

Improving transfer of problem-solving skills through worked-examples and analogy? A 5th grade classroom study

Louis Bourgaux, André Tricot, Margaux Tissot, Emmanuel Sander,
Lucas Raynal and Pierre Tchounikine

The Overall Context

Project Overview: ASTRAPI



Project funded by the ANR and the FNS
2022-2026



FONDS NATIONAL SUISSE
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UGA
Université
Grenoble Alpes



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

ASTRAPI Project



Project funded by the ANR and the FNS
2022-2026



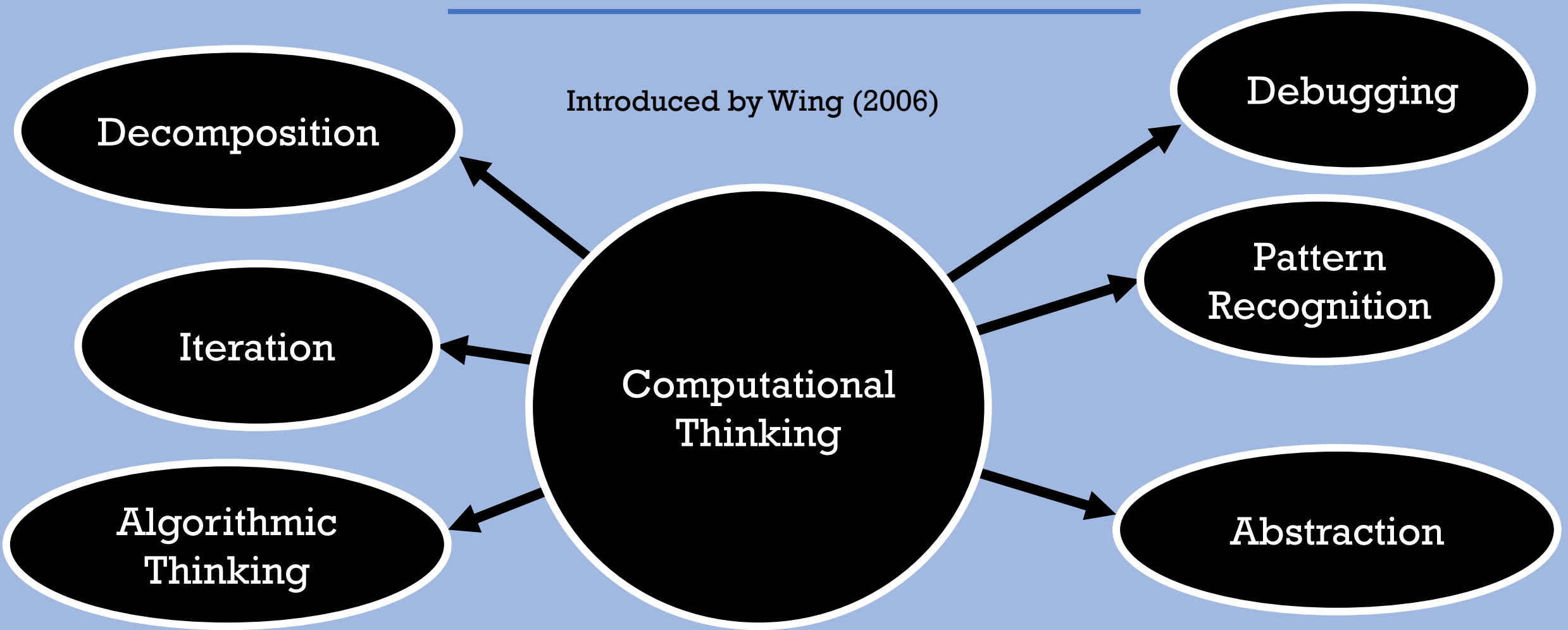
FONDS NATIONAL SUISSE
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Learning and Analogical Transfer of Computational Thinking

Computational Thinking (CT)

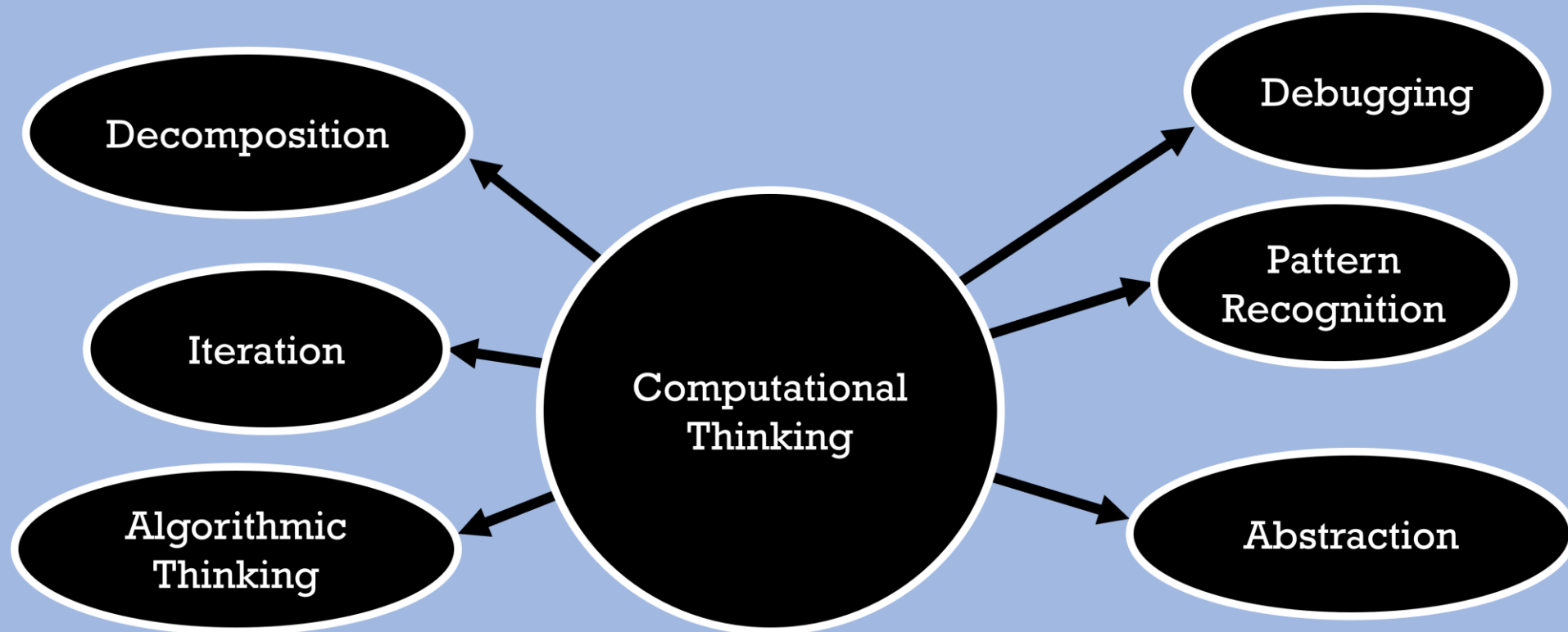
Introduced by Wing (2006)



A set of sub-skills

Computational Thinking (CT)

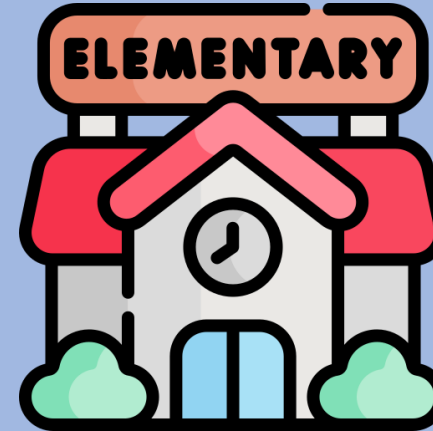
Set of sub-skills crucial for overall problem-solving



**21st-century skill and general ability
(Barr, Harrison, & Conery, 2011; Bocconi et al., 2016)**

Teaching Computational Thinking (CT)

5th Grade Classrooms



Problem-based learning



Example

Encourage systematic strategy and algorithmic thinking



Marius needs to unlock his lock using a two-digit code. The digits can be 0, 1, 2, or 3. However, he has forgotten the code and cannot open the lock. Can you help Marius determine all the possible codes he should try to ensure he finds the correct one?

Solution :

0 – 0	1 – 0	2 – 0	3 – 0
0 – 1	1 – 1	2 – 1	3 – 1
0 – 2	1 – 2	2 – 2	3 – 2
0 – 3	1 – 3	2 – 3	3 – 3

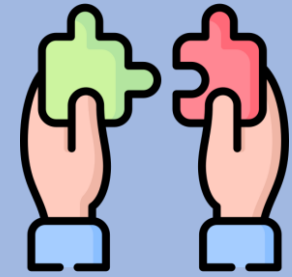
Transfer of Knowledge

Transfer of knowledge is very important aspect in education.

Ability to apply learned skills or concepts to new contexts, problems, or domains
(Barnett & Ceci, 2002)

Instructional approaches

Problem-solving



Worked-examples



Worked-examples +
Analogy



The present Experiment

Example

Congruent Problem :



Marius needs to unlock his lock using a two-digit code. The digits can be 0, 1, 2, or 3. However, he has forgotten the code and cannot open the lock. Can you help Marius determine all the possible codes he should try to ensure he finds the correct one?

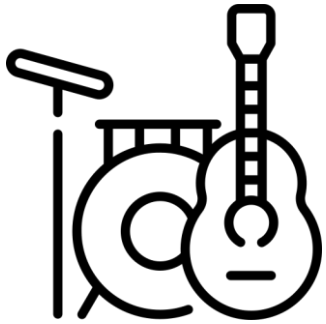
Solution :

0 – 0	1 – 0	2 – 0	3 – 0
0 – 1	1 – 1	2 – 1	3 – 1
0 – 2	1 – 2	2 – 2	3 – 2
0 – 3	1 – 3	2 – 3	3 – 3

Semantic Congruency (Gros & Sander, 2020)

Example

Incongruent Problem :



In a musical band, two musicians, Alex and Bella, each have the ability to play four different instruments: Guitar, Piano, Drums, and Violin. Can you list all the combinations of instruments Alex and Bella can play together?

Solution :

Guitar + Guitar
Guitar + Piano
Guitar + Drums
Guitar + Violin

Piano + Guitar
Piano + Piano
Piano + Drums
Piano + Violin

Drums + Guitar
Drums + Piano
Drums + Drums
Drums + Violin

Violin + Guitar
Violin + Piano
Violin + Drums
Violin + Violin

Semantic Congruency (Gros & Sander, 2020)

Experimental Design

450 5th Graders were recruited:

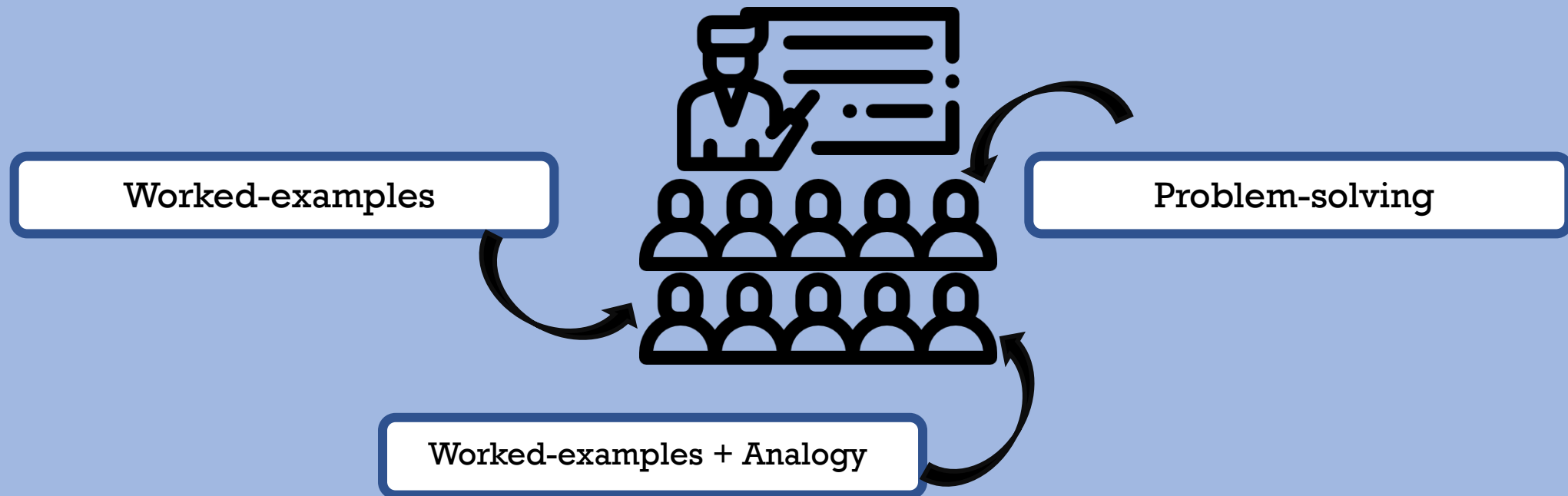
Switzerland = 10 Classes

N = 200

France = 11 Classes

N = 250

Teaching Congruent and Incongruent problem





Experimental Design

1st Session :
Intervention - 1 hour

2nd Session :
Post-tests - 1 hour

Problem-solving

Worked-examples

Worked-examples +
Analogy

Problem-Solving Task

Categorical Task

Instructions – Condition-specific Booklet

Problem-solving

- Classical problem-solving
 - No guidance
- Congruent and incongruent problems were presented sequentially

Exercice 2 :

Grégory essaie différents ensembles de vêtements chauds pour trouver l'ensemble qui est le plus joli. Il essaie à chaque fois un bonnet : un bonnet marron, un bonnet jaune ou un bonnet turquoise; une paire de gants : des gants gris, des gants bleus, des gants verts ou des gants rouges; et enfin une écharpe : une écharpe orange ou une écharpe noire.

Grégory commence par essayer l'ensemble "bonnet marron - gants gris - écharpe orange".

Aide Grégory à trouver tous les autres ensembles « bonnet - gant - écharpe » qu'il devra essayer s'il veut essayer tous les ensembles possibles.

On peut écrire uniquement la première lettre des mots pour aller plus vite.

Instructions – Condition-specific Booklet

Worked-examples

- Step-by-step explanations
- Questions to help understand the procedure and strategy, including self-explanation prompts
- Congruent and incongruent problems were presented sequentially

Exercice 2 :

Grégory essaie différents ensembles de vêtements chauds pour trouver celui qui lui plaît le plus. Il essaie à chaque fois un bonnet qui peut être : de couleur Marron, Jaune ou Turquoise; des gants: de couleur Gris, Bleus, Verts ou Rouges; et enfin une écharpe : de couleur Orange ou Noire.

Grégory commence par essayer l'ensemble "Bonnet Marron - Gants Gris - Echarpe Orange".

Aide Grégory à trouver tous les autres ensembles « Bonnet - Gant - Echarpe » qu'il devra essayer s'il veut essayer tous les ensembles possibles.

Correction :

Nous allons voir une méthode qui permet de répondre à la question sans se perdre ni oublier un ensemble.

Je continue :

Bonnet	Gant	Echarpe
Marron	Gris	Orange
Marron	Gris	Noire
Marron	Bleus	Orange
Marron	Bleus	Noire
Marron	Verts	Orange
Marron	Verts	Noire

Maintenant, je passe aux gants suivants. J'ai écrit les ensembles avec les gants Gris et Bleus, pour continuer, j'ai le choix entre les gants Verts et les gants Rouges. Je choisis ceux qui viennent après les gants Bleus : les gants Verts. J'écris les ensembles bonnet Marron - gants Verts avec l'écharpe Orange puis Noire.

Question 1:

Nous avons deux couleurs d'écharpe, à chaque fois que j'écris les ensembles je commence toujours par la même couleur: _____ puis j'écris la deuxième qui est: _____.

Cet ordre est respecté pour tous les ensembles qui seront écrits.

Instructions – Condition-specific Booklet

Worked-examples + Analogy

- Congruent and incongruent problems were presented side by side along with step-by-step explanations
- Questions compared the two problems, highlighting their differences and similarities.

Exercice 1 :

Martha a participé à plusieurs compétitions de football : la compétition de sa ville, puis la compétition de son pays, puis la compétition du monde. A chaque compétition, elle a passé différents étapes : le huitième de finale, le quart de finale, la demi-finale et la finale. A chaque étape, elle a gagné les deux rencontres : la rencontre aller, puis la rencontre retour. Le premier match que Martha a joué était donc "compétition de sa ville - première étape - rencontre aller".
Quels sont tous les matchs « Compétition - Etape - Rencontre » que Martha a joués après ce premier match ?

Correction :

Nous allons voir une méthode qui permet de répondre à la question sans se perdre ni oublier un match.

Comp	Etape	Rencontre
Ville	Huitième	Aller
Ville	Huitième	Retour
Ville	Quart	Aller
Ville	Quart	Retour
Ville	Demi	Aller
Ville	Demi	Retour
Ville	Finale	Aller
Ville	Finale	Retour

Pour finir d'écrire les matchs de la compétition de la ville, je passe à l'étape suivante. J'ai écrit les matchs du Huitième, du Quart et de la Demi-finale. compétition de la ville. Pour finir, il me reste le 4^{ème} tour. J'écris les matchs Aller puis Retour pour la compétition de la ville - 4^{ème} tour.

Exercice 2 :

Grégory essaie différents ensembles de vêtements chauds pour trouver celui qui lui plait le plus. Il essaie à chaque fois un bonnet qui peut être : de couleur Marron, Jaune ou Turquoise; des gants: de couleur Gris, Bleus, Verts ou Rouges; et enfin une écharpe : de couleur Orange ou Noire. Grégory commence par essayer l'ensemble "Bonnet Marron - Gants Gris - Echarpe Orange".
Aide Grégory à trouver tous les autres ensembles « Bonnet - Gant - Echarpe » qu'il devra essayer s'il veut essayer tous les ensembles possibles.

Correction :

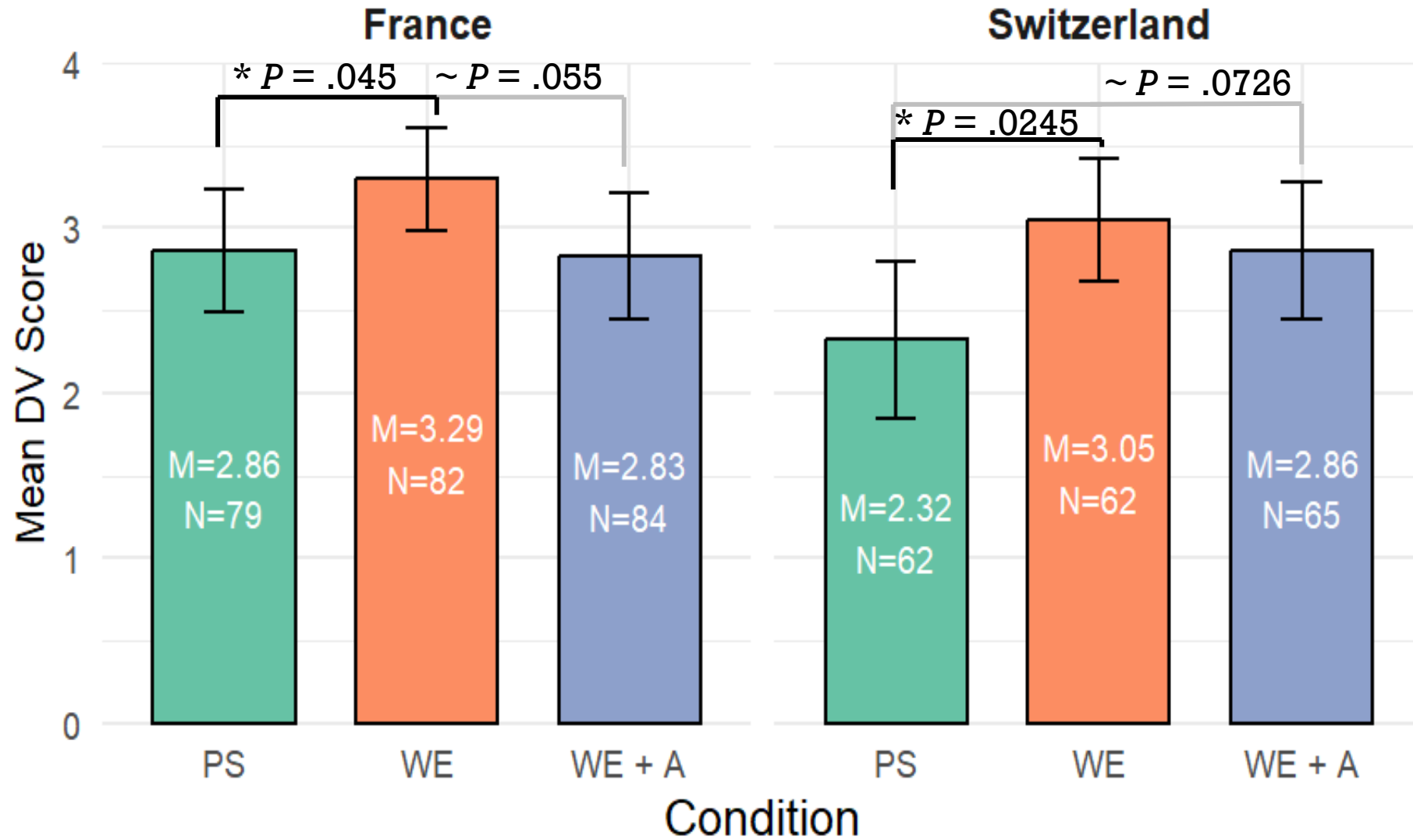
Nous allons voir une méthode qui permet de répondre à la question sans se perdre ni oublier un ensemble.

Je continue:

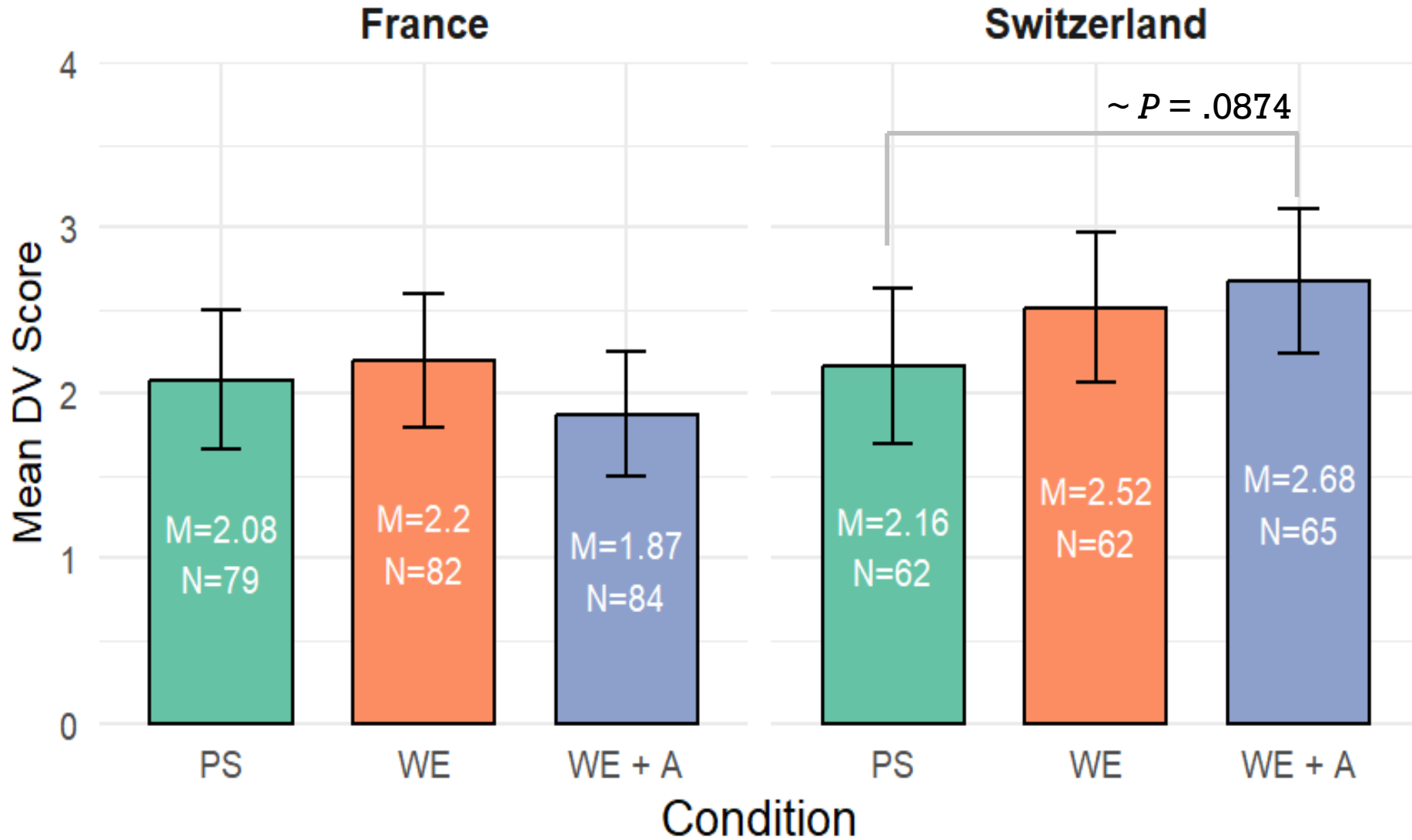
Bonnet	Gant	Echarpe
Marron	Gris	Orange
Marron	Gris	Noire
Marron	Bleus	Orange
Marron	Bleus	Noire
Marron	Verts	Orange
Marron	Verts	Noire
Marron	Rouges	Orange
Marron	Rouges	Noire

Results

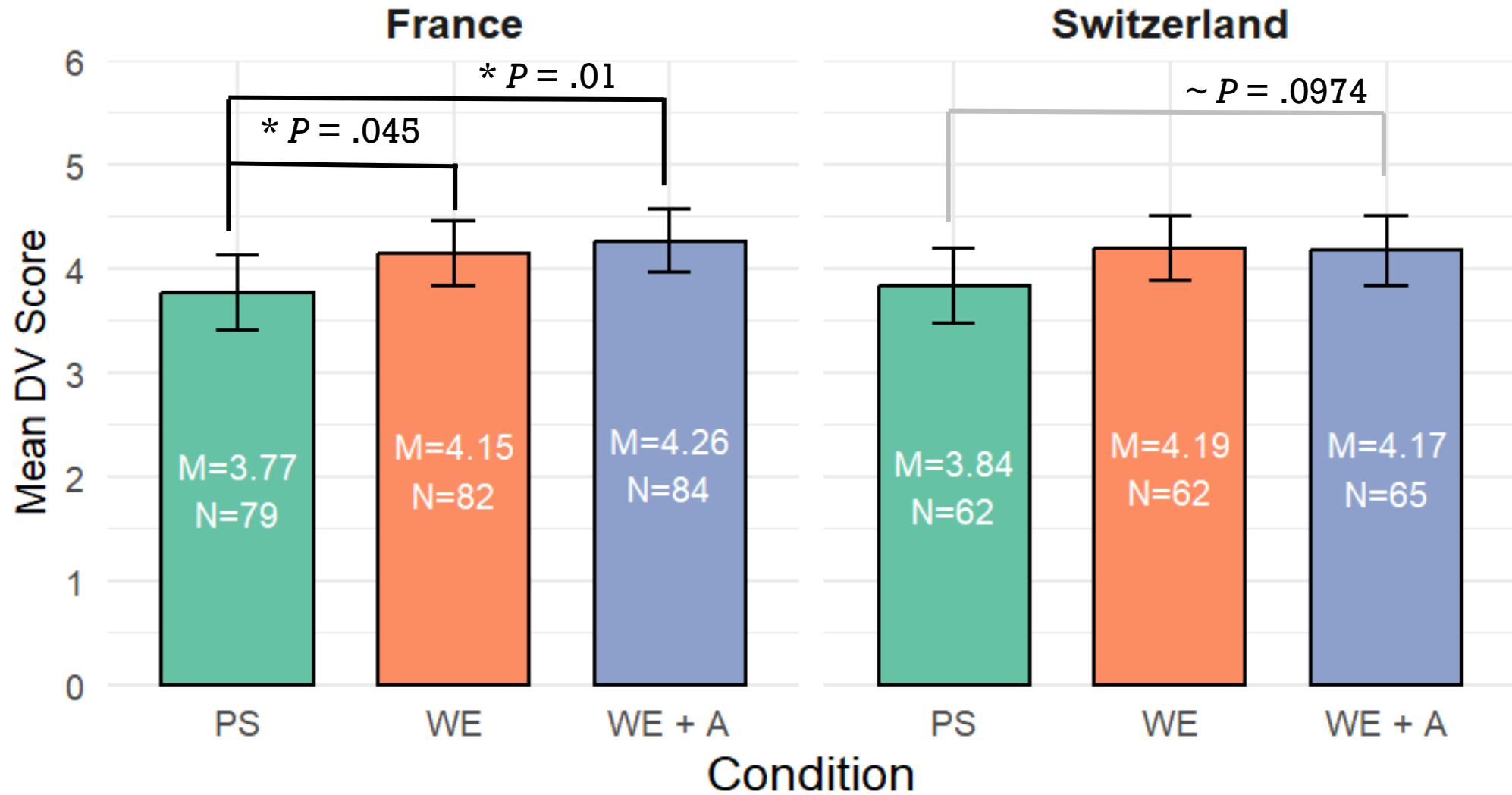
Congruent Problem-solving Score



Incongruent Problem-solving Score



Categorical Score



Results

- Worked-examples conditions tend to outperform those in the problem-solving condition on problem-solving and categorical tasks
- WE + Analogy shows potential for better categorization and Incongruent problem but lack consistency

Limits & Future explorations

- Measure Cognitive load
- Investigating the impact of longer interventions and multiple measures to capture the dynamic evolution of learning
- Scaffolded learning, combining the different instructional approaches
 - Extending studies to middle and high school populations
 - Continue to explore the WE + A

Conclusion

- Examining unplugged and non-programming activities to foster the development of computational thinking in early education
- Exploring the effects of instructional methods like WE and their variations, such as WE+A, on learning and transfer.

THANK
YOU!



References

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.

Gros, H., Thibaut, J. P., & Sander, E. (2020). Semantic congruence in arithmetic: A new conceptual model for word problem solving. *Educational Psychologist*, 55(2), 69-87.

Icons from Flaticon – flaticon.com