. 22 Les deux phases de la confection de jus de pomme

Comme notre but est de commencer à le formaliser en un modèle que nous appellerons à la fin *MapReduce*, nous distinguons précisément la frontière entre les deux phases, et les tâches effectuées de chaque côté.

- À gauche, nous avons donc *l'atelier de transformation*: il consiste en un agent, l'éplucheur, qui prend une pomme dans son panier à gauche, produit une pomme épluchée dans un second panier à droite, et répète la même action jusqu'à ce que le panier de gauche soit vide.
- À droite nous avons *l'atelier d'assemblage*: on lui confie un tas de pommes épluchées et il produit du jus de pomme.

Nous pouvons déjà tirer deux leçons sur les caractéristiques essentielles de notre processus élémentaire. La première porte sur l'atelier de transformation qui applique une opération individuelle à chaque produit.

### Leçon 1: l'atelier de transformation est centré sur les pommes

Dans l'atelier de transformation, les pommes sont épluchées *individuellement* et *dans n'importe quel ordre*.

L'éplucheur ne sait pas combien de pommes il a à éplucher, il se contente de piocher dans le panier tant que ce dernier n'est pas vide. De même, il ne sait pas ce que deviennent les pommes épluchées, il se contente de les transmettre au processus général.

La seconde leçon porte sur l'atelier d'assemblage qui, au contraire, applique une transformation aux produits *regroupés*: ici, des tas de pommes.

### Leçon 2: l'atelier d'assemblage est centré sur les tas de pommes

Dans l'atelier d'assemblage, on applique des transformations à des *ensembles* de pommes.

Tout cela est assez élémentaire, voyons si nous pouvons faire mieux en introduisant une première variante. Au lieu de cuire des pommes entières, on préfère les couper au préalable en quartiers. La phase d'épluchage devient une phase d'épluchage/découpage.

Cela ne change pas grand chose, comme le montre la Fig. 23. Au lieu d'avoir deux tas identiques à gauche et à droite avec des pommes, le cuisinier a un tas avec  $p$  pommes à gauche et un autre tas avec  $4p$  quartiers de pommes à droite.

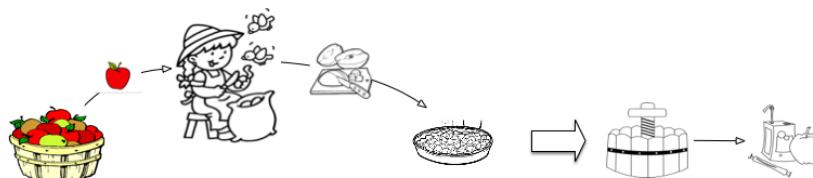


Fig. 23 Avec des quartiers de pomme

Cela nous permet quand même de tirer une troisième leçon.

### Leçon 3: la transformation peut modifier le nombre et la nature des produits

La première phase n'est pas limitée à une transformation un pour un des produits consommés. Elle peut prendre en entrée des produits d'une certaine nature (des pommes), sortir des produits d'une autre nature (des quartiers de pomme épluchées), et il peut n'y avoir aucun rapport fixe entre le nombre de produits en sortie et le nombre de produits en entrées (on peut jeter des pommes pourries, couper une petite pomme en 4 ou en 6, une grosse pomme en 8, etc.)

Nous avons notre premier processus MapReduce, et nous avons identifié ses caractéristiques principales. Il devient possible de montrer comment passer à grande échelle dans la production de jus de pomme, sans changer le processus.

## Beaucoup de jus de pomme

## RECHERCHE

Go

Saisissez un ou plusieurs mots-clés.

Votre jus de pomme est très bon et vous devez en produire beaucoup: une seule personne ne suffit plus à la tâche. Heureusement la méthode employée se généralise facilement à une brigade de  $n$  éplucheurs.

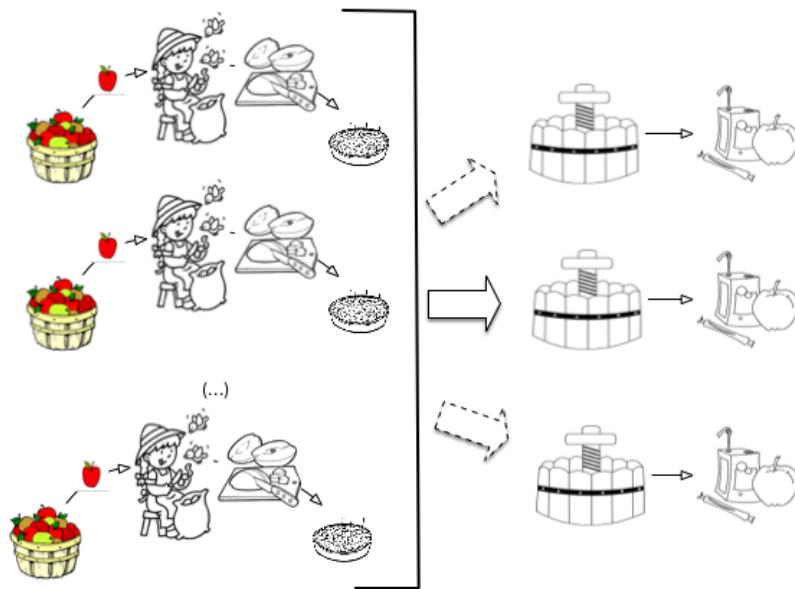
- répartissez votre tas de pommes en  $n$  sous-tas, affectés chacun à un éplucheur;
- chaque éplucheur effectue la tâche d'épluchage/découpage comme précédemment;
- regroupez les quartiers de pomme et pressez-les.

Il se peut qu'un pressoir ne suffise plus: dans ce cas affectez  $c$  pressoirs et répartissez équitablement les quartiers dans chacun. Petit inconvénient: vous obtenez plusieurs fûts de jus de pomme, un par pressoir, avec une qualité éventuellement variable. Ce n'est sans doute pas très grave.

### Important

Notez que cela ne marche que grâce aux caractéristiques identifiées par la leçon N° 1 ci-dessus. Si l'ordre d'épluchage était important par exemple, ce ne serait pas si simple car il faudrait faire attention à ce que l'on confie à chaque éplucheur; *idem* si l'épluchage d'une pomme dépendait de l'épluchage des autres.

La [Fig. 24](#) montre la nouvelle organisation de vos deux ateliers. Dans l'atelier de transformation, vous avez  $n$  éplucheurs qui, chacun, font exactement la même chose qu'avant: ils produisent des tas de quartiers de pomme. Dans l'atelier d'assemblage, vous avez  $r$  pressoirs: un au minimum, 2, 3 ou plus selon les besoins. Attention: il n'y aucune raison d'imposer comme contrainte que le nombre de pressoirs soit égal au nombre de éplucheurs. Vous pourriez avoir un très gros pressoir qui suffit à occuper 10 éplucheurs.



*Fig. 24 Parallélisation de la production de jus de pomme*

*Vous avez parallélisé votre production de jus de pomme. Remarque essentielle: vous n'avez pas besoin de recruter des éplucheurs avec des compétences supérieures à celles de votre atelier artisanal du début. Chaque éplucheur épluche ses pommes et n'a pas besoin de se soucier de ce que font les autres, à quel rythme ils travaillent, etc. Vous n'avez pas non plus besoin d'un matériel nouveau et radicalement plus cher.*

*Vous pouvez même prétendre que la rentabilité économique est préservée. Si un éplucheur épluche 50 Kgs de pomme par jour, 10 éplucheurs (avec le matériel correspondant) produiront 500 Kgs par jour! C'est aussi une question de matériel à affecter au processus: il est clair que si vous n'avez qu'un seul économe (le couteau qui sert à éplucher) ça ne marche pas. Mais si la production de jus de pomme est rentable avec un éplucheur, elle le sera aussi pour 10 avec le matériel correspondant. Nous dirons que le processus est *scalable*, et cela vaut une quatrième leçon.*

### Leçon 4: parallélisation et scalabilité (linéaire)

La production de jus de pomme est parallélisable et proportionnelle aux ressources (humaines et matérielles) affectées.

Votre processus a une seconde caractéristique importante (qui résulte de la remarque déjà faire que les éplucheurs sont indépendants les uns des autres). Si un éplucheur éternue à répétition sur son tas de pomme, s'il épluche mal ou si les quartiers de pomme à la fin de l'épluchage tombent par terre, cela ne remet pas en cause l'ensemble de la production mais seulement la petite partie qui lui était affectée. Il suffit de recommencer cette partie-là. De même, si un pressoir est mal réglé, cela n'affecte pas le jus de pomme préparé dans les autres et les dégâts restent *locaux*.

### Leçon 5: le processus est robuste

Une défaillance affectant la production de jus de pomme n'a qu'un effet *local* et ne remet pas en cause l'*ensemble* de la production.

Les leçons 4 et 5 sont les deux propriétés essentielles de MapReduce, modèle de traitement qui se prête bien à la distribution des tâches. Si on pense en terme de puissance ou d'expressivité, cela reste quand même très limité. Peut-on faire mieux que du jus de pomme? Oui, en adoptant la petite généralisation suivante.

### Jus de fruits MapReduce

Pourquoi se limiter au jus de pomme? Si vous avez une brigade d'éplucheurs de premier plan et des pressoirs efficaces, vous pouvez aussi envisager de produire du jus d'orange, du jus d'ananas, et ainsi de suite. Le processus consistant en une double phase de transformation *individuelle* des ingrédients, puis d'élaboration collective convient tout à fait, à une adaptation près: comme on ne peut pas presser ensemble des oranges et les pommes, *il faut ajouter une étape initiale de tri/regroupement* dans l'atelier d'assemblage.

En revanche, pendant la première phase, on peut soumettre un tas indifférencié de pommes/oranges/ananas à un même éplucheur. L'absence de spécialisation garantit ici une meilleure utilisation de votre brigade, une meilleure adaptation aux commandes, une meilleure réactivité aux incidents (pannes, blessures, cf. exercices).

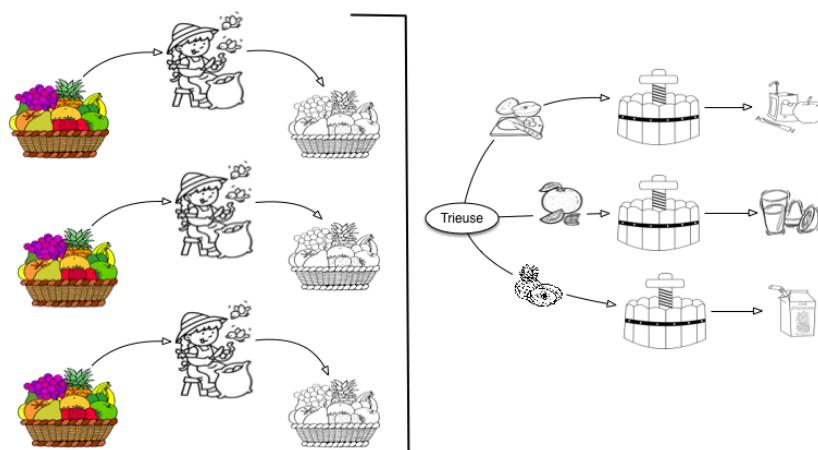


Fig. 25 Production de jus de fruits en parallèle

La Fig. 25 montre une configuration de vos ateliers de production de jus de fruit, avec 4 ateliers de transformation, et 1 atelier d'assemblage.

Résumons: chaque éplucheur a à sa gauche un tas de fruits (pommes, oranges, ananas). Il épluche chaque ingrédient, un par un, et les transmet à l'atelier d'assemblage. Cet atelier d'assemblage comporte maintenant une trieuse qui envoie chaque fruit vers un tas homogène, transmis ensuite à un pressoir dédié. *Le processus reste parallélisable, avec les mêmes propriétés de scalabilité que précédemment.* Nous avons simplement besoin d'une opération supplémentaire.

Une question non triviale en générale est celle du critère de tri et de regroupement. Dans le cas des pommes, oranges et ananas, on peut supposer que l'opérateur fait facilement la distinction visuellement. Pour des cas plus subtils (vous distinguez une variété de pomme *Reinette* d'une *Jonagold*?) il nous faut une méthode plus robuste. Les produits fournis par l'atelier d'assemblage doivent être étiquetés au préalable par l'opérateur de l'atelier de transformation.

### Leçon 6: phase de tri / regroupement, étiquetage

Si les produits doivent être traitées par catégorie, il faut ajouter une phase de tri / regroupement au début de l'atelier d'assemblage. Le tri s'appuie sur une étiquette associée à chaque produit en entrée, indiquant le groupe d'appartenance.

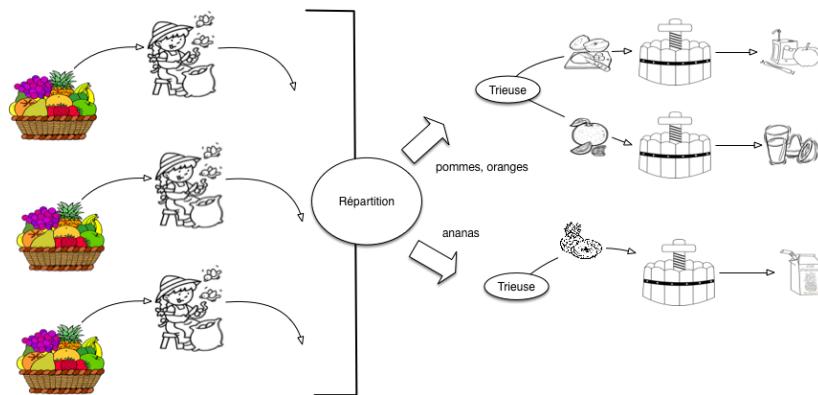
Et finalement, comment faire si nous mettons en place *plusieurs* ateliers d'assemblage? Deux choix sont possibles:

- spécialiser chaque atelier à une ou plusieurs catégories de fruits;
- ne pas spécialiser les ateliers, et simplement répliquer l'organisation de la Fig. 25 où un atelier d'assemblage sait presser tous les types de fruits.

Les deux choix se défendent sans doute (cf. exercices), mais dans le modèle MapReduce, c'est la spécialisation (choix 1) qui s'impose, pour des raisons qui tiennent aux propriétés des méthodes

d'agrégation de données, pas toujours aussi simple que de mélanger deux jus d'oranges.

Dans une configuration avec plusieurs ateliers d'assemblage, chacun est donc spécialisé pour traiter une ou plusieurs catégories. Bien entendu, il faut s'assurer que chaque catégorie est prise en charge par un atelier. C'est le rôle d'une nouvelle machine, le *répartiteur*, illustré par la [Fig. 26](#). Nous avons deux ateliers d'assemblage, le premier prenant en charge les pommes et les oranges, et le second les ananas.



*Fig. 26 Production en parallèle, avec répartition vers des ateliers d'assemblage spécialisés*

C'est fini! Cette fois nous avons une métaphore complète d'un processus MapReduce dans un contexte Cloud/Big Data. Tirons une dernière leçon avant de le reformuler en termes abstraits/informatiques.

### Leçon 7: répartition vers les ateliers d'assemblage

Si nous avons plusieurs ateliers d'assemblage, il faut mettre en place une opération de répartition qui envoie chaque type de fruit vers l'atelier spécialisé. Cette opération doit garantir que chaque type de fruit a son atelier.

On peut envisager de nombreuses variantes qui ne remettent pas en cause le modèle global d'exécution et de traitement. Une réflexion sur ces variantes est proposée en exercice.

## Le modèle MapReduce

Il est temps de prendre un peu de hauteur (?) pour caractériser le modèle MapReduce en termes informatiques.

### Important

Pour l'instant, nous nous concentrerons uniquement sur la compréhension de ce que *spécifie* un traitement MapReduce, et pas sur la manière dont ce traitement est exécuté. Nous savons par ce qui précède qu'il est possible de le paralléliser, mais il est également tout à fait autorisé de l'exécuter sur une seule machine en deux étapes. C'est le scénario que nous adoptons pour l'instant, jusqu'au moment où nous aborderons les calculs distribués dans le chapitre [Calcul distribué: Hadoop et MapReduce](#).

Le principe de MapReduce est ancien et provient de la programmation fonctionnelle. Il se résume ainsi: étant donné une collection *d'items*, on applique à chaque item un processus de transformation individuelle (phase dite « de Map ») qui produit des *valeurs intermédiaires* étiquetées. Ces valeurs intermédiaires sont regroupées par étiquette et soumises à une fonction d'assemblage (on parlera plus volontiers d'agrégation en informatique) appliquée à chaque groupe (phase dite « de Reduce »). La phase de Map correspond à notre atelier de transformation, la phase de Reduce à notre atelier d'assemblage.

Reprendons le modèle dans le détail.

### Notion d'item en entrée (document)

Un *item d'entrée* est une valeur quelconque apte à être soumise à la fonction de transformation. Dans tout ce qui suit, nos items d'entrée seront des *documents structurés*.

Dans notre exemple culinaire, les items d'entrées sont les fruits « bruts »: pommes, oranges, ananas, etc. La transformation appliquée aux items est représentée par une fonction de Map.

### Notion de fonction de Map

La fonction de Map, notée  $F_{map}$  est appliquée à chaque item de la collection, et produit zéro, une ou plusieurs valeurs dites « intermédiaires », placées dans un *accumulateur*.

Dans notre exemple,  $F_{map}$  est l'épluchage. Pour un même fruit, on produit plusieurs valeurs (les quartiers), voire aucune si le fruit est pourri. L'accumulateur est le tas à droite du cuisinier.

Il est souvent nécessaire de *partitionner* les valeurs produites par le *map* en plusieurs groupes. Il suffit de modifier la fonction  $F_{map}$  pour qu'elle émette non plus une valeur, mais associe chaque valeur au groupe

auquel elle appartient.  $F_{map}$  produit, pour chaque item, une paire  $(k, v)$ , où  $k$  est l'identifiant du groupe et  $v$  la valeur à placer dans le groupe. L'identifiant du groupe est déterminé à partir de l'item traité (c'est ce que nous avons informellement appelé « étiquette » dans la présentation de l'exemple.)

Dans le modèle MapReduce, on appelle *paire intermédiaire* les données produites par la phase de Map.

### Notion de paire intermédiaire

Une paire intermédiaire est produite par la fonction de Map; elle est de la forme  $(k, v)$  où  $k$  est l'identifiant (ou clé) d'un groupe et  $v$  la valeur extraite de l'item d'entrée par  $F_{map}$ .

Pour notre exemple culinaire, il y a trois groupes, et donc trois identifiants possibles: pomme, orange, ananas.

À l'issue de la phase de Map, on dispose donc d'un ensemble de paires intermédiaires. Chaque paire étant caractérisée par l'identifiant d'un groupe, on peut constituer les groupes par regroupement sur la valeur de l'identifiant. On obtient des *groupes intermédiaires*.

### Notion de groupe intermédiaire

Un *groupe intermédiaire* est l'ensemble des valeurs intermédiaires associées à une même valeur de clé.

Nous aurons donc le groupe des quartiers de pomme, le groupe des quartiers d'orange, et le groupe des rondelles d'ananas. On entre alors dans la seconde phase, dite de Reduce. La transformation appliquée à chaque groupe est définie par la fonction de Reduce.

### Notion de fonction de Reduce

La fonction de Reduce, notée  $F_{red}$ , est appliquée à chaque groupe intermédiaire et produit une valeur finale. L'ensemble des valeurs finales (une pour chaque groupe) constitue le résultat du traitement MapReduce.

Résumons avec la [Fig. 27](#), et plaçons-nous maintenant dans le cadre de nos bases documentaires. Nous avons une collection de documents  $d_1, d_2, \dots, d_n$ . La fonction  $F_{map}$  produit des paires intermédiaires sous la forme de documents  $d_i^j$ , dont l'identifiant ( $j$ ) désigne le groupe d'appartenance. Notez les doubles flèches: un document en entrée peut engendrer plusieurs documents en sortie du map.  $F_{map}$  place chaque  $d_i^j$  dans un groupe  $G_j, j \in [1, k]$ . Quand la phase de map est terminée (et pas avant!), on peut passer à la phase de reduce qui applique successivement  $F_{red}$  aux documents de chaque groupe. On obtient, pour chaque groupe, une valeur (un document de manière générale)  $v_j$ .

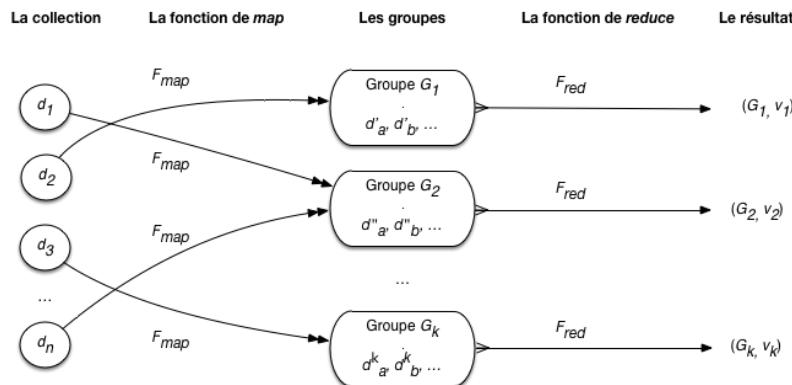


Fig. 27 MapReduce (en centralisé)

Voici pour la théorie. En complément, notons dès maintenant que ce mécanisme a quelques propriétés intéressantes:

- il est *générique* et s'applique à de nombreux problèmes;
- il se *parallélise* très facilement;
- il est assez tolérant aux pannes dans un contexte distribué.

La première propriété doit être fortement relativisée: on ne fait quand même pas grand chose, en termes d'algorithme, avec MapReduce et il ne faut *surtout* par surestimer la capacité de ce modèle de calcul à prendre en charge des traitements complexes.

Cette limitation est compensée par la parallélisation et la tolérance aux pannes. Pour ces derniers aspects, il est important que chaque document soit traité *indépendamment* du contexte. Concrètement, l'application de  $F_{map}$  à un document  $d$  doit donner un résultat qui ne dépend ni de la position de  $d$  dans la collection, ni de ce qui s'est passé avant ou après dans la chaîne de traitement, ni de la machine ou du système, etc. En pratique, cela signifie que la fonction  $F_{map}$  ne conserve pas un état qui pourrait varier et influer sur le résultat produit quand elle est appliquée à  $d$ .

Si cette propriété n'était pas respectée, on ne pourrait pas paralléliser et conserver un résultat invariant. Si  $F_{map}$  dépendait par exemple du système d'exploitation, de l'heure, ou de n'importe quelle variable extérieure au document traité (un état), l'exécution en parallèle aboutirait à des résultats non déterministes.

### Concevoir un traitement MapReduce

Quelques conseils pour finir sur la conception d'un traitement MapReduce. En un mot: c'est très simple, à condition de se poser les bonnes questions et de faire preuve d'un minimum de rigueur.

#### Les questions à se poser

Questions pour la phase de Map:

- Il faut être clair sur la nature des documents que l'on traite en entrée. D'où viennent-ils, quelle est leur structure? Un traitement MapReduce s'applique à un flux de documents, on ne peut rien faire si on ne sait pas en quoi ils consistent.
- Quels sont les groupes que je veux constituer? Combien y en a-t-il? Comment les identifier (valeur de clé identifiant un groupe, l'étiquette)? Comment déterminer le ou les étiquettes d'un ou de plusieurs groupes dans un document en entrée?
- Quelles sont les valeurs intermédiaires que je veux produire à partir d'un document et placer dans des groupes? Comment les produire à partir d'un document?

Ces questions sont nécessaires (et pratiquement suffisantes) pour savoir ce que doit faire la fonction de Map. Pour la fonction de Reduce, c'est encore plus simple:

- Quelle est la nature de lagrégation qui va prendre un groupe et produire une valeur finale?

Et c'est tout, il reste à traduire en termes de programmation.

#### Un peu de rigueur

Un traitement MapReduce se spécifie sous la forme de deux fonctions

- La fonction de Map prend *toujours* en entrée *un* (un seul) document; elle produit *toujours* des paires  $(k, v)$  où  $k$  est l'étiquette (la clé) du groupe et  $v$  la valeur intermédiaire.
- La fonction de Reduce prend *toujours* en entrée une paire  $(k, list(v))$ , où  $k$  est l'étiquette (la clé) du groupe et  $list(v)$  la liste des valeurs du groupe.

Spécifier un traitement, c'est donc *toujours* définir deux fonctions avec les caractéristiques ci-dessus. Le corps de chaque fonction doit indiquer, respectivement:

- comment on produit des paires  $(k, v)$  à partir d'un document (fonction de Map, transformation);
- comment on produit une valeur agrégée  $V$  à partir d'une paire  $(k, list(v))$ .

Pratiques, réfléchissez, vérifiez que vous avez bien compris!

### Quiz

Quelle est l'affirmation *fausse* parmi celles ci-dessous

- Pour un item en entrée, l'atelier de transformation produit exactement un item en sortie
- Pour un item en entrée, l'atelier de transformation peut ne produire aucun item en sortie
- Pour un item en entrée, l'atelier de transformation peut produire plusieurs items en sortie

Nouvel essai|Solution ✓ Correct

Quelle est l'affirmation *correcte* parmi celles ci-dessous

- L'atelier de transformation produit toujours en sortie des items d'une nature (d'un type) différente de ceux en entrée
- L'atelier de transformation produit en sortie des items de même nature que ceux en entrée
- La nature (le type) des items en sortie est indépendant de celle des items en entrée

Nouvel essai|Solution ✓ Correct

Quand commence l'atelier d'assemblage ?

- A. Quand l'atelier de transformation a produit assez d'items pour que ça en vaille la peine
- B. Quand l'atelier de transformation a terminé
- C. L'assemblage est effectué en continu

Nouvel essai Solution ✓ Correct

Quelle propriété permet de paralléliser la production ?

- A. Aucune coordination n'est nécessaire: il suffit d'ajouter des ateliers, toujours identiques, en fonction des besoins
- B. Chaque atelier se sert dans une corbeille d'entrée commune: on est sûr que chaque item sera traité par l'un deux
- C. Tous les ateliers travaillent au même rythme: cela garantit que les transformations termineront en même temps

Nouvel essai Solution ✓ Correct

Quelle propriété permet de garantir que le processus va toujours finir ?

- A. Si un atelier est fiable, tous le seront puisqu'ils sont tous identiques
- B. L'échec éventuel d'un atelier n'affecte pas les autres: il suffit de recommencer la tâche locale
- C. Chaque item en entrée est traité par plusieurs ateliers: on a la garantie presque totale que l'un deux va réussir la transformation

Nouvel essai Solution ✓ Correct

Quelle extension au processus de base permet d'effectuer des regroupements ?

- A. Les items produits par la transformation sont placés dans des conteneurs de taille fixe: chaque conteneur correspond à un groupe
- B. L'atelier d'assemblage analyse les items reçus et les répartit en groupe en fonction de leurs caractéristiques
- C. Les items produits par la transformation sont étiquetés: chaque étiquette correspond à un groupe
- D. Les items en entrée sont répartis sur les ateliers de transformation en fonction de leur type: chaque atelier produit un groupe

Nouvel essai Solution ✓ Correct

Quel est le rôle des ateliers d'assemblage dans le regroupement ?

- A. Chaque atelier peut recevoir n'importe quel groupe
- B. Chaque atelier peut recevoir des items de n'importe quel groupe, et en renvoie certains à d'autres ateliers
- C. Chaque atelier ne reçoit que des items d'un ou plusieurs groupes déterminés

Nouvel essai Solution ✓ Correct

Qu'est-ce qu'une valeur intermédiaire ?

- A. Une valeur extraite d'un document en entrée
- B. Une valeur produite par une fonction de Map
- C. Une valeur conservée en mémoire entre deux appels à la fonction de Map

Nouvel essai Solution ✓ Correct

Qu'est-ce qu'une paire intermédiaire ?

- A. Une valeur intermédiaire et son étiquette (sa clé)
- B. Une paire de valeurs intermédiaires
- C. Une paire constituée d'un item en entrée et de sa valeur transformée

Nouvel essai Solution ✓ Correct

Comment caractériser la fonction de Map ?

- A. Elle prend en entrée un ensemble de documents et produit une paire clé-valeur
- B. Elle prend en entrée un document et produit des paires clé-valeur
- C. Elle prend en entrée un document et produit une valeur intermédiaire

Nouvel essai Solution ✓ Correct

## S2: MapReduce et CouchB

### Supports complémentaires

- [Vidéo présentant la programmation MapReduce avec CouchDB](#)

CouchDB propose un moteur d'exécution MapReduce, avec des fonctions javascript, mais dans un but un peu particulier: celui de créer des collections structurées dérivées par application d'un traitement MapReduce à une collection stockée. De telles collections sont appelées *vues* dans CouchDB. Leur contenu est matérialisé et maintenu incrémentalement.

Cette section introduit la notion de vue CouchDB, mais se concentre surtout sur la définition des fonctions de Map et de Reduce qui est rendue très facile grâce à l'interface graphique de CouchDB. Vous devriez avoir importé la collection des films dans CouchDB dans une base de données *movies*. C'est celle que nous utilisons, comme d'habitude, pour les exemples.

### La notion de vue dans CouchDB

Comme dans beaucoup de systèmes NoSQL, une collection CouchDB n'a pas de schéma et les documents peuvent donc avoir n'importe quelle structure, ce qui ne va pas sans soulever des problèmes potentiels pour les applications. CouchDB répond à ce problème de deux manières: par des fonctions dites de validation, et par la possibilité de créer des vues.

Une vue dans CouchDB est une collection dont les éléments ont la forme (clé, document). Ces éléments sont *calculés* par un traitement MapReduce, stockés (on parle donc de matérialisation, contrairement à ce qui se fait en relationnel), et maintenus en phase avec la collection de départ. Les vues permettent de structurer et d'organiser un contenu.

La définition d'une vue est stockée dans CouchDB sous la forme de documents JSON dits « documents de conception » (*design documents*). Pour tester une nouvelle définition, on peut aussi créer des vues temporaires: c'est ce qui nous intéresse directement, car nous allons pouvoir tester le MapReduce de CouchDB grâce à l'interface de définition de ces vues temporaires.

Accédez à l'interface d'administration de CouchDB à l'URL `_utils`, puis choisissez la base des films (que vous devez avoir chargé au cours d'un exercice précédent). Vous devriez avoir l'affichage de la Fig. 28.

id	key	value
movie:1	movie:1	{"rev": "1-5f458a2ec15e29e..."}
movie:10	movie:10	{"rev": "1-1250ea67082a1b5..."}
movie:11	movie:11	{"rev": "1-47d359f1699c691b..."}
movie:12	movie:12	{"rev": "1-79119593693c6c03..."}
movie:13	movie:13	{"rev": "1-41e0abcbea73054..."}
movie:14	movie:14	{"rev": "1-202a50f356076756..."}
movie:15	movie:15	{"rev": "1-6735380345627145..."}
movie:16	movie:16	{"rev": "1-6da0e6c65ea2c09..."}
movie:17	movie:17	{"rev": "1-441fd727f667c00ab..."}
movie:18	movie:18	{"rev": "1-480df622ae03c29e..."}
movie:19	movie:19	{"rev": "1-eeb0bb603d4fcfd..."}
movie:2	movie:2	{"rev": "1-5f458a2ec15e29e..."}

Fig. 28 La collection *films* vues par l'interface de CouchDB

Dans le menu de gauche, choisissez l'option « New view » dans le menu « Design documents ». Dans le menu déroulant « Reduce », choisissez l'option « Custom » pour indiquer que vous souhaitez définir votre propre fonction de Reduce.

On obtient un formulaire avec deux fenêtres pour, respectivement, les fonctions de Map et de Reduce (Fig. 29).

```

New View
Design Document
Index name: new-view
Map function
1. function(doc) {
2.   emit(doc._id, 1);
3. }
Reduce (optional)
CUSTOM
Custom Reduce function
1. function(keys, values, rereduce) {
2.   if(reduce) {
3.     return sum(values);
4.   } else {
5.     return values.length;
6.   }
7. }

```

Fig. 29 Définition des vues temporaires.

Avant de passer aux fonctions MapReduce, donnez un nom à votre vue dans le champ en haut à droite.

### Les fonctions Map et Reduce

Avec CouchDB, la fonction de Map est obligatoire, contrairement à la fonction de Reduce. La fonction Map par défaut ne fait rien d'autre qu'émettre les documents de la base, avec une clé null.

---

```

function(doc) {
  emit(null, doc);
}

```

---

Toute fonction de Map prend un document en entrée, et appelle la fonction `emit` pour produire des clés intermédiaires. Produisons une première fonction de Map qui produit une vue dont la clé est le titre du document, et la valeur le metteur en scène.

---

```

function(doc)
{
  emit(doc.title, doc.director)
}

```

---

À vous de tester. Vous devriez (en actionnant le bouton « Create and build index ») obtenir l'affichage de la Fig. 30.

key	value
movie:1	John Smith
movie:10	John Smith
movie:11	John Smith
movie:12	John Smith
movie:13	John Smith
movie:14	John Smith
movie:15	John Smith
movie:16	John Smith
movie:17	John Smith
movie:18	John Smith
movie:19	John Smith
movie:2	John Smith
movie:20	John Smith

Fig. 30 Définition et test d'une vue

### Important

Pour être sûr d'activer la fonction de Reduce, cochez la case « Reduce » dans l'interface de CouchDB. Cette case se trouve dans la fenêtre des options (montrée sur la Fig. 30).

Un deuxième exemple: la vue produit la liste des acteurs (c'est la clé), chacun associé au film dans lequel il joue (c'est la valeur). C'est un cas où la fonction de Map émet plusieurs paires intermédiaires.

---

```
function(doc)
{
    for each (actor in doc.actors) {
        emit({"prénom": actor.first_name, "nom": actor.last_name}, doc.title) ;
    }
}
```

---

On peut remarquer que la clé peut être un document composite. À vous de tester cette nouvelle vue. Vous remarquerez sans doute que les documents de la vue sont triés sur la clé. C'est un effet indirect de l'organisation sous forme d'arbre-B, qui repose sur l'ordre des clés indexées. Pour MapReduce, le fait que les paires intermédiaires soient triées facilite les regroupements sur la clé puisque les documents à regrouper sont consécutifs dans la liste.

Vérifiez: cherchez dans la liste des documents de la vue Bruce Willis par exemple. Vous remarquerez qu'il apparaît pour chaque film dans lequel il joue un rôle, et que toutes ces occurrences sont en séquence dans la liste. Pour effectuer ce regroupement, on applique une fonction de Reduce. La voici:

---

```
function (key, values) {
    return values.length;
}
```

---

À vous de continuer en expérimentant l'interface et en étudiant le résultat intermédiaire (sans appliquer de fonction Reduce) puis le résultat final.

## Mise en pratique

### Exercice MEP-S2-1: quelques programmes MapReduce à produire

Outre les commandes de découverte de CouchDB décrites précédemment, voici quelques programmes à produire

- Donnez, pour chaque année, le nombre de films parus cette année-là. Puis donnez pour chaque année la liste des titres de ces films.
- Donnez, pour chaque metteur en scène, la liste des films qu'il a réalisés.

## S3: Frameworks MapReduce: MongoDB

### Supports complémentaires:

- [Présentation: MapReduce et MongoDB](#)
- [Vidéo présentant la programmation MapReduce avec MongoDB](#)

Passons à la pratique, en restant dans un contexte centralisé, avec MongoDB. MongoDB est un des exemples de framework MapReduce. Commençons par une petite discussion sur cette notion de framework avant de passer à la pratique. MongoDB dispose d'un moteur de calcul MapReduce qui est relativement facile à expérimenter. Les fonctions de Map et de Reduce sont codées en javascript, et il est possible de les tester localement sans recourir à une grappe de serveurs et à du *Big Data*. Nous donnons ci-dessus les fonctions complètes et le mode d'emploi: avec un peu d'agilité vous pouvez copier/coller les exemples et les modifier pour vos tests.

### Frameworks MapReduce

La programmation d'un traitement MapReduce requiert l'utilisation d'un environnement de programmation spécialisé (ou *framework*).

Regardez une nouvelle fois la [Fig. 26](#). Elle comprend beaucoup de composants, de mécanismes appliqués successivement aux données transformées, regroupées, distribuées dans un flux complexe. S'il fallait implanter tout cela pour chaque traitement, ce serait extrêmement lourd et peu productif. Dans un framework MapReduce, tout ce qui est générique est pris en charge, et notamment toute l'organisation et la gestion de la répartition des traitements, quand on est dans un contexte distribué. De fait, avec un tel environnement, le programmeur se contente de définir la partie purement *fonctionnelle* du traitement: la fonction de Map,  $F_{map}$ , et la fonction de Reduce,  $F_{red}$ .

### Note

Pour votre culture: la caractérisation d'un *framework* (du moins quand on est attaché à utiliser un vocabulaire précis) est justement celle d'un environnement basé sur un modèle d'exécution pré-défini. Ce modèle applique des fonctions fournies par le développeur qui n'est donc pas en charge du *contrôle* (pris en charge par le *framework*) mais de la *spécification*. On parle *d'inversion de contrôle*, et un exemple typique est fourni par les *frameworks MVC*. Fin de la parenthèse.

Pour reprendre une dernière fois notre métaphore culinaire, c'est comme si vous décidiez de confier à un sous-traitant l'organisation de vos ateliers. Votre seul rôle est de former les cuisiniers qui travaillent dans cet atelier aux tâches « *métier* », celles qui constituent vraiment le cœur de vos compétences.

Un traitement MapReduce repose sur la notion de *fonction de second ordre*. Pas de panique: cela signifie simplement que l'environnement (*framework*) fournit deux fonctions, *map()* et *reduce()*, qui prennent chacune en entrée, respectivement, les fonctions  $F_{map}$  et  $F_{red}$  mentionnées ci-dessus. Ce sont des fonctions qui prennent en argument d'autres fonctions et les appliquent aux données, d'où la notion de « *second-ordre* ».

Quittons la cuisine avec un exemple très simple de calcul: on veut compter le nombre de fruits sains (on rejette les fruits pourris) par type de fruit.

Durant la phase de *Map*, notre opérateur va examiner les fruits un par un, et placer un jeton dans la corbeille à sa droite pour chaque fruit sain: c'est la valeur. Il faut aussi dire pour quel type de fruit on produit cette valeur: c'est la clé.

Il faut fournir ces deux fonctions au *framework*, qui se charge du reste. En MapReduce, la fonction de *Map* est

```
function controleFruit (fruit)
{
    if (fruit.statut != pourri) {
        emit (fruit.type, 1)
    }
}
```

et la fonction de *Reduce*:

```
function compterPomme (typeFruit, groupe)
{
    return <typeFruit, sum(groupe)>
}
```

On a l'équivalent de la requête SQL suivante.

```
select count(*) from Fruits group by type
```

MapReduce s'apparente au *group by* dans le mécanisme de calcul, mais la possibilité d'appliquer des fonctions quelconques, et celle de restructurer complètement les données pendant la phase de *map*, le rendent beaucoup plus puissant. En contrepartie, ce n'est pas un *langage de requête*, mais une méthode de spécification de traitements distribués qui évite au programmeur de prendre en charge les aspects « *parallélisme* » et « *distribution* ».

#### Note

Une fonction de *Map* « émet » des paires intermédiaires. Cette notion « d'émission » (au lieu du traditionnel *return*) suggère le fonctionnement distribué du système: la paire intermédiaire est transmise au *framework* qui se charge de la router vers le destinataire adéquat.

## Mon premier traitement MapReduce/MongoDB

Nous allons produire un document par réalisateur, avec la liste des films qu'il/elle a réalisé. Conceptuellement, nous créons un groupe par réalisateur, plaçons dans ce groupe les films pendant la phase de *map* et construisons le document final dans la phase de *reduce*.

La spécification consiste à définir les deux fonctions à appliquer ( $F_{map}$  et  $F_{red}$ ). Voici la fonction de *map*.

```
var mapRealisateur = function() {
    emit(this.director._id, this.title);
};
```

En javascript, les fonctions peuvent se stocker dans des variables. L'instruction *emit* produit une paire (clé, valeur), constituée ici de l'identifiant du réalisateur, et du titre du film. Notez que la fonction ne prend aucun argument: implicitement, elle dispose comme contexte du document auquel elle s'applique, désigné par *this*. Et c'est tout.

Voici la fonction de *reduce*.

---

```
var reduceRealisateur = function(directorId, titres) {
    var res = new Object();
    res.director = directorId;
    res.films = titres;
    return res;
};
```

---

Une fonction de *reduce* prend deux arguments: l'identifiant du groupe auquel elle s'applique (ici, `directorId`) et la liste (un tableau en javascript) des valeurs produites par le *map*.

Dans notre exemple, nous construisons la valeur de résultat comme un objet `res` auquel on affecte deux propriétés: `director` et `titres`.

#### Note

Le code donné ici correspond à une mise en œuvre des principes standards de MapReduce, ceux qu'ils faut comprendre et connaître. C'est celui rencontré en pratique dans les systèmes comme Hadoop, Spark ou Flink.

MongoDB présente quelques spécificités qu'il est inutile de mémoriser tant que vous n'avez pas à utiliser ce système au-delà d'une formation. En particulier,

- les fonctions Map et Reduce devraient retourner le même type de données pour fonctionner en toutes circonstances.
- la fonction de Reduce n'est pas appelée pour les valeurs de clés qui ne sont pas associées à plusieurs valeurs. [Lire](#)

<https://docs.mongodb.com/manual/reference/command/mapReduce/#mapreduce-reduce-cmd>

À l'échelle à laquelle nous travaillons, vous pouvez ignorer ces spécificités et vous concentrer sur le principe du fonctionnement.

Il ne reste plus qu'à lancer un traitement, avec la fonction `mapReduce` sur la collection `movies`. Voici la syntaxe.

---

```
db.movies.mapReduce(mapRealisateur, reduceRealisateur, {out: {"inline": 1}})
```

---

Le premier paramètre est la fonction de *map*, le second la fonction de *reduce*, et le troisième indique la sortie, ici l'écran.

À ce stade vous brûlez sans doute d'envie de tester cette exécution. Allez-y: vous devriez obtenir, pour chaque groupe, un résultat de la forme suivante.

---

```
{  
    "_id" : "artist:3",  
    "value" : {  
        "director" : "artist:3",  
        "films" : [  
            "Vertigo",  
            "Psychose",  
            "Les oiseaux",  
            "Pas de printemps pour Marnie",  
            "Fenêtre sur cour",  
            "La mort aux trousses"  
        ]  
    }  
}
```

---

Devinez de quel réalisateur il s'agit? Ici, ça se devine (?), mais en général on aimerait bien disposer au moins du nom. Reportez-vous aux exercices.

MongoDB propose plusieurs options pour l'exécution d'un traitement MapReduce. La plus utile (et la plus générale, présente dans tous les systèmes) consiste à prendre en entrée non pas une collection entière, mais le résultat d'une requête. On passe pour cela un objet `query` dans le document-paramètre en troisième position. Voici un exemple.

---

```
db.movies.mapReduce(mapRealisateur, reduceRealisateur,  
    {out: {"inline": 1}, query: {"country": "USA"}})
```

---

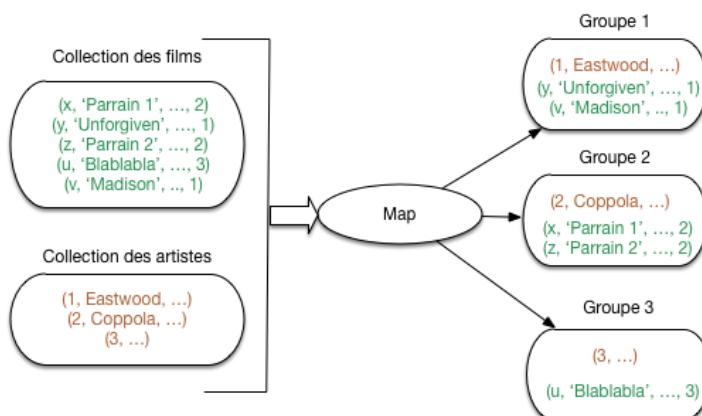
Une autre possibilité intéressante est le calcul *incrémental* d'un traitement MapReduce. En bref, on peut stocker le résultat dans une nouvelle collection, et mettre à jour cette collection, sans avoir à tout recalculer, quand de nouveaux documents apparaissent dans la collection en entrée. Il s'agit d'une spécificité MongoDB, donc nous n'allons pas insister dessus: reportez-vous à la documentation.

### Jointures avec MapReduce

MapReduce est un mécanisme de base qui peut être utilisé pour implanter des opérateurs de plus haut niveau. La méthode utilisée pour transposer une opération comme la jointure en MapReduce n'est pas forcément très élégante, mais elle a le mérite de bénéficier de la *scalabilité* du calcul (par parallélisation/distribution) dans des systèmes conçus pour gérer de grands volumes de données. Elle est aussi représentative de la transposition en MapReduce de traitements plus sophistiqués, même si elle passe par des contournements peu satisfaisants.

Nous montrons donc cette méthode. Notre base est celle contenant les films avec *références*, et nous avons déjà vu que la technique consistant à implanter côté client, bien qu'effective, ne passe pas à l'échelle. Le but est d'obtenir pour chaque artiste la liste des films qu'il/elle a réalisé.

Comment faire? Le principe de la jointure avec MapReduce est d'exploiter le mécanisme de regroupement pour associer, dans un même groupe, un réalisateur et les films dont il est metteur en scène. Regardons la figure [MapReduce \(en centralisé\)](#). Nous avons au départ deux collections distinctes: les films et les artistes. Les artistes ont un identifiant, et pour chaque film on connaît l'identifiant de son artiste-réalisateur.



*Fig. 31 MapReduce (en centralisé)*

On va créer autant de groupes que d'artiste. Dans chaque groupe on place:

- l'artiste dont l'identifiant correspond à l'identifiant du groupe;
- les films (0, 1 ou plusieurs) dont l'identifiant du *metteur en scène* correspond à l'identifiant du groupe.

Les documents issus de collections différentes (représentés par des couleurs distinctes dans la figure) sont alors associés dans un même groupe. La fonction de Reduce recevra chaque groupe, avec un artiste et 0, 1 ou plusieurs films. Elle devra construire le document final.

Tous les secrets (*il y en a peu*) de la conception d'un traitement MapReduce sont exposés dans cet exemple. Le mot-clé est *regroupement* des documents qui doivent être traités ensemble, puis implantation de ce traitement dans la fonction de Reduce. Imprégnez-vous bien du principe ci-dessus, qui résume vraiment l'essentiel de ce qu'il faut comprendre.

Passons à la pratique, avec comme toujours des détails d'implantation qui vont du compliqué au peu glorieux. Première étape: nous devons accéder dans un même traitement MapReduce aux films (dans *movies*) et aux artistes (dans *artists*). Malheureusement, le MapReduce de MongoDB semble ne pouvoir prendre qu'une seule collection en entrée (les autres systèmes n'ont pas cette limitation). Nous allons donc commencer par copier les données dans une collection commune, nommée *jointure*:

```
mongoimport -d moviesref -c jointure --file movies-refs.json --jsonArray
mongoimport -d moviesref -c jointure --file artists.json --jsonArray
```

Voici maintenant le code des deux fonctions de *map* et de *reduce*. La fonction de *map* est donnée ci-dessous: essayez de la comprendre, en vous aidant des commentaires internes donnés par la suite.

```
var mapJoin = function() {
    // Est-ce que la clé du document contient le mot "artist"?
    if (this._id.indexOf("artist") != -1) {
        // Oui ! C'est un artiste. Ajoutons-lui son type.
```

```

this.type="artist";
// On produit une paire avec pour clé celle de l'artiste
emit(this._id, this);
}
else {
    // Non: c'est un film. Ajoutons-lui son type.
    this.type="film";
    // Simplifions un peu le document pour l'affichage
    delete this.summary;
    delete this.actors;
    // On produit une paire avec pour clé celle du metteur en scène
    emit(this.director._id, this);
}
};

```

Donc, la fonction s'appliquera en entrée à notre collection *jointure* qui contient maintenant des documents *artistes* et des documents *films*. La fonction doit d'abord savoir à quel type de document elle a affaire. Dans notre cas, c'est simple, les clés des artistes sont de la forme *artist:xx* et les clés des films de la forme *movie:yy*. C'est ce que teste la fonction Javascript *indexOf*.

La fonction produit donc, à l'attention du *reduce*, soit un document *artist*, soit un document *film* (notez que nous les « annotons » avec leur type pour rendre les choses plus faciles ensuite). Nous voulons regrouper les metteurs en scène avec les films qu'ils/elles ont réalisés: *on y arrive en émettant les documents à regrouper avec la même valeur de clé*.

Ici, on émet les artistes avec leur identifiant, et les films avec l'identifiant de leur metteur en scène. Le résultat est donc bien celui souhaité. Si cela vous semble obscur, réfléchissez soigneusement et prenez un exemple.

#### Note

Et pour les artistes qui n'ont jamais réalisé de film? Et bien ils seront solitaires dans leur groupe. On n'a pas vraiment moyen de les éliminer à ce stade, car on ne sait pas décider si un artiste, considéré isolément, est ou non un réalisateur.

*Il s'agit du mécanisme de base d'une implantation à base de MapReduce.* Le préalable à toute manipulation conjointe de documents distincts est de le regrouper avec le *map* pour les traiter ensemble avec le *reduce*.

Voici maintenant la fonction de *reduce*.

```

var reduceJoin = function(id, items) {

    var director = null, films={result: []}

    // Commençons par chercher l'artiste dans cette liste
    for (var idx = 0; idx < items.length; idx++) {
        if (items[idx].type=="artist") {
            director = items[idx];
        }
    }

    // Maintenant, 'director' contient l'artiste : on l'affecte aux films
    for (var idx = 0; idx < items.length; idx++) {
        if (items[idx].type=="film" && director != null) {
            items[idx].director = director;
            films.result.push (items[idx]);
        }
    }
    return films;
};

```

On dispose en entrée d'une liste « d'items », dont on sait qu'elle contient un artiste (au plus) et des films (peut-être aucun, peut-être plusieurs). On effectue donc la jointure *localement*. On identifie d'abord le metteur en scène, et on le place dans la variable *director*. Puis on affecte ce document à l'attribut *director* de chaque film.

On retourne finalement un objet *films* contenant le résultat de la jointure locale. Pour des raisons liées à des limitations du MapReduce sous MongoDB, nous ne pouvons pas (i) émettre plusieurs documents dans une exécution de la fonction ou même (ii) émettre un tableau de documents. Nous avons donc dû « encapsuler » ce tableau dans la valeur renournée. Vous étiez prévenu: ce n'est pas très élégant.

Il reste à exécuter ce traitement MapReduce, avec l'instruction suivante.

---

```
db.jointure.mapReduce(mapJoin, reduceJoin, {out: {"inline": 1}});
```

---

Regardez bien le résultat. La fonction de *reduce* produit des paires clé-valeur, la clé étant l'identifiant de l'artiste, et la valeur est celle produite par notre fonction *reduce()*. Dans le cas des artistes qui ne sont pas réalisateurs, l'artiste est émis tel quel: MongoDB n'appelle pas la fonction *reduce()* pour des groupes contenant un seul document.

Ce qu'il faut retenir avant tout, c'est le mécanisme qui permet d'associer des documents initialement distincts. MapReduce n'étant pas conçu (au départ) pour ce genre de manipulation, il faut accepter quelques inconvénients, et bricoler quelque peu. Ici, l'application client devrait « nettoyer » le résultat obtenu, mais pour l'essentiel l'objectif visé est atteint.

## Mise en pratique

Voici quelques fonctions MapReduce à réaliser avec MongoDB.

### Exercice Ex-S3-1: implanter le *sum()*.

Implantez en MapReduce le calcul équivalent à

---

```
select count(*) from movies group by genre
```

---

#### Correction

```
var mapFilmsGenre = function() {
    emit(this.genre, this._id);
};

var reduceFilmsGenre = function(genre,id) {
    return id.length;
};

db.movies.mapReduce(mapFilmsGenre,
    reduceFilmsGenre, {out: {"inline": 1}} );
```

---

### Exercice Ex-S3-2: afficher le nom du réalisateur

Reprenez l'exemple (*mapRealisateur*, *joinRealisateur*), et effectuez les modifications suivantes:

- modifiez les fonctions pour afficher le *nom* du réalisateur avec la liste de ses films. (Astuce: la clé émise par la fonction de *map* peut être un *objet* avec plusieurs valeurs).
- appliquez le traitement aux films français parus avant 2000 (attention, les années sont codées comme des chaînes de caractères).

### Exercice Ex-S3-3: compter les termes d'un texte

Objectif: construire un groupe pour chaque terme (mot) apparaissant dans le titre d'un film, et lui associer des informations. Voici une version de base. La fonction de *map*:

---

```
var mapTermes = function() {
    var tokens = this.title.match(/\S+/g)
    for (var i = 0; i < tokens.length; i++) {
        emit(tokens[i], this.title);
    }
}
```

---

La fonction de *reduce*:

---

```
var reduceTermes = function(terme, titres) {
    var res = new Object();
    res.terme = terme;
    res.titres = titres;
    return res;
};
```

---

Commencez par vérifier que cela fonctionne, regardez les mots qui apparaissent dans plusieurs titres. Ensuite, traitez le résumé de chaque film, et faites les calculs suivants:

- Pour chaque terme, affichez le titre du film et le nombre d'occurrences dans le résumé du film.
- Pour chaque terme, affichez de plus le nombre total d'occurrences du terme dans la collection.
- Enfin, identifiez les termes qui apparaissent très souvent et sont peu significatifs (« de », « un », « le », etc.). Faites-en une liste et éliminez-les du résultat.

Quand vous serez arrivés au bout, vous aurez fait un bon pas vers un algorithme de construction d'un index plein texte sur votre base documentaire.

#### Exercice Ex-S3-4: classification de documents (basique)

Nous voulons grouper les films. Ecrivez le traitement MapReduce pour

- un classement par genre,
- un classement par décennie (les années 70, les années 80, etc.)

Si vous vous sentez en forme, réfléchissez au problème suivant: comment appliquer un algorithme de classification kMeans sur les films (pour les grouper par période par exemple) ou les artistes (les grouper par génération par exemple). Bon *brainstorming*, mais pas d'inquiétude, nous y reviendrons.

#### Exercice Ex-S3-5: encore une jointure

Reprenez l'implantation de la jointure décrite précédemment, et transformez-la pour calculer celle des films et des acteurs.

```
select * from Film, Role, Artiste
where film.id=role.id_film
and role.id_acteur=artiste.id
```

C'est plus difficile que de faire la jointure entre le film et le metteur en scène...

#### Correction

```
var mapJoin2 = function() {
    // Est-ce que la clé du document contient le mot "artist"?
    if (this._id.indexOf("artist") != -1) {
        // Oui ! C'est un artiste. Ajoutons-lui son type.
        this.type="artist";
        // On produit une paire avec pour clé celle de l'artiste
        emit(this._id, this);
    }
    else {
        // Non: c'est un film. Ajoutons-lui son type.
        this.type="film";
        // Simplifions un peu le document pour l'affichage
        delete this.summary;
        delete this.director;
        // On produit une paire avec pour clé celle de l'artiste
        for (var i = 0; i < this.actors.length; i++) {
            emit(this.actors[i]._id, this);
        }
    }
};

var reduceJoin2 = function(id, items) {
    var ARTIST = null, films={result: []}
    var trouve=false;
    // Commençons par chercher l'artiste dans cette liste
    for (var idx = 0; idx < items.length; idx++) {
        if (items[idx].type=="artist") {
            artiste = items[idx].last_name;
        }
    }

    if (artiste != null) {
        res= new Object();
        res.artiste = artiste ;
```

```

res.films = new Array()
// Maintenant constituons le tableau des films
for (var idx2 = 0; idx2 < items.length; idx2++) {
    if (items[idx2].type=="film") {
        res.films.push(items[idx2].title);
    }
}
return res
}

```

## Exercices

Commençons par un exercice-type commenté.

### Exercice Ex-Exo-type: exercice-type MapReduce

#### Enoncé.

L'énoncé est le suivant (il provient d'un examen des annales). Un système d'observation spatiale capte des signaux en provenance de planètes situées dans de lointaines galaxies. Ces signaux sont stockés dans une collection *Signaux* de la forme (*idPlanète*, *date*, *contenu*).

*Le but est de déterminer si ces signaux peuvent être émis par une intelligence extra-terrestre.* Pour cela les scientifiques ont mis au point les fonctions suivantes:

1. *Fonction de structure:  $f_S(c)$  : Bool*, prend un contenu en entrée, et renvoie `true` si le contenu présente une certaine structure, `false` sinon.
2. *Fonction de détecteur d'Aliens:  $f_D(<c>)$  : real*, prend une liste de contenus structurés en entrée, et renvoie un indicateur entre 0 et 1 indiquant la probabilité que ces contenus soient écrits en langage extra-terrestre, et donc la *présence d'Aliens!*

Bien entendu, il y a beaucoup de signaux: c'est du Big Data. Le but est de produire une spécification MapReduce qui produit, pour chaque planète, l'indicateur de présence d'Aliens par analyse des contenus provenant de la planète.

#### Correction.

D'abord il faut se mettre en tête la forme des documents de la collection. En JSON ça ressemblerait à ça:

```
{
  "idPlanète" : "Moebius 756",
  "date": "24/02/2067",
  "contenu": "Xioinpoi <ubnnio 3980nkln"
}
```

Nous savons que la fonction de Map reçoit un document de ce type, et doit émettre 0, 1 ou plusieurs paires clé-valeur. La première question à se poser c'est: *quels sont les groupes que je dois constituer et quelle est la clé (« l'étiquette ») qui caractérise ces groupes.* Rappelons que MapReduce c'est avant tout un moyen de regrouper des données (ou des quartiers de pomme, ou d'ananas, etc.).

Ici on a un groupe par planète. La clé du groupe est évidemment l'identifiant de la planète. Le squelette de notre fonction de Map est donc:

```
function fMap(doc) {
  emit(doc.idPlanète, qqChose);
}
```

Ici c'est écrit en Javascript mais n'importe quel pseudo-code équivalent (ou du Java, ou du Scala, ou même du PHP...) fait l'affaire.

Quelle est la valeur à émettre? Ici il faut penser que la fonction de Reduce recevra une liste de ces valeurs et devra produire une valeur agrégée. Dans notre énoncé la valeur agrégée est un indicateur de présence d'Aliens, et cet indicateur est produit sur une liste de contenus structurés.

La fonction de Map doit donc émettre un contenu structuré. Comme tous ne le sont pas, on va appliquer la fonction  $f_S(c)$  : *Bool* (si elle est citée dans l'énoncé, c'est qu'elle sert à quelque chose). Ce qui donne

```
function fMap(doc) {
  if (fS(doc.contenu) == True) {
    emit(doc.idPlanète, doc.contenu)
  }
}
```

```

    }
}
```

Notez bien que la fonction ne peut et ne doit accéder qu'aux informations du document (sauf cas de variables globale qui serait précisée).

Il ne reste plus qu'à écrire la fonction de Reduce. Elle reçoit *toujours* la clé d'un groupe et la liste des valeurs affectées à ce groupe. C'est l'occasion d'utiliser la seconde fonction de l'énoncé:

```

function fReduce(idPlanète, contenusStruct) {
    return (idPlanète, fD(contenusStruct))
}
}
```

C'est tout (pour cette fois). L'exemple est assez trivial, mais les mêmes principes s'appliquent toujours.

#### **Exercice Ex-S1-1: production de jus de fruits: les variantes**

Proposons des variantes à notre processus de production de jus de fruit tel qu'il est résumé par la [Fig. 26](#).

Pour chaque variante envisagée réfléchissez à ses avantages / inconvénients et exposez vos arguments.

- peut-on trier les fruits à la fin de l'atelier de transformation, plutôt qu'au début de l'atelier d'assemblage?
- et si on traitait les fruits *avant* de les soumettre à l'atelier de transformation?
- dans l'atelier d'assemblage, peut-on avoir un seul pressoir, ou faut-il autant de pressoirs que de types de fruits?
- peut-on toujours se contenter d'un seul atelier d'assemblage?
- discuter de la spécialisation des ateliers d'assemblage: MapReduce affecte chaque groupe à un seul atelier; pourrait-on produire du jus d'orange dans chaque atelier? Avantages? Inconvénients?

#### **Correction**

- On peut trier à la fin de la transformation, mais ça ne suffit pas: il faut également fusionner les listes triées provenant d'ateliers de transformation distinct avant l'assemblage. Il est beaucoup plus efficace de fusionner des listes triées que des listes non triées, donc on peut considérer que c'est une option à considérer.
- Rien ne dit que l'atelier de transformation va produire des fruits en sortie, même s'il en a en entrée. Donc ça ne sert à rien de trier (sauf cas particulier).
- On peut avoir plusieurs pressoirs. En fait, en général on ne peut pas prévoir le nombre de groupes, et donc le nombre de pressoirs. Un même tâche effectue donc plusieurs assemblages, en séquence.
- Oui, on peut toujours se contenter, fonctionnellement, d'un seul atelier d'assemblage. Il faut prendre garde à ce que ça ne devienne pas un goulot d'étranglement.
- Dans un contexte de gestion de données, il est impératif d'agrégier tous les documents d'un même groupe ensemble. Beaucoup de calcul statistiques ne sont pas additifs (la somme des moyennes et la moyenne des sommes diffèrent) et on ne peut donc pas manipuler des agrégations partielles.

#### **Exercice Ex-S1-2: commençons à parler informatique**

Vous avez un ensemble de documents textuels, et vous voulez connaître la fréquence d'utilisation de chaque mot. Si, par exemple, le mot « confiture » apparaît 1 fois dans le document A, deux fois dans le document B et 1 fois dans le document C, vous voulez obtenir (confiture, 4).

Quel est le processus Map Reduce qui prend en entrée les documents et fournit en sortie les paires (mot, fréquence)? Décrivez-le avec des petits dessins si vous voulez.

NB : ce genre de calcul est à la base de nombreux algorithmes d'analyse, et sert par exemple à construire des moteurs de recherche.

#### **Correction**

Supposons que le format des documents est le suivant

```
{"texte" : "Bla farine bla confiture bla sucre bla confiture ..."}
```

Il faut découper chaque texte en mots, associés à leur nombre d'occurrences dans le texte. Par exemple, (confiture, 2) si le mot apparaît deux fois. L'important est de comprendre que le critère de regroupement (l'étiquette) est le mot. Pour chaque mot on « émet » la paire (mot, nbOccurrences).

```
function fonctionMap (doc)
{
    // On parcourt les mots du texte
    for (mot in doc.texte) {
        emit (mot, 1)
    }
}
```

À noter: on émet plusieurs paires (clé, valeur) par document, autant qu'il y a de mots dans le document. Pour un même mot  $m$ , on émettra donc autant de fois  $(m, 1)$  qu'il y a d'occurrences de  $m$ .

Noter aussi que dans une spécification de haut niveau, on n'a pas besoin d'indiquer comment on découpe un texte en mot. Ca se fera au moment de l'implantation.

La phase d'agrégation se charge de cumuler les occurrences d'un même mot sur l'ensemble des documents.

```
function fonctionReduce (mot, occurrences)
{
    return (mot, count (occurrences))
}
```

### Exercice Ex-S1-3: continuons l'examen du 16 juin 2016

Reprenez les documents représentant les inscriptions des étudiants à des UEs. Voici deux exemples.

```
{
    "_id": 978,
    "nom": "Jean Dujardin",
    "UE": [{"id": "ue:11", "titre": "Java", "note": 12},
            {"id": "ue:27", "titre": "Bases de données", "note": 17},
            {"id": "ue:37", "titre": "Réseaux", "note": 14}]
}

{
    "_id": 476,
    "nom": "Vanessa Paradis",
    "UE": [{"id": "ue:13", "titre": "Méthodologie", "note": 17},
            {"id": "ue:27", "titre": "Bases de données", "note": 10},
            {"id": "ue:76", "titre": "Conduite projet", "note": 11}]
}
```

Spécifiez le calcul du nombre d'étudiants par UE, en MapReduce, en prenant en entrée des documents construits sur le modèle ci-dessus.

#### Correction

Une fonction de Map produit des paires (clé, valeur). La première question à se poser c'est: quelle est la clé que je choisis de produire? Rappelons que la clé est une sorte d'étiquette que l'on pose sur chaque valeur et qui va permettre de les regrouper.

Ici, on veut regrouper par UE pour pouvoir compter tous les étudiants inscrits. On va donc émettre une paire intermédiaire pour chaque UE mentionnée dans un document en entrée. Voici le pseudo-code.

```
function fonctionMap ($doc) # doc est un document centré étudiant
{
    # On parcourt les UEs du tableau UEs
    for [$ue in $doc.UEs] do
        emit ($ue.id, $doc.nom)
    done
}
```

Quand on traite le premier document de notre exemple, on obtient donc trois paires intermédiaires:

```
{"ue:11", "Jean Dujardin"}
{"ue:27", "Jean Dujardin"}
```

```
{"ue:37", "Jean Dujardin"}
```

Et quand on traite le second document, on obtient:

```
{"ue:13", "Vanessa Paradis"}
{"ue:27", "Vanessa Paradis"}
{"ue:76", "Vanessa Paradis"}
```

Toutes ces paires sont alors transmises à « l'atelier d'assemblage » qui les regroupe sur la clé. Voici la liste des groupes (un par UE).

```
{"ue:11", ["Jean Dujardin"]}
{"ue:13", "Vanessa Paradis"}
{"ue:27", ["Jean Dujardin", "Vanessa Paradis"]}
{"ue:37", "Jean Dujardin"}
{"ue:76", "Vanessa Paradis"}
```

Il reste à appliquer la fonction de Reduce à chaque groupe.

```
function fonctionReduce ($clé, $tableau)
{
    return ($clé, count($tableau))
}
```

Et voilà.

#### Exercice Ex-S1-4: algèbre linéaire distribuée

Nous disposons d'une matrice  $M$  de dimension  $N \times N$  représentant les liens entre les  $N$  pages du Web, chaque lien étant qualifié par un facteur d'importance (ou « poids »). La matrice est représentée par une collection math:C dans laquelle chaque document est de la forme {« id »: &23, « lig »:  $i$ , « col »:  $j$ , « poids »:  $m_{ij}$ }, et représente un lien entre la page  $P_i$  et la page  $P_j$  de poids  $m_{ij}$

Exemple: voici une matrice  $M$  avec  $N = 4$ . La première cellule de la seconde ligne est donc représentée par un document {« id »: &t5x, « lig »: 2, « col »: 1, « poids »: 7}

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 7 & 6 & 5 & 4 \\ 6 & 7 & 8 & 9 \\ 3 & 3 & 3 & 3 \end{bmatrix}$$

#### Questions

- Chaque ligne  $L_i$  de  $M$  peut être vue comme un vecteur décrivant la page  $P_i$ . Spécifiez le traitement MapReduce qui calcule la norme de ces vecteurs à partir des documents de la collection  $C$  (rappel: la norme d'un vecteur  $V(x_1, x_2, \dots, x_n)$  est  $\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}$ ).
- Nous voulons calculer le produit de la matrice avec un vecteur  $V(v_1, v_2, \dots, v_N)$  de dimension  $N$ . Le résultat est un autre vecteur  $W$  tel que:

$$w_i = \sum_{j=1}^N m_{ij} \times v_j$$

On suppose pour le moment que  $V$  tient en mémoire RAM et est accessible comme variable statique par toutes les fonctions de Map ou de Reduce. Spécifiez le traitement MapReduce qui implante ce calcul.

#### Correction

On connaît le format des documents. Le critère de regroupement est l'identifiant de la ligne. La valeur à émettre est le carré du poids

```
function fonctionMap (doc)
{
    emit (doc.lig, doc.poids * doc.poids)
}
```

La fonction de Reduce recevra donc les carrés des poids d'une même ligne. Il restera à les cumuler pour obtenir la norme.

```
function fonctionReduce (lig, listePoids)
{
    return (lig, sqrt (sum (listePoids)))
}
```

Le produit de la matrice et du vecteur est presque identique. La fonction de Map multiplie chaque poids d'une ligne de la matrice par la coordonnées correspondante du vecteur  $V$  (supposé accessible comme variable globale).

```
function fonctionMap (doc)
{
    emit (doc.lig, doc.poids * V[doc.col])
}
```

La fonction de Reduce est la même qu'auparavant.

### Exercice Ex-S1-5: un peu plus difficile

On considère des documents représentant des articles ou ouvrages de recherche, avec la liste de leurs auteurs. Voici le format d'après un exemple.

```
{
    "type": "Book",
    "title": "Bases de données distribuées",
    "year": 2020,
    "publisher": "Cnam",
    "authors": ["R. Fournier-S'niehotta", "P. Rigaux", "N. Travers"]
}
```

On veut calculer, pour chaque trio d'auteurs ( $x, y, z$ ), le nombre d'articles que ces trois auteurs ont co-signés. Précisions: si les auteurs d'un article sont un sur-ensemble de ( $x, y, z$ ) (par ex. ( $x, u, v, y, w, z$ ) ça compte pour 1. L'ordre des auteurs ne compte pas: ( $z, y, x$ ) est considéré comme une occurrence.

Comment faire ce calcul en MapReduce?

NB: le résultat est appelé *support* de ( $x,y,z$ ), et c'est une mesure utilisée, entre autres, dans la découverte de règles d'association.

### Correction

Pour chaque publication, on prend la liste des auteurs, et on en extrait toutes les combinaisons possibles de 3 auteurs distincts. S'il y a 5 auteurs par exemple, il y a  $(5 \times 4 \times 3)/(3 \times 2)$  combinaisons possibles (révisez votre combinatoire si nécessaire).

Pour chaque combinaison  $C$ , il faut émettre la paire ( $C, 1$ ). Le regroupement se fera sur la combinaison, et la somme des 1 donnera le nombre d'occurrences sur l'ensemble de la collection. Encore une fois, c'est le choix de la clé qui est essentiel.

### Exercice Ex-S1-6: classons les fruits

On reçoit d'un fournisseur une livraison de fruits (pommes, ananas, oranges, etc). On décide d'effectuer un test qualité en leur donnant 0 ou 1 pour les critères suivants (trop mûr, tâché, déformé, etc).

Pour chaque espèce de fruit, on veut calculer la proportion de fruits trop mûrs. Comment faire avec MapReduce?

On veut faire le même calcul pour tous les critères. Comment faire?

NB: ce genre d'indicateur permet de construire des classeurs pour reconnaître automatiquement l'espèce d'un fruit (enfin, pour produire un indicateur de probabilité d'appartenance à une espèce à une classe, avec choix de la classe la plus probable).

### Correction

Pour chaque fruit, on émet (espèce, 1) ou (espèce, 0) selon que le fruit est trop mûr ou pas. Ensuite, la phase d'agrégation regroupe les paires pour la même espèce, et on calcule la fraction du nombre de 1 sur le nombre total du groupe.

Si on a trois critères, on émet (espèce, [i, j, k]) en généralisant le principe.

