

Cours 2014:

Fondements cognitifs des apprentissages scolaires

Stanislas Dehaene
Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

Cours n°5

La mémoire et son optimisation

Retour sur le cours 3: Engagement actif et correction des erreurs

Réflexions sur la différence entre note et signal d'erreur



La théorie de l'apprentissage distingue trois formes d'apprentissage:

- Non-supervisé: le système internalise les régularités des stimuli qu'il reçoit, sans qu'une distinction soit faite entre les entrées et les sorties désirées.
- Supervisé : à chaque essai, le système est informé de la réponse qui aurait été correcte.
- Par récompense: le système ne reçoit qu'un scalaire (degré de réussite)

L'apprentissage supervisé est le plus efficace. L'apprentissage par récompense pose un difficile problème d'attribution (*credit-assignment problem*): il est difficile de savoir quel choix (parmi tous ceux effectués) a conduit à l'erreur, surtout si un délai intervient.

La note peut être considéré comme un **signal de récompense non-spécifique**

- Elle résume, sans les distinguer, différents types d'erreurs. Parfois même, elle ne varie pas (zéro!).
- Non seulement elle n'est pas spécifique, mais elle est souvent différée.
- Elle est profondément injuste lorsqu'elle sanctionne des exercices *dont le niveau ne cesse d'augmenter de semaine en semaine.*
- Ne négligeons pas ses effets sur les systèmes émotionnels (découragement, sentiment d'impuissance, stigmatisation des enfants)

Un concept intéressant de l'informatique: l'**auto-évaluation** et la notion de critique interne.

- Architecture acteur-critique: L'apprentissage par récompense est grandement facilité si on dote le système d'un « critique interne » qui apprend à évaluer chaque situation.

Conclusion: (1) Remplacer les notes par une **évaluation précise, différenciée, rapide, et qui ne puisse que progresser avec l'enfant.** (2) promouvoir l'**auto-évaluation de l'enfant.**

Le Père Guido Sarducci
Inventeur d'un concept révolutionnaire



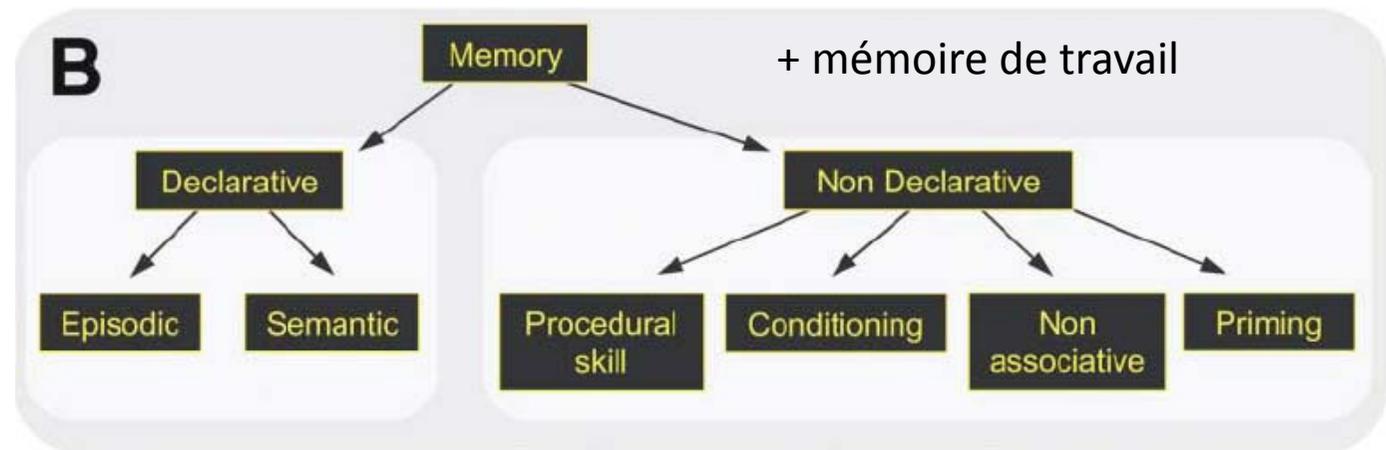
L'université de cinq minutes!

Considérations liminaires : Education et systèmes de mémoire

Schmidt, R. A., & Bjork, R. A. (1992). New Conceptualizations of Practice: Common Principles in Three Paradigms Suggest New Concepts for Training. *Psychological Science*, 3(4), 207–217.

La mémoire peut être définie comme l'ensemble de systèmes de projection des informations dans l'avenir

Multiples systèmes de mémoire.



« L'objectif de l'apprentissage, dans la vie réelle, doit être de maximiser (a) le niveau futur de la performance, à long-terme, (b) la capacité de transférer l'apprentissage à des situations nouvelles. »

« Les enseignants croient souvent que les facteurs qui maximisent la performance et la vitesse d'apprentissage pendant l'entraînement sont les mêmes qui permettent d'atteindre ces deux objectifs. Or, toute une série d'expériences indique que cette hypothèse est souvent fausse. »

Problème 1. Les facteurs qui maximisent la mémoire dans l'instant du cours ne sont pas nécessairement ceux qui maximisent la rétention à long-terme, ni la compréhension profonde du domaine.

Problème 2. Les enseignants comme les élèves se trompent parfois radicalement sur les conditions qui optimisent leur mémoire (métacognition incorrecte ou absente).

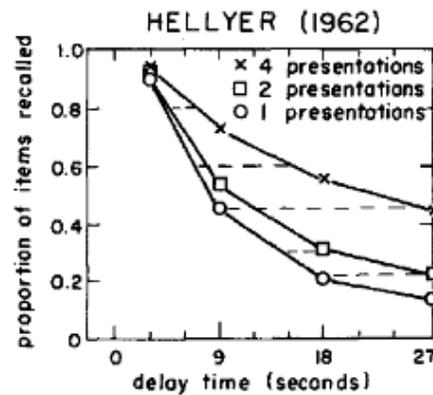
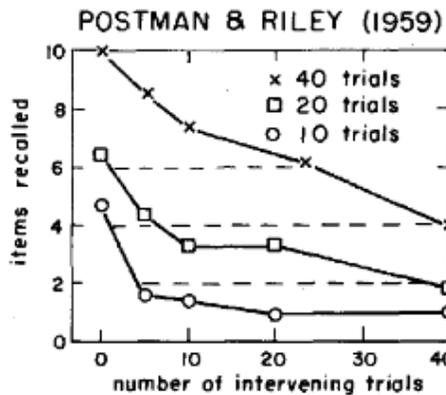
L'oubli suit une courbe exponentielle

Dès 1885, Ebbinghaus postule que l'oubli suit une loi exponentielle en fonction du temps.

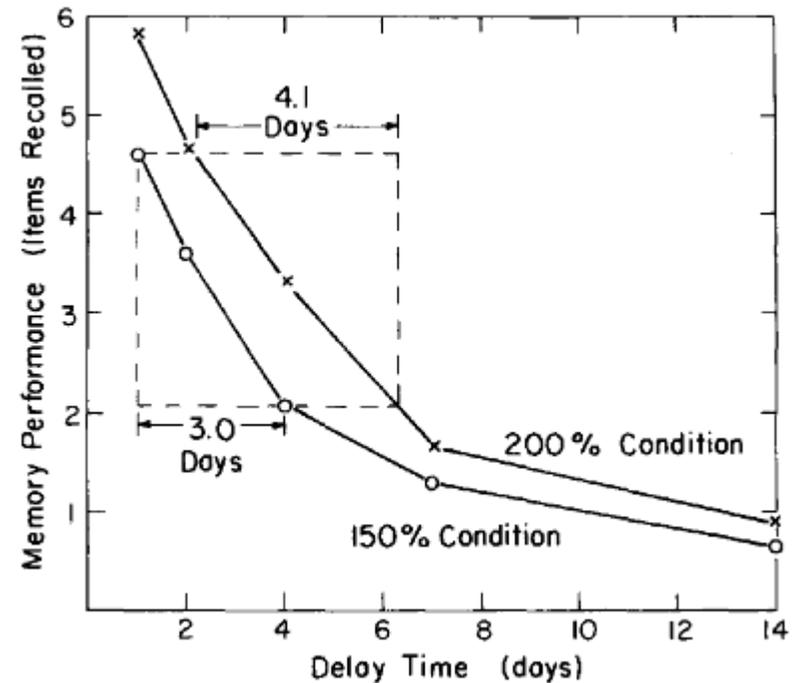
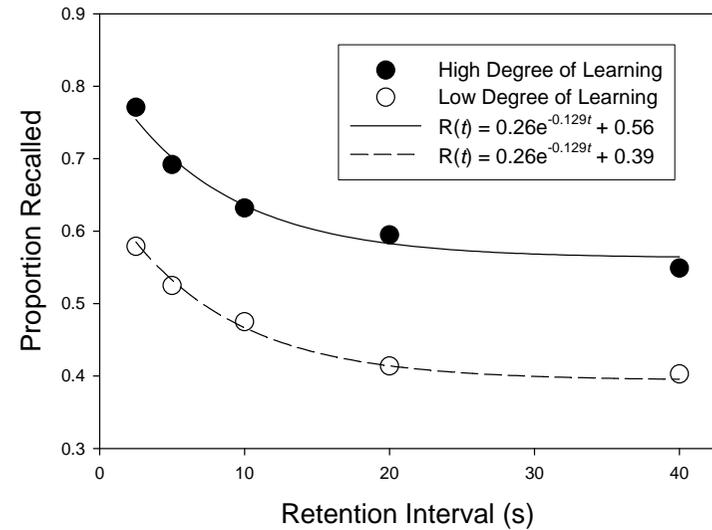
Il postule que l'oubli dépend de plusieurs facteurs, dont la force de l'encodage et la profondeur du traitement sémantique.

Loftus (1985) réanalyse de nombreuses données et montre que l'oubli est (légèrement) plus lent lorsque les faits initiaux ont été sur-appris.

Il semble donc possible de prolonger la mémoire.



Loftus, G. R. (1985). Evaluating forgetting curves. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11(2), 397.



Forgetting curves from Krueger's (1929) study.

Phénomène 1: L'effet de la profondeur de traitement des stimuli

Craik, F. I., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104(3), 268.

Roediger 3rd, H. L. (2007). Relativity of remembering: why the laws of memory vanished. *Annual Review of Psychology*, 59, 225–254.

Craik et Tulving (1975) demandent à des étudiants différents jugements sur les mêmes 60 mots:

- Casse: est-il imprimé en majuscules?
- Rime: rime-t-il avec « chaise »?
- Catégorie sémantique : est-ce un nom d'animal?

Ces instructions ont un effet considérable sur un test inopiné de reconnaissance en mémoire.

Nuances importantes:

- L'effet affecte la reconnaissance explicite, mais d'autres mesures de mémoire perceptive implicite (amorçage en dénomination) ne sont pas affectées.
- l'effet affecte les mots mais pas nécessairement les images
- L'effet dépendrait de la congruence entre les représentations sollicitées par l'entraînement et par le test.

Table 1 Proportion of words recognized after encoding words in relation to three types of questions (case, rhyme, and category) and their answers (yes or no). Adapted from Craik & Tulving (1975, Table 6)

	Yes	No
Case	0.33	0.33
Rhyme	0.62	0.42
Category	0.86	0.64

Table 2 Proportion of words recognized (hit rates) in an explicit test (left side) and priming in identifying words on an implicit word identification test (right side). Priming is the difference in identifying studied relative to nonstudied words. Adapted from Jacoby & Dallas (1981, Experiment 1)

	Proportion recognized		Priming	
	Yes	No	Yes	No
Case	0.51	0.49	0.13	0.16
Rhyme	0.72	0.54	0.17	0.15
Category	0.95	0.78	0.15	0.18

Faire l'effort de comprendre facilite la mémorisation

Auble, P. M., & Franks, J. J. The effects of effort toward comprehension on recall. *Memory & Cognition*, 1978,6,20-25.

Auble, P. M., Franks, J. J., Soraci, S. A., Soraci, S. A., & Soraci, S. A. (1979). Effort toward comprehension: Elaboration or "aha"? *Memory & Cognition*, 7(6), 426–434.

Zaromb, F. M., Karpicke, J. D., & Roediger, H. L. (2010). Comprehension as a basis for metacognitive judgments: effects of effort after meaning on recall and metacognition. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 36(2), 552–7.

Mémoire de phrases telles que « Le garçon renversa son pop-corn parce que la cage se brisa ».

Indice : lion

La mémoire des phrases est meilleure lorsque les sujets cherchent eux-mêmes la solution.

Proportion of Easy and Hard to Comprehend Sentences Correctly Recalled, Mean Judgments of Comprehension (JCOMPs), and Mean Judgments of Learning (JOLs) in the No-Clue, Embedded-Clue, and Delayed-Clue Presentation Conditions

Measure	No-clue		Embedded-clue		Delayed-clue	
	Easy	Hard	Easy	Hard	Easy	Hard
Free recall	0.28 (0.06)	0.18 (0.04)	0.21 (0.06)	0.24 (0.06)	0.44 (0.06)	0.49 (0.06)
JCOMPs	0.79 (0.12)	0.38 (0.14)	0.91 (0.07)	0.82 (0.09)	0.93 (0.12)	0.83 (0.07)
JOLs	0.50 (0.10)	0.35 (0.11)	0.51 (0.11)	0.45 (0.12)	0.55 (0.11)	0.48 (0.11)

Les étudiants ne sont pas conscients de cet effet: ils ne savent pas prédire convenablement quelles phrases seront les mieux retenues.

« Rendre les conditions d'apprentissage plus difficiles, ce qui oblige les étudiants à un surcroît d'engagement et d'effort cognitif, conduit souvent à une meilleure rétention. »

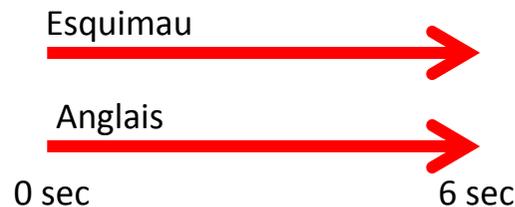
« Par exemple, poser des questions difficiles pendant un exposé, et laisser les étudiants y réfléchir longuement avant de leur donner la réponse, devrait faciliter l'apprentissage et la rétention. »

Phénomène 2: L'effet des tests de mémoire (*retrieval practise*) : Se tester régulièrement maximise la performance à long terme

William James (1890): « Une étrange particularité de notre mémoire est que les faits s’y impriment mieux par une répétition active que passive. J’entends par là que pendant un apprentissage (par cœur, par exemple), lorsque nous parvenons presque à retenir quelque chose, il vaut mieux attendre et faire l’effort d’essayer de se souvenir, plutôt que de se précipiter sur un livre. Si nous nous entraînons à récupérer les mots de cette manière, nous les saurons probablement la prochaine fois; sinon, nous aurons très probablement besoin d’aller à nouveau regarder dans un livre. »

Effectivement, **tester sa mémoire la rend plus forte:**

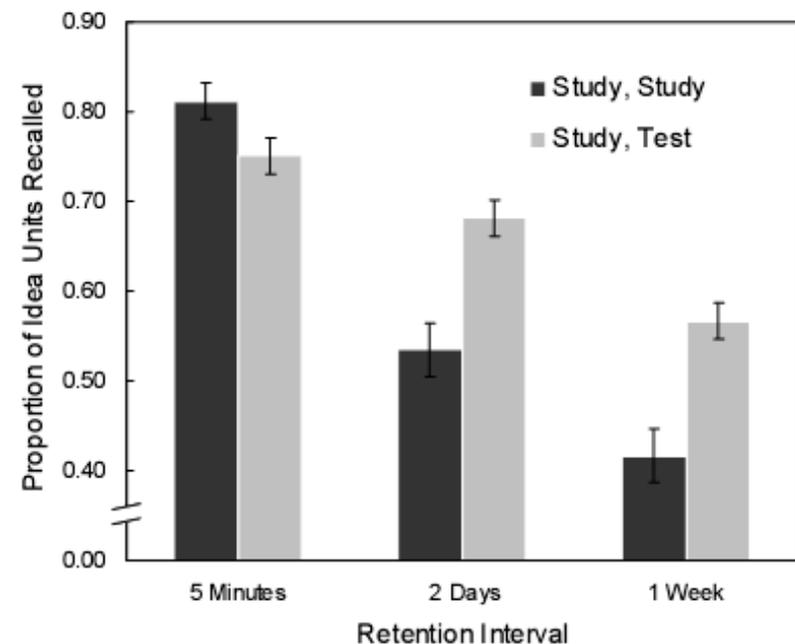
Etude pure et simple:



Test et étude:



Carrier, M., & Pashler, H. (1992). The influence of retrieval on retention. *Memory & Cognition*, 20(6), 633–642.



Roediger, H. L., & Karpicke, J. D. (2006). Test-enhanced learning: taking memory tests improves long-term retention. *Psychological Science*, 17(3), 249–255.

Carrier et Pashler font l’hypothèse que l’effet est maximal lorsque (1) les faits commencent à être connus [mais deviner ne fait pas de mal]; (2) on reçoit un feedback [pas forcément dans l’instant].

Phénomène 3: L'effet de la répartition de l'apprentissage à travers le temps (*distributed practise*)

Cepeda, N. J., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J. T., & Rohrer, D. (2006). Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. *Psychological Bulletin*, 132(3), 354–380.

L'apprentissage est « distribué » (*spaced*) lorsqu'on répète un item après un certain délai (*interstimulus interval*, ISI). Celui-ci peut être vide ou peut comprendre d'autres essais.

L'apprentissage est dit « groupé » (*massed*) lorsqu'on présente un seul et même item sans interruption temporelle.

Observation expérimentale:

Dans de très nombreuses études, l'apprentissage *distribué* facilite la rétention en mémoire.

C'est particulièrement dans le cas de la mémoire verbale (apprentissage de phrases, de mots étrangers, etc). L'effet semble moindre pour l'apprentissage moteur ou dans les domaines « conceptuels » (mathématiques).

	% Correct	
Retention interval	Massed	Spaced
1–59 s	41.2	50.1
1 min–less than 10 min	33.8	44.8
10 min–less than 1 day	40.6	47.9
1 day	32.9	43.0
2–7 days	31.1	45.4
8–30 days	32.8	62.2
31 days or more	17.0	39.0
All retention intervals	36.7	47.3

Certaines études sont faussées:

- Dans beaucoup d'expériences, l'apprentissage dans la phase 2 n'est pas d'une durée constante. Beaucoup d'études exigent un réapprentissage jusqu'à atteindre un critère de réussite fixe. Dans ce cas, plus l'intervalle est grand, plus le réapprentissage est intense, ce qui constitue un artefact expérimental majeur.
- L'effet de la durée de rétention en mémoire n'est pas pris en compte.

L'effet de répartition de l'apprentissage reste vrai quand ces problèmes sont corrigés.

La répartition de l'apprentissage à travers le temps (*distributed practise*) facilite la rétention en mémoire

Rohrer, D., & Taylor, K. (2006). The effects of overlearning and distributed practise on the retention of mathematics knowledge. *Applied Cognitive Psychology*, 20(9), 1209–1224.

Problème mathématique: Calculer le nombre de permutations différentes d'une chaîne de lettres avec au moins une lettre répétée

(par exemple aabbccc)

216 étudiants de l'université de Floride.

Dans l'expérience 1, l'enseignement est soit donné en bloc (10 problèmes) soit en deux fois espacées d'une semaine (5+5 problèmes)

Effet important de l'espacement: après 4 semaines, le taux de réussite est double chez les étudiants qui ont bénéficié de deux séances espacées.

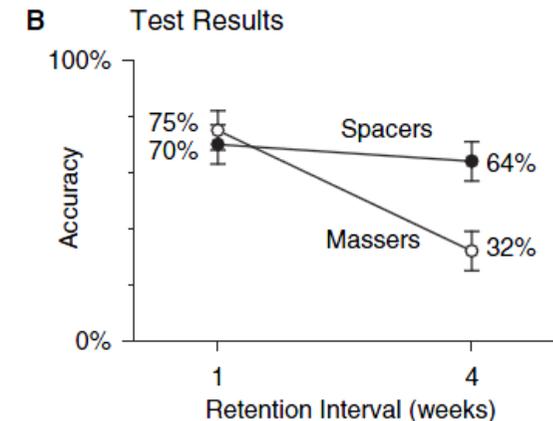
(Expérience 2: pas d'effet du nombre de problèmes présentés au cours d'une session [*overlearning*].)

Les auteurs spéculent que l'espacement des problèmes pourrait créer une « difficulté désirable », en évitant la simple répétition et en forçant l'élève à réfléchir au choix de sa stratégie mathématique.

Experiment 1

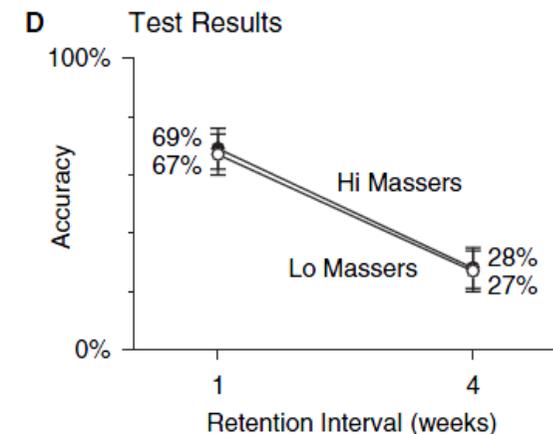
	Practice Schedule	
	session one	session two
Spacers	5 problems	5 problems
Massers	5 problems	10 problems

1 week apart



Experiment 2

	session one
Hi Massers	9 problems
Lo Massers	3 problems



Mécanismes cérébraux de l'effet de la répartition de l'apprentissage

Callan, D. E., & Schweighofer, N. (2010). Neural correlates of the spacing effect in explicit verbal semantic encoding support the deficient-processing theory. *Human Brain Mapping, 31*(4), 645–659.

IRM fonctionnelle au cours de la phase d'encodage d'associations verbales entre un mot et un pseudomot.
Les paires à apprendre sont, soit regroupées par 4, soit distribuées dans 4 sessions différentes.
Vérification de la mémoire après l'IRM: regroupement, 21% de réussite; distribution, 54%; $p < 0.0005$.
L'effet demeure un jour plus tard (25% contre 42%).

La présentation distribuée entraîne un surcroît d'activation dans la région frontale inférieure gauche, ce qui est interprété comme un entraînement supplémentaire de la mémoire phonologique.

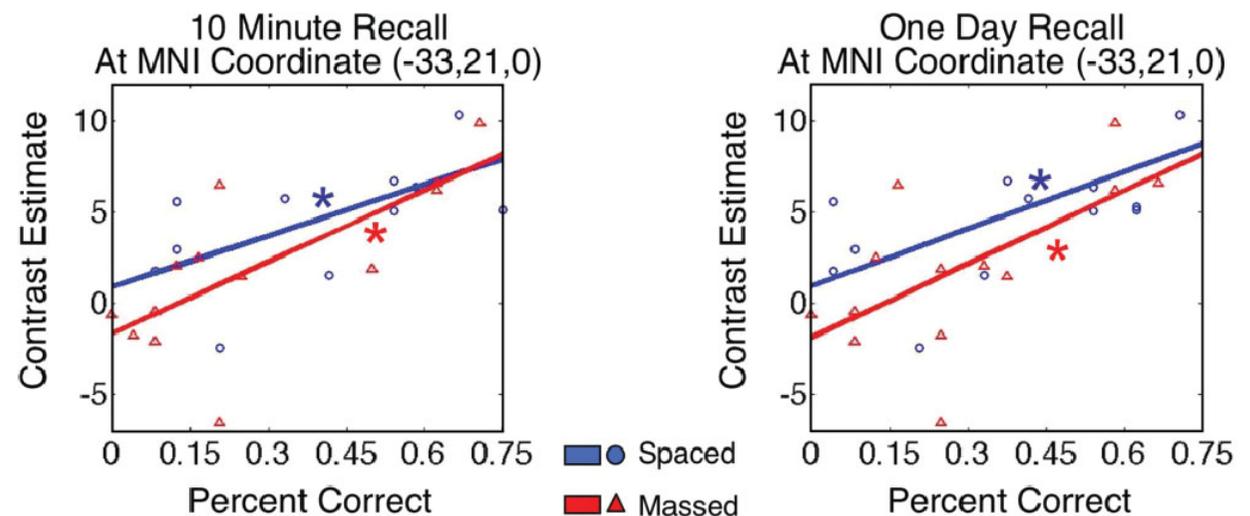
A travers les sujets, plus cette région s'active, plus les performances sont bonnes au test ultérieur de mémoire.

→ Un circuit de mémoire linguistique ou phonologique facilite la mémorisation.
L'espacement des apprentissages l'oblige à travailler plus.

A. Spaced Vs Massed: Combined Episodes 2-4



B. Correlation of Frontal Operculum Activity with Behavioral Performance



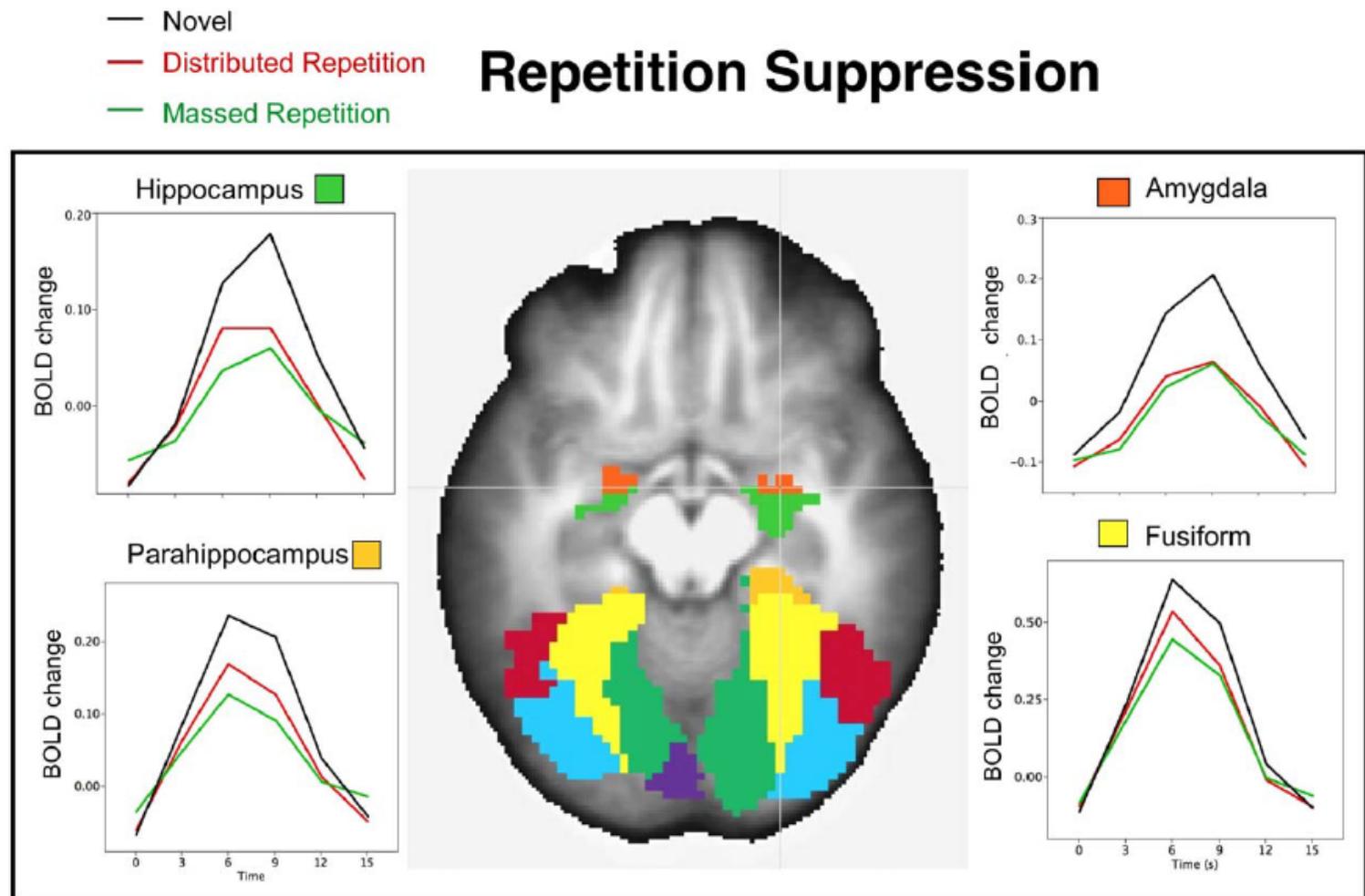
Mécanismes cérébraux de l'effet de la répartition de l'apprentissage

Bradley, M. M., Costa, V. D., Ferrari, V., Codispoti, M., Fitzsimmons, J. R., & Lang, P. J. (2014). Imaging distributed and massed repetitions of natural scenes: Spontaneous retrieval and maintenance. *Human Brain Mapping*.

IRM fonctionnelle au cours de la phase d'encodage: 24 images sont présentées chacune 4 fois, soit de suite (*massed repetition*), soit après un intervalle (*distributed repetition*).

Critique: Pas de vérification que cette manipulation affecte effectivement la mémoire.

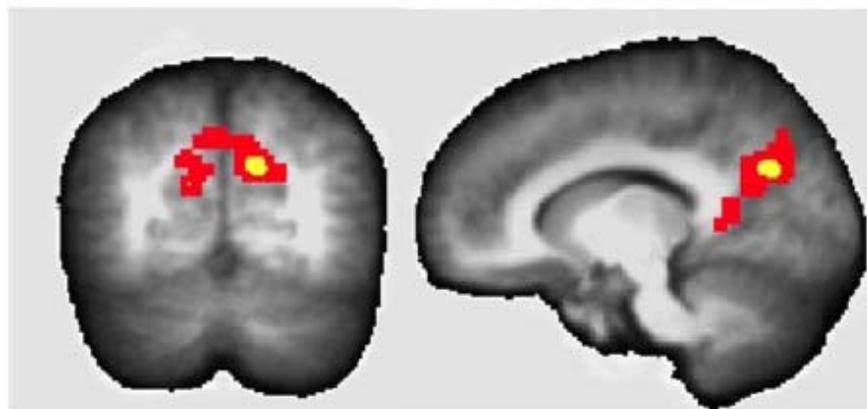
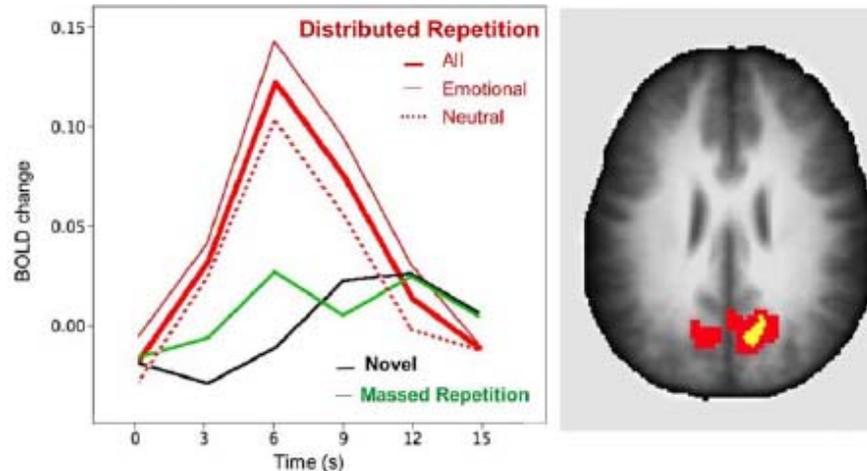
Résultats: la diminution d'activation liée à la répétition est plus forte pour les essais groupés que pour les essais distribués.
→ Compatible avec l'hypothèse d'un moindre encodage des images groupées (*deficient encoding*)



Mécanismes cérébraux de l'effet de la répartition de l'apprentissage

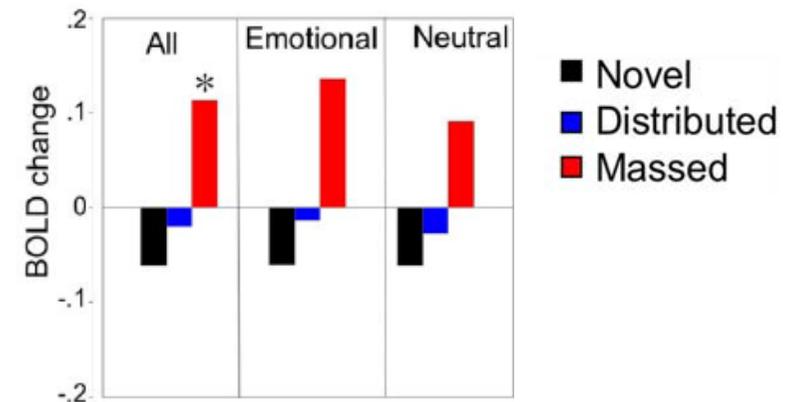
Bradley, M. M., Costa, V. D., Ferrari, V., Codispoti, M., Fitzsimmons, J. R., & Lang, P. J. (2014). Imaging distributed and massed repetitions of natural scenes: Spontaneous retrieval and maintenance. *Human Brain Mapping*.

Seule la présentation distribuée entraîne une augmentation progressive d'activation dans le précuneus, associé à la récupération en mémoire épisodique
→ La distribution de l'apprentissage augmenterait la récupération spontanée en mémoire. Nous avons vu que ce test régulier de la mémoire est bénéfique.

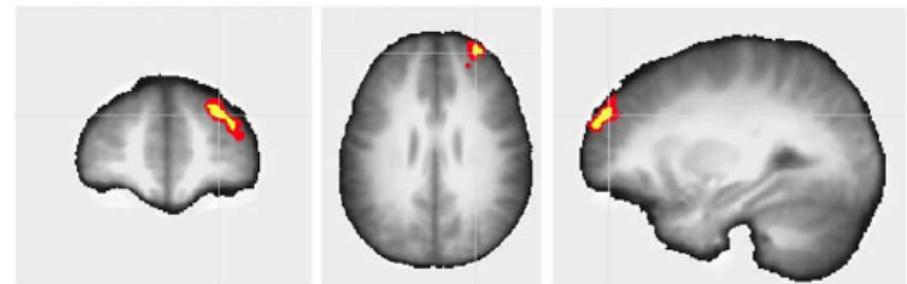


Inversement, le regroupement des images augmente l'activation dans le cortex préfrontal droit, associé à la mémoire de travail

→ « Illusion de savoir » liée à la disponibilité de l'information en mémoire de travail, et non pas dans la mémoire à long terme.



Right Dorsolateral Prefrontal Cortex (dlPFC)



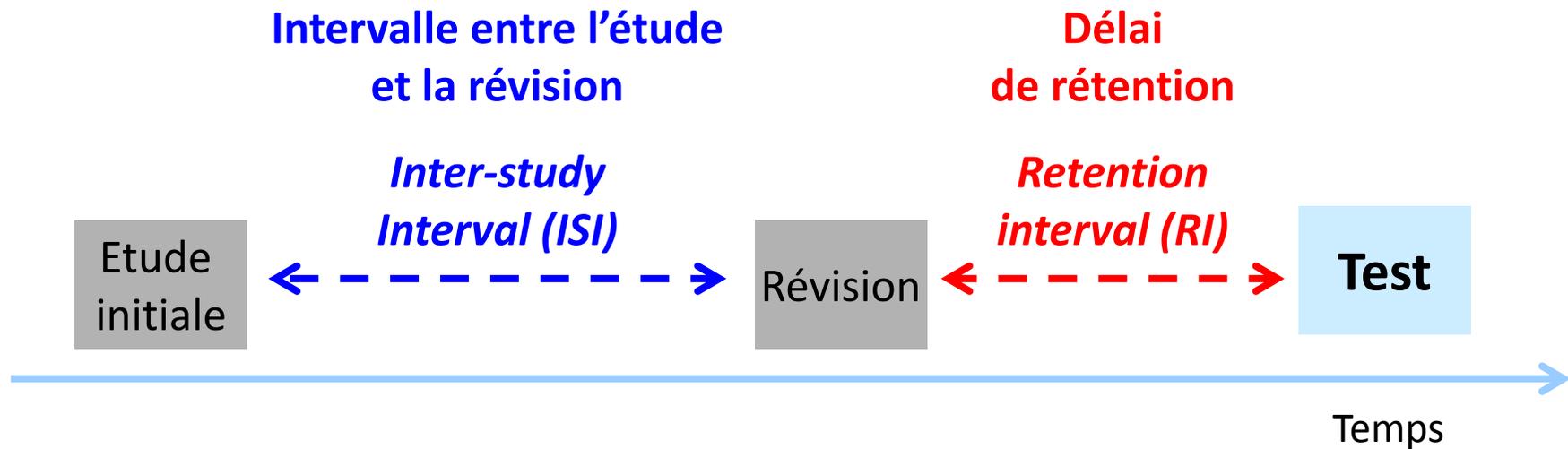


Hal Pashler

L'effet d'espacement et le rôle de l'intervalle de rétention

Hal Pashler pose deux questions élémentaires sur l'effet d'espacement:

1. Quel est l'espacement optimal ?
2. Dépend-il du délai de rétention des informations en mémoire?



L'effet d'espacement semble varier avec le délai de rétention

Cepeda, N. J., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J. T., & Rohrer, D. (2006). Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. *Psychological Bulletin*, 132(3), 354–380.

Dans une méta-analyse de 254 études, on observe un avantage systématique de l'espacement des essais, mais cet effet semble dépendre également du délai de rétention.

→ On mesure l'augmentation du taux de réussite à long terme lorsqu'on augmente l'espacement des phases d'apprentissage.

→ Le pic est atteint pour des intervalles de révision de plus en plus longs, à mesure que le délai de rétention s'accroît.

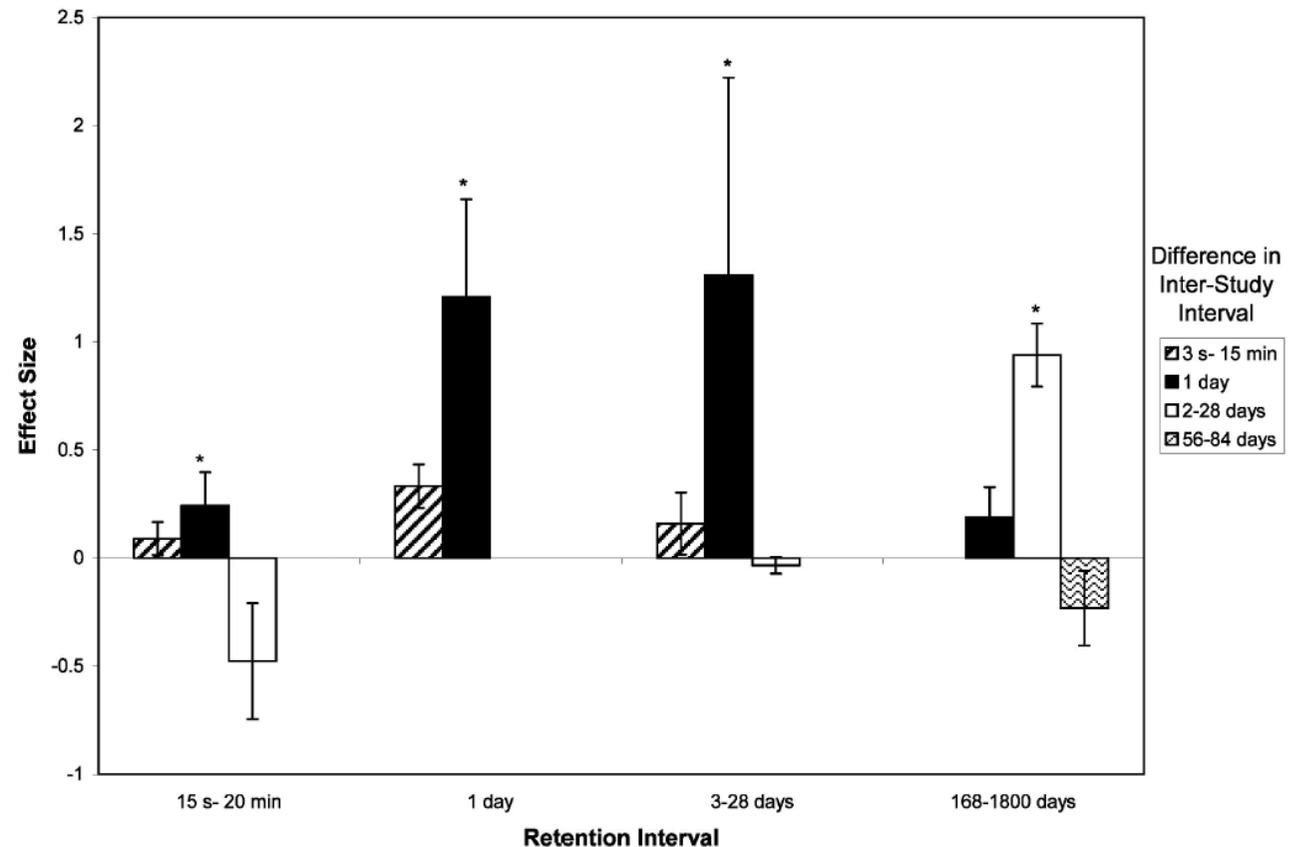


Figure 4. For all studies in the effect size lag analyses, effect sizes for all adjacent pairs of interstudy interval (ISI) values from each study, binned by difference in ISI and retention interval and averaged across studies. When surrounded by ISI bins with smaller effect size values, the ISI bin showing the largest effect size at each retention interval bin is indicated with an asterisk. Error bars represent one standard error of the mean.

Validation du rôle de l'intervalle de rétention

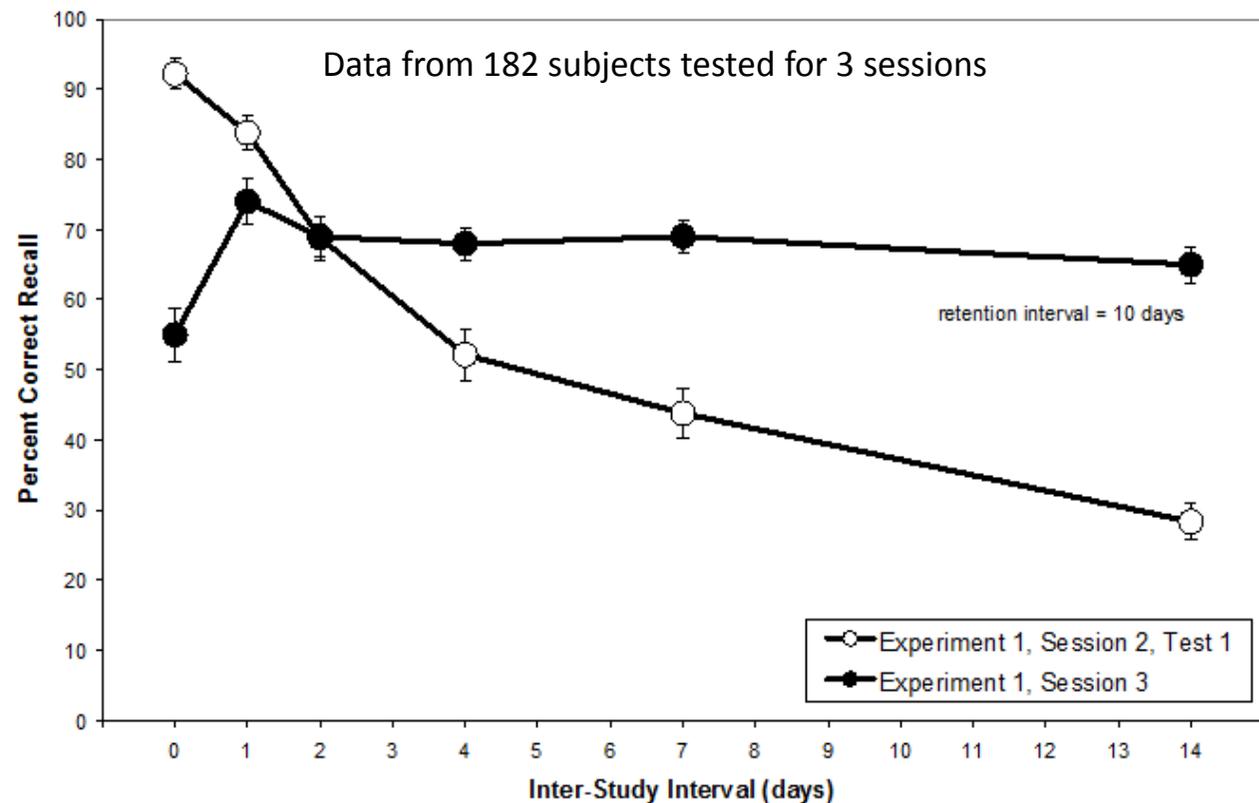
Cepeda, N. J., Coburn, N., Rohrer, D., Wixted, J. T., Mozer, M. C., & Pashler, H. (2009). Optimizing distributed practice: theoretical analysis and practical implications. *Experimental Psychology*, 56(4), 236–246.

Une étude d'apprentissage et de rétention de mots sur une dizaine de jours.

Tâche = apprentissage de vocabulaire en Swahili: Jani? → cheval

- Session 1: apprentissage jusqu'à l'atteinte d'un critère fixe de réussite
- Intervalle de 0, 1, 2, 4, 7 ou 14 jours.
- Session 2: Révision (nombre d'essais fixé)
- Délai de 10 jours.
- Session 3: Test

Résultat:
existence d'un
optimum pour la
révision après un
jour seulement



Validation du rôle de l'intervalle de rétention

Cepeda, N. J., Coburn, N., Rohrer, D., Wixted, J. T., Mozer, M. C., & Pashler, H. (2009). Optimizing distributed practice: theoretical analysis and practical implications. *Experimental Psychology*, 56(4), 236–246.

Apprentissage et rétention avec un délai de 6 mois.

Tâche = apprentissage de mots rares

ou de faits sémantiques méconnus

- Session 1: apprentissage jusqu'à l'atteinte d'un critère fixe de réussite
- Intervalle de 0, 1, 7, 28, 84, ou 168 jours.
- Session 2: Révision (nombre d'essais fixé)
- Délai de six mois
- Session 3: Test

Résultat:
existence d'un optimum pour la révision après **un mois**

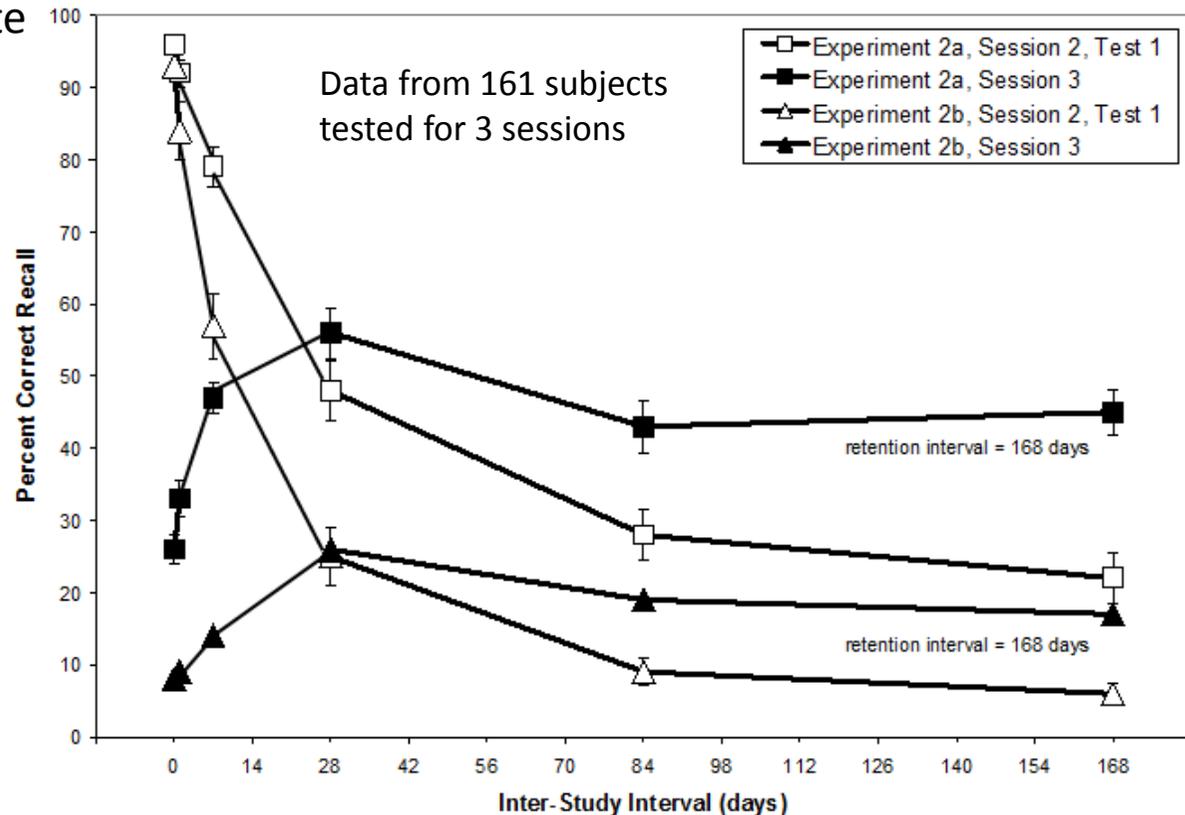


?

Coccolithe

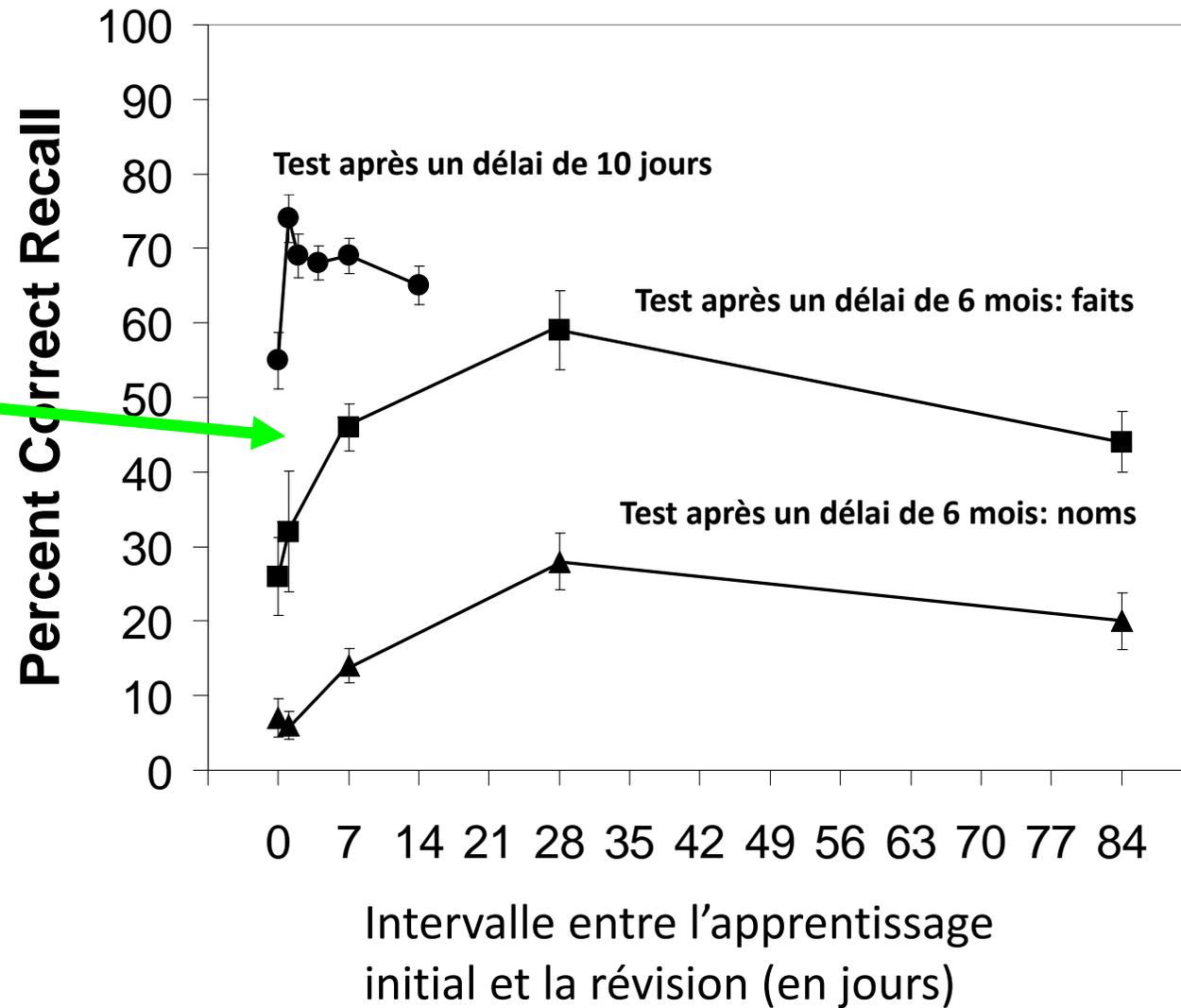
Qui a inventé le golf sur neige?

Rudyard Kipling.

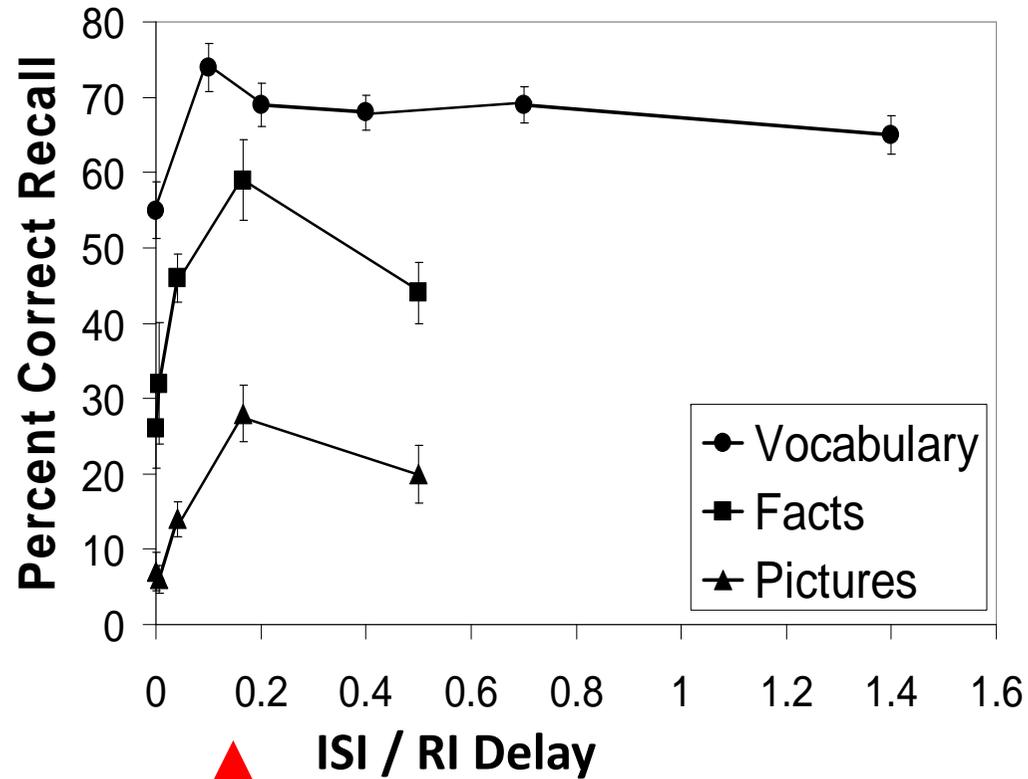


La performance optimale varie grandement avec l'intervalle de révision

Amélioration
d'un facteur
2 ou 3!



L'optimum est atteint pour une fraction constante du délai de rétention



Intervalle optimum de révision = 10 – 20% du délai de test

Une validation de l'effet d'espacement à grande échelle

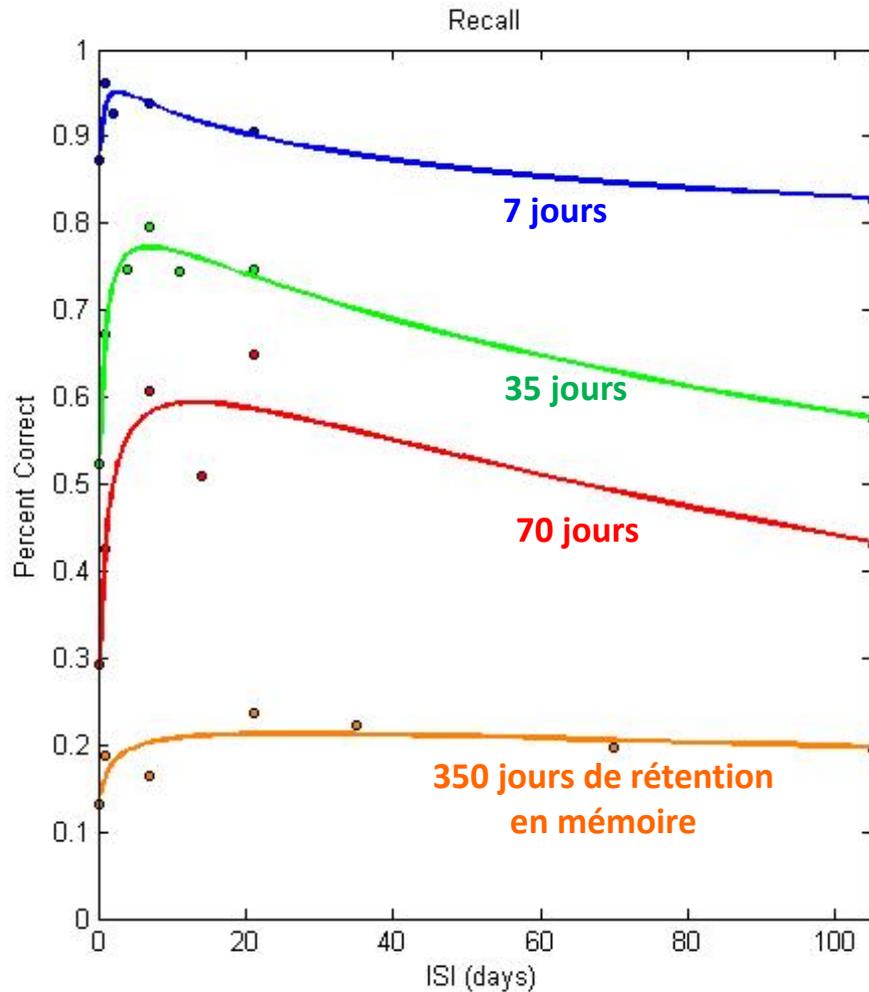
Cepeda, N. J., Vul, E., Rohrer, D., Wixted, J. T., & Pashler, H. (2008). Spacing effects in learning: a temporal ridge of optimal retention. *Psychological Science*, 19(11), 1095–1102.

Apprentissage de faits sémantiques sur un site internet.

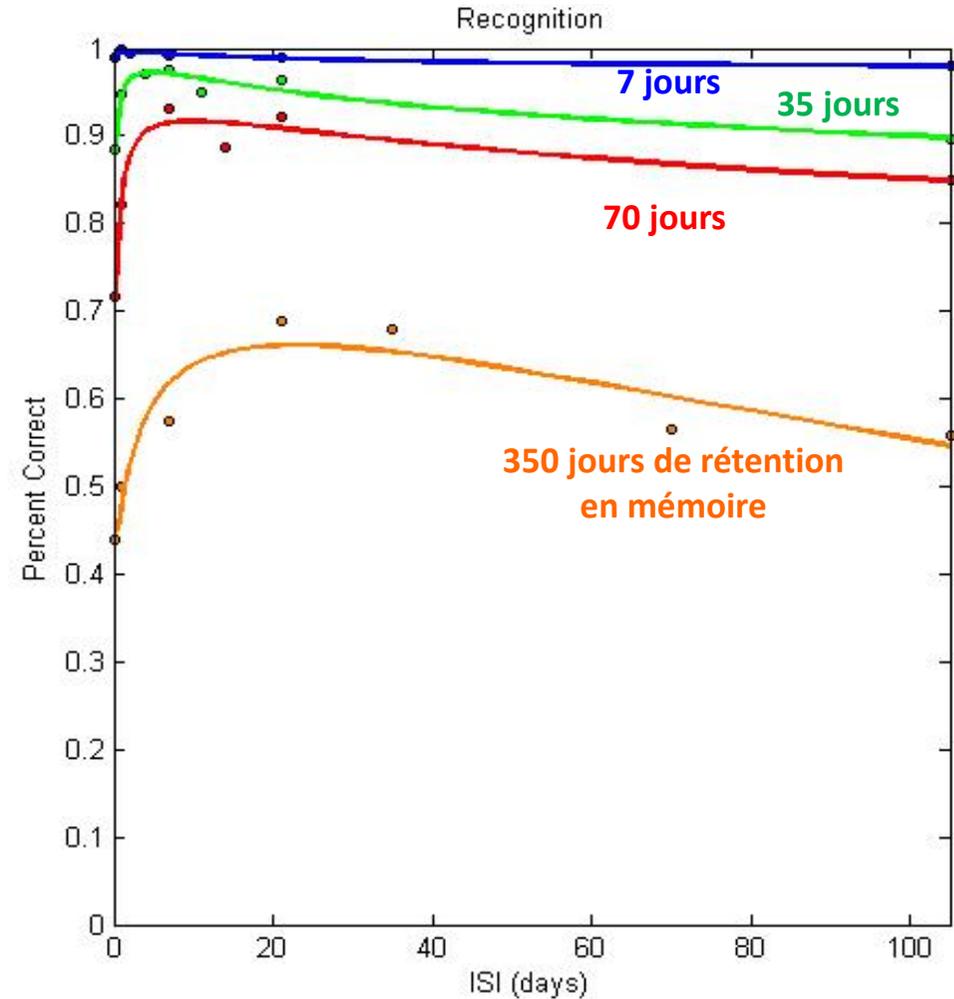
- Session 1: Apprentissage répété jusqu'à atteindre un critère fixe de performances
- Intervalle (ISI) de 0, 7, 14, 21, ou 105 jours
- Session 2: Deux alternances de test et d'étude des mêmes faits
- Durée de rétention de 7, 35, 70 ou 350 jours
- Session 3: Tests de mémoire:
 - Rappel libre
 - Choix multiple parmi 5 possibilités

L'espacement améliore toujours la mémorisation, mais le délai optimal augmente avec la durée de rétention en mémoire

Rappel libre



Choix multiple parmi 5

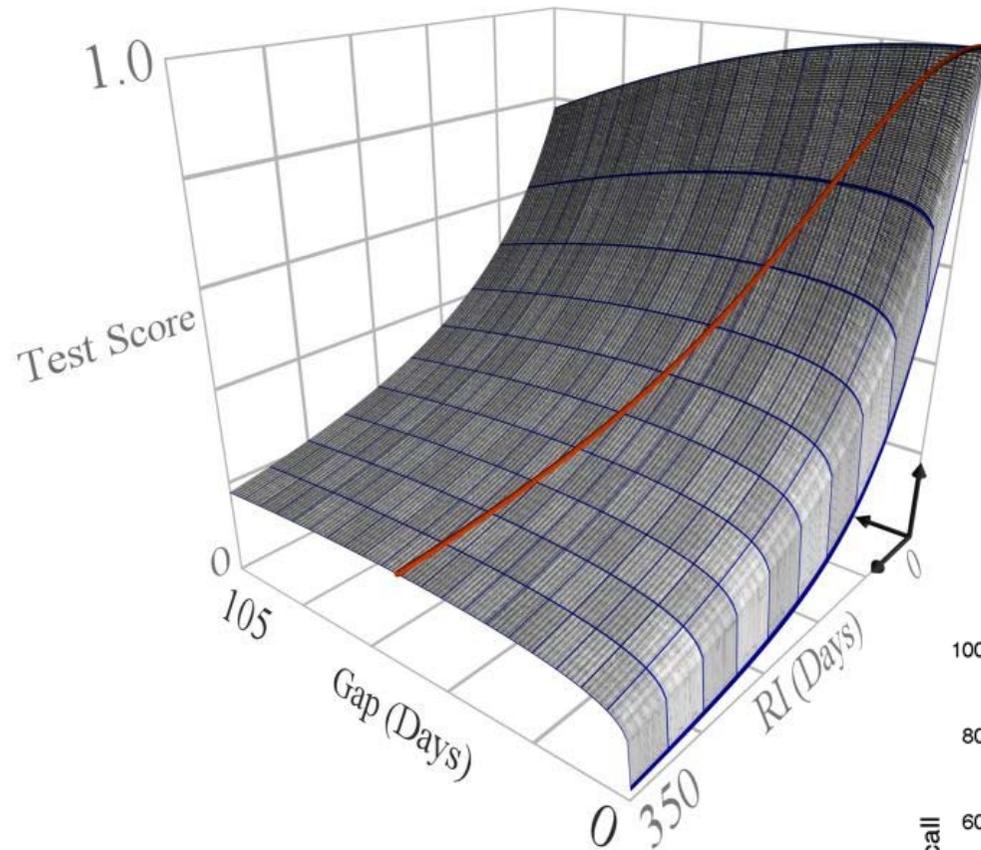


(environ 1400 sujets)

Cepeda, N. J., Vul, E., Rohrer, D., Wixted, J. T., & Pashler, H. (2008). Spacing effects in learning: a temporal ridgeline of optimal retention. *Psychological Science*, 19(11), 1095–1102.

Modélisation multi-échelle de l'oubli

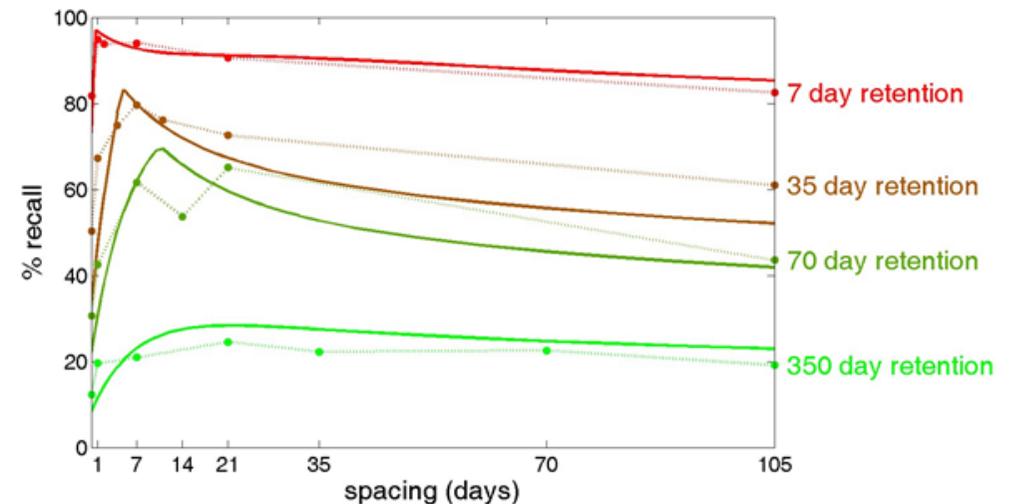
Cepeda, N. J., Vul, E., Rohrer, D., Wixted, J. T., & Pashler, H. (2008). Spacing effects in learning: a temporal ridgeline of optimal retention. *Psychological Science*, 19(11), 1095–1102.



- La mémoire s'efface avec une constante de temps et une asymptote qui varient selon l'intervalle de révision.

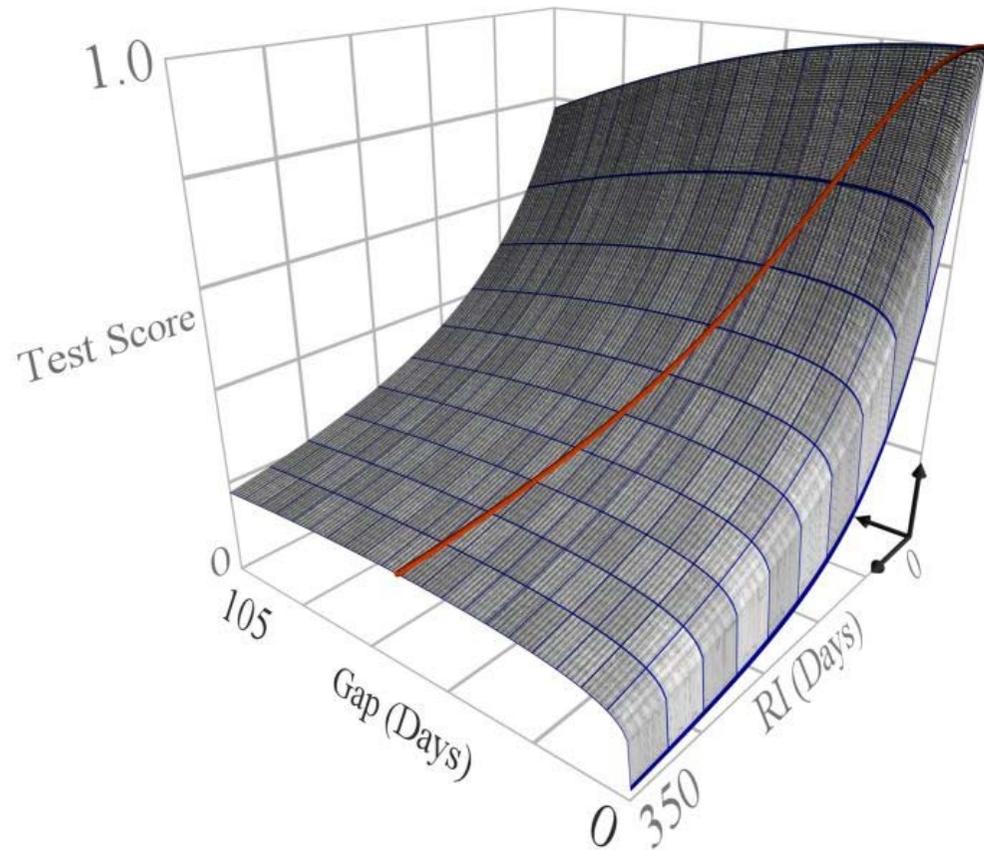
- Modélisation: les traces en mémoire seraient encodées par plusieurs mécanismes opérant à des **échelles de temps différentes**, chacun générant un oubli exponentiel, leur superposition engendre une loi puissance

(Michael Mozer, avec Pashler, Cepeda, Lindsay & Vul, 2009, NIPS; cf John Staddon)



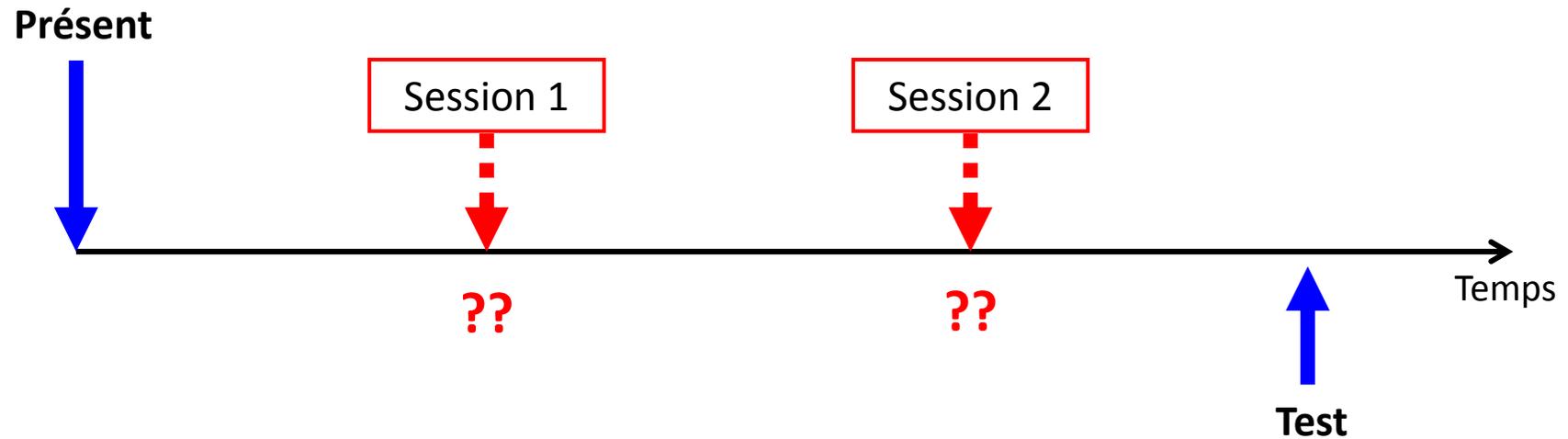
Conclusions: les lois de la rétention optimale

Cepeda, N. J., Vul, E., Rohrer, D., Wixted, J. T., & Pashler, H. (2008). Spacing effects in learning: a temporal ridgeline of optimal retention. *Psychological Science*, 19(11), 1095–1102.

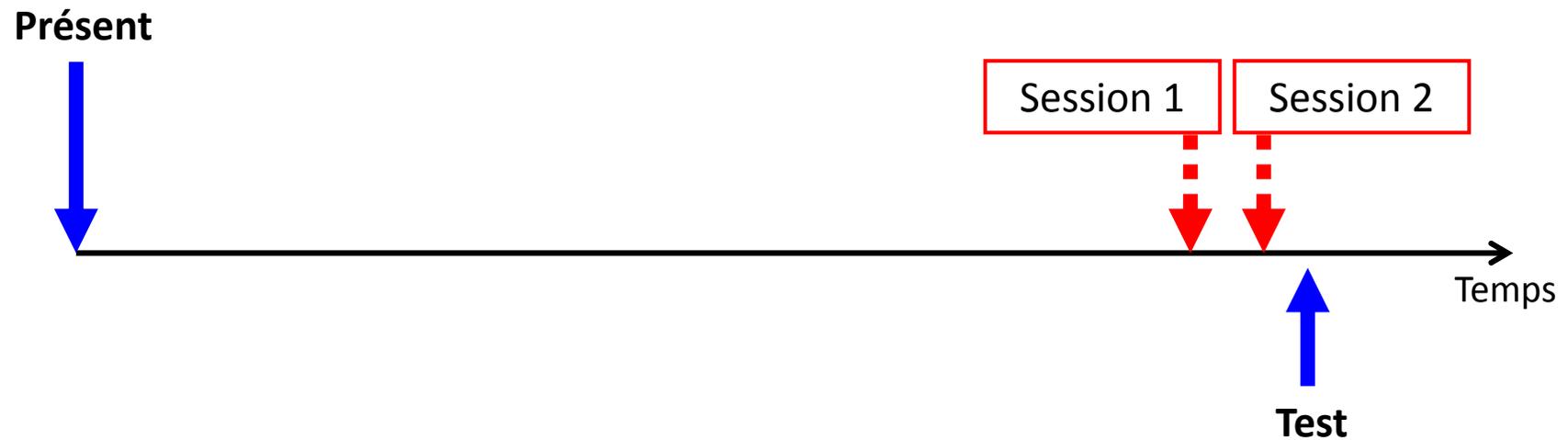


- La répartition de l'apprentissage sur plusieurs périodes, espacées d'au moins un jour, augmente considérablement la rétention en mémoire
 - L'intervalle optimal n'existe pas : pour savoir comment allouer au mieux votre temps d'étude, vous devez d'abord décider pendant combien de temps vous désirez vous souvenir de l'information !
 - La mémoire peut augmenter d'un facteur 2 ou 3 lorsque l'intervalle de révision est optimisé (de l'ordre de 10 à 20% du délai de rétention souhaité)
- Un délai de révision trop court est bien pire qu'un délai trop long
 - Quelles conséquences pratiques? Tout dépend de ce que l'on cherche à accomplir (étudiant ou enseignant) et des contraintes imposées par le déroulé des examens.

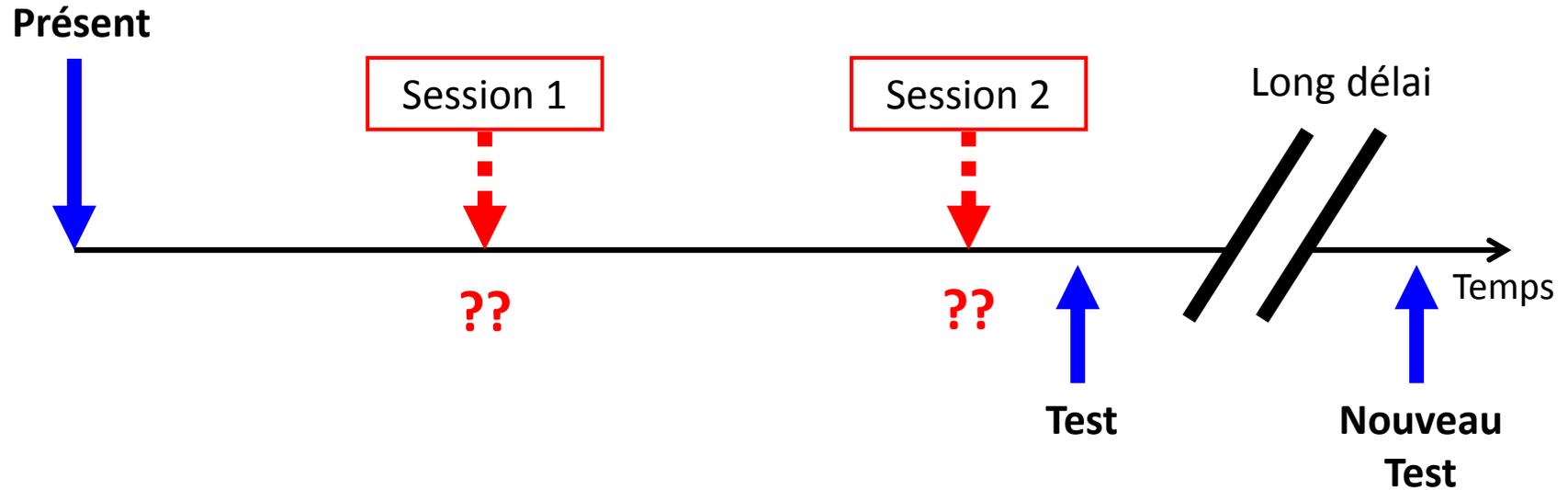
Si vous ne pouvez étudier que deux fois, et que vous voulez maximiser votre performance à l'examen qui a lieu dans six mois, comment devez-vous vous organiser?



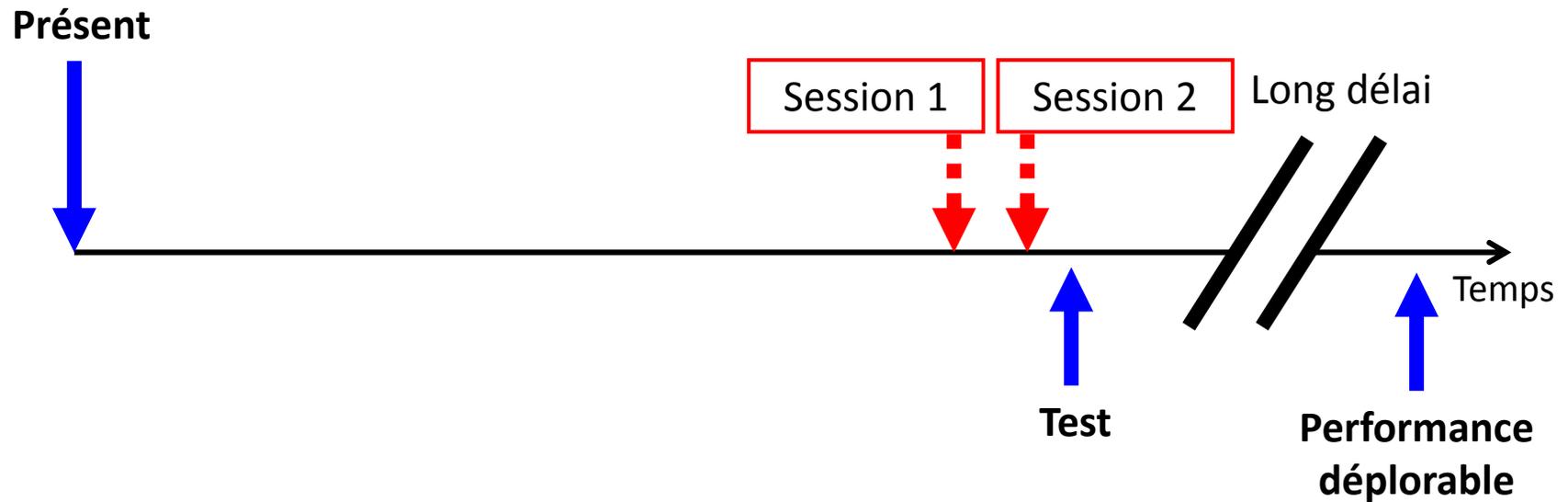
Réponse paradoxale: Tout apprendre à la dernière minute !



Mais.... Quels paramètres permettront de *minimiser* la mémoire nettement plus tard?

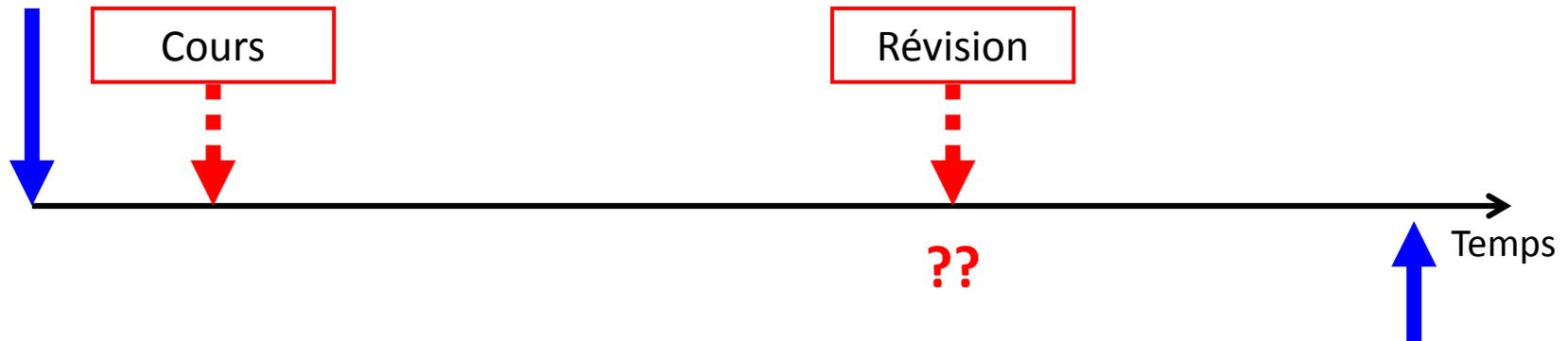


La réponse est la même: Tout apprendre à la dernière minute !



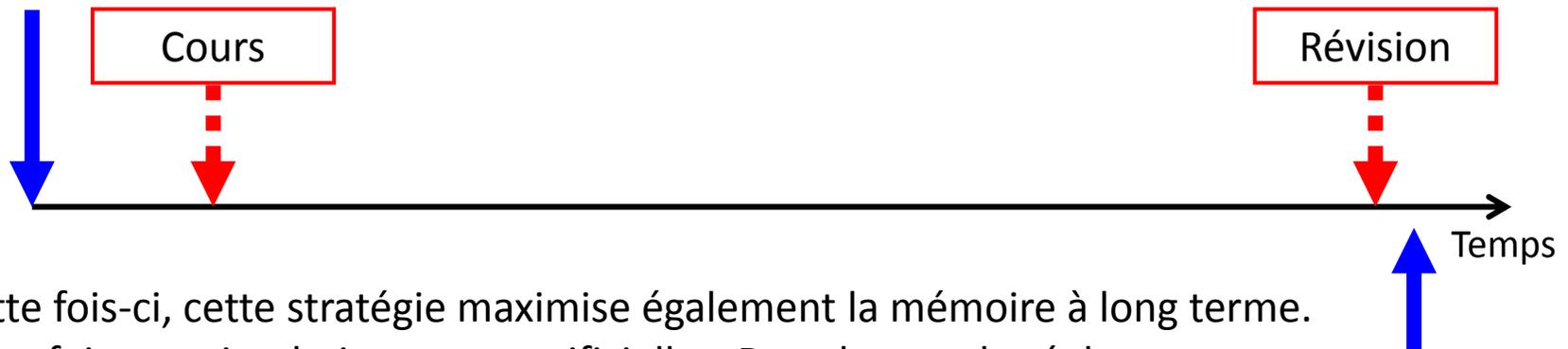
Plus intéressant: Supposons que vous assistiez à un cours, et qu'il y ait un examen dans 3 mois – quand devez-vous réviser?

Présent



La réponse est toujours la même:
Réviser à la dernière minute !

Présent

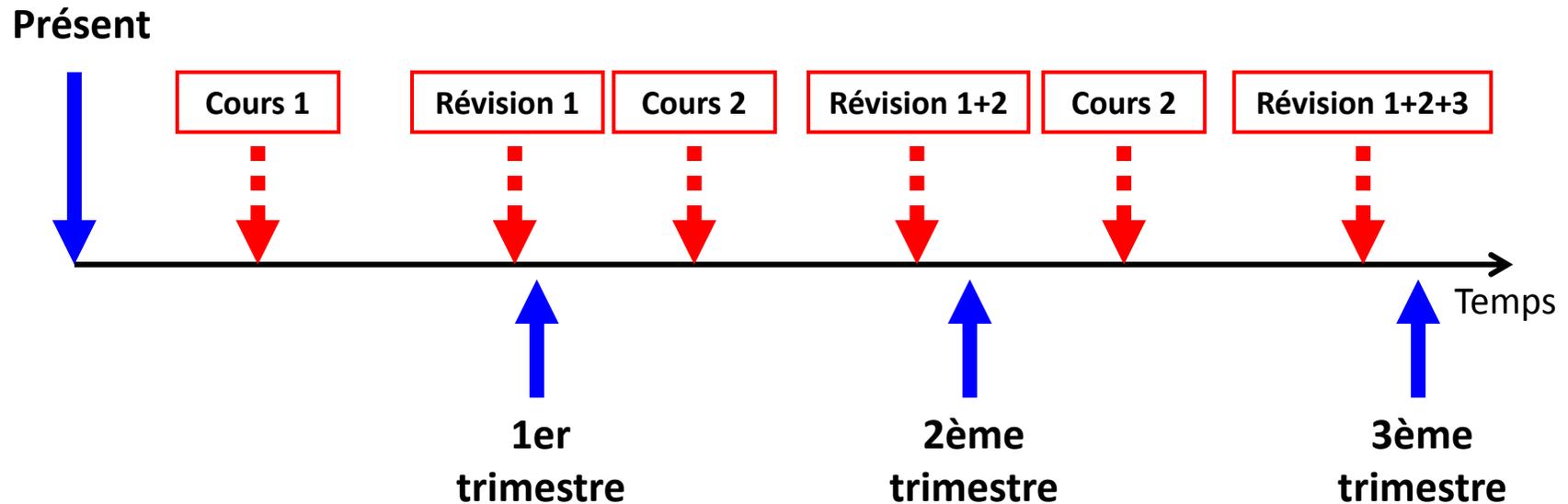


Cette fois-ci, cette stratégie maximise également la mémoire à long terme.

Toutefois, ces simulations sont artificielles. Dans le monde réel :

- On dispose de plusieurs moments pour réviser; il vaut mieux alors alterner de multiples périodes de révision et de test.
- On ne sait pas à quel moment précis nos connaissances pourront être utiles.

L'intérêt des examens multiples: assurer une succession de révisions.



Que faire en cas d'examens multiples? Tout dépend sur quoi ils portent.

Si chaque examen ne porte que sur le trimestre précédent, l'étudiant a intérêt à réviser uniquement les leçons des mois précédents, et ce à la dernière minute.

Du point de vue de l'enseignant, il vaut bien mieux que les examens soient **cumulatifs** et portent sur l'enseignement de toute l'année. En effet:

- l'étudiant sera motivé à réviser, au minimum, avant chaque examen
- cette stratégie se traduira par des gains importants de mémorisation à long terme
- Certains étudiants découvriront peut-être que, pour maximiser la performance tout au long de l'année en minimisant le temps d'étude, il vaut mieux étudier en amont (10-20% du délai final + petites révisions intermédiaires)

Certains travaux suggèrent que, si l'on dispose de plusieurs périodes de révision, un espacement de plus en plus grand pourrait être optimal.

L'espacement croissant garantit la meilleure performance

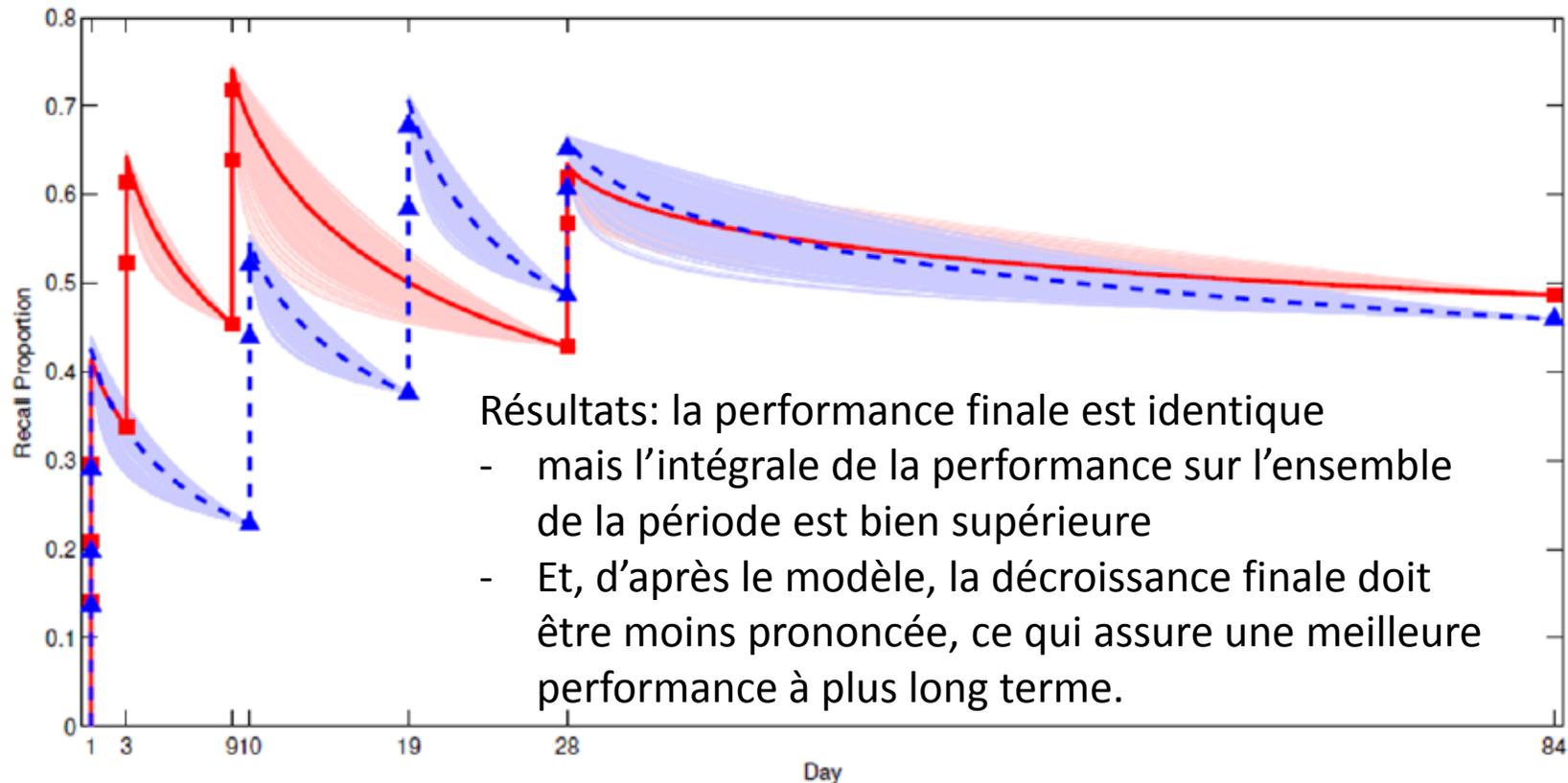
Un test en grandeur nature de l'espacement progressif, sur 12 semaines:

Apprentissage de la traduction en anglais de 60 mots japonais.

Révision régulière avec, à chaque séance, trois alternances de test-révision

2 groupes de sujets:

- Intervalles croissants: Jours 1, 3, 9, 28 (intervalles de 2, 6 et 19 jours)
- Intervalles égaux: Jours 1, 10, 19, 28 (intervalles de 9 jours)



Résultats: la performance finale est identique

- mais l'intégrale de la performance sur l'ensemble de la période est bien supérieure
- Et, d'après le modèle, la décroissance finale doit être moins prononcée, ce qui assure une meilleure performance à plus long terme.

Résumé des implications éducatives



- L'apprentissage gagne à être espacé en plusieurs fois.
- Dans le domaine scolaire, où l'on recherche des effets de mémorisation sur de nombreuses années, l'espacement de quelques jours ou même quelques semaines ne suffit pas – il faut réviser après un intervalle de quelques mois au moins.
- Les examens sont utiles! Ils incitent à la révision de dernière minute, mais ce phénomène est sans doute inévitable et pas forcément inefficace – tout dépend si l'élève a bien fait un effort d'apprentissage longtemps auparavant.
- Les révisions régulières, et donc les examens cumulatifs qui y incitent, présentent des avantages considérables pour la rétention à l'échelle de plusieurs années.
- Une révision partielle chaque année entraîne vraisemblablement le plus grand bénéfice pour l'élève.

Conséquences sur l'organisation des manuels

- La plupart des manuels sont organisés par leçons suivies d'exercices qui portent uniquement sur le sujet de cette leçon:

- Chapitre 1 ; exercices du chapitre 1
- Chapitre 2 ; exercices du chapitre 2
- etc.

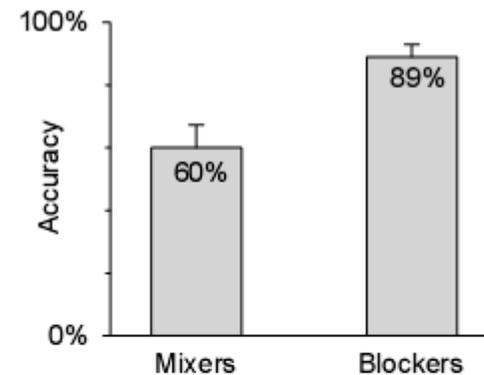
- Conséquences:

- Espacement insuffisant entre l'apprentissage et la révision ou le test.
 - Absence de méta-apprentissage : L'étudiant n'apprend pas à déterminer quelle méthode est la plus appropriée pour un problème donné
- Effectivement, le mélange des exercices améliore grandement la performance en mathématiques.

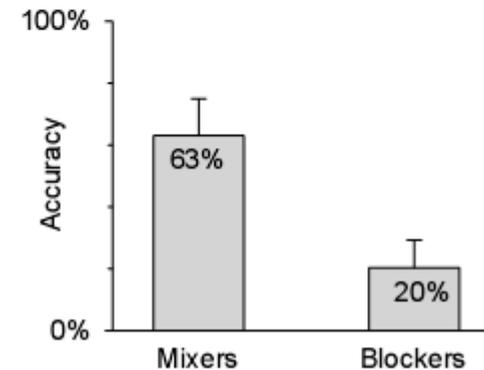
Rohrer, D., & Taylor, K. (2006). The effects of overlearning and distributed practise on the retention of mathematics knowledge. *Applied Cognitive Psychology*, 20(9), 1209–1224. doi:10.1002/acp.1266

Rohrer, D., & Taylor, K. (2007). The shuffling of mathematics problems improves learning. *Instructional Science*, 35(6), 481–498.

B Practice Performance



C Test Performance



Conclusions: Connaître les mécanismes de la mémoire

- Trois facteurs modulent la force de la mémoire et la vitesse de l'oubli:
 1. La profondeur de l'encodage initial:
 - **Faire travailler activement les élèves sur le sens** de ce qu'ils apprennent
 2. L'alternance de périodes d'apprentissage et de test:
 - Ne pas simplement exposer les élèves à un cours magistral, mais les tester en permanence, **leur demander de donner une réponse et corriger leurs erreurs**
 3. La distribution de l'apprentissage en plusieurs fois:
 - **Espacer les séances d'apprentissage** sur plusieurs jours ou semaines, et y revenir plusieurs mois après, ou même l'année suivante.
- **Ces phénomènes sont universels.** L'idée répandue selon laquelle chacun dispose d'un « style d'apprentissage » qui lui est propre, est tout simplement **fausse**.

Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R. (2008). Learning Styles Concepts and Evidence. *Psychological Science in the Public Interest*, 9(3), 105–119.

- Une « méta-conclusion »: La plupart des élèves ignorent ces phénomènes et étudient avec des méthodes inefficaces.

Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. J. G. (2013). Do Learners Really Know Best? Urban Legends in Education. *Educational Psychologist*, 48(3), 169–183.



→ Nous ne pouvons pas nous appuyer uniquement sur nos intuitions pour optimiser l'école. Éducation fondée sur la preuve (*cf. evidenced-based medicine*)