

## 題目：S.T.E.A.Maths——剪紙工程

講者： 李春婷女士（教育局 小學校本課程發展組）  
鄧君耀老師（九龍城浸信會禧年小學）

### 引言

隨著全球的教育發展趨勢，近年香港積極推動 STEM 教育，致力裝備學生應對本地及國際社會因經濟、科學及科技的急速發展所帶來的轉變和挑戰。教育局課程發展議會於 2017 年編訂的《數學教育學習領域課程指引（小一至中六）》中，提及在現行課程加強 STEM 教育的目標，旨在培育多元人才，提升香港的競爭力。

在上述課程指引中提到「在香港現行課程中，STEM 教育是透過科學、科技及數學教育各學習領域來推動」（課程發展議會，2017，頁 35），而在小學的課程結構中，常識科為跨學科科目，涉及個人、社會及人文教育、科學教育與科技教育三個學習領域的學習，當中科學教育和科技教育這兩個學習領域在 STEM 教育之中，於是，學校普遍以常識科作為切入點推動 STEM 教育。然而，數學科的角色和作用又是什麼呢？綜觀來說，學校多安排數學科為發展 STEM 教育的支援角色，而數學知識和技能用作為工具，幫助學生在現實生活情境解決問題。那數學的功能是否只是如此呢？數學科可以如何發展 STEM 教育，而 STEM 教育又如何幫助學生在數學科，又或是其他科目的學習呢？

Li 與 Schoenfeld (2019) 提出「確實，所有的 STEM 教育都是建構意念的活動」，教學重點應該聚焦在學生於學科中的學習經歷——環境所提供的直觀功能(affordances)，幫助學生在學科建構意念。要有效發揮數學科在 STEM 教育的角色，教師不能只教授數學知識和技能，更應該著重發展學生對數學的觸覺，培養他們由數學的角度去發掘和理解問題。因此，我們參考教育局課程發展處數學教育組出版的《學校數學通訊 第二十一期》，當中建議的模式「M：以數學語言理解生活經驗的意識，從而進一步界定探究的問題；E：從問題出發，設計解難所需模型；T：協商探討為解決問題創造所需工具（包括電腦軟件的使用）；S：利用實驗進一步探索相關的自然環境現象」（羅浩源，2017，頁 9），在設計小四「周界(一)」的學習單位時，以數學科(M)作為起點去推動 STEM 教育，並在當中滲入工程設計流程(E)，讓學生設計模型進行紙藝創作。此外，我們考慮學校的發展需要，規劃跨課程學習，嘗試加入較少涉獵的科目，統整相關科目的課程內容，讓學生的學習融會貫通，達致知識遷移；配合學校的發展主題「感恩」，以相關的生活情境引入，並把完成的作品送給家人，表達感恩的心，實踐情意教育。

## 課程調適

為有計劃部署跨課程活動，支援人員與課程領導於上學年 6 月，按上述提及的發展模式，探討合適推展的科目，並作行政和人事安排。有別於過去學校透過常識科推展 STEM 教育，今次 STEM 活動焦點由數學科出發，研究如何滲入工程設計流程，並在其他相關科目(揀選過去較少涉獵的科目)應用所學，解決問題並進行創新。另外，考慮相關科目的有限課時，以及跨課程活動的規模，最後決定由數學科、視藝科和聖經科合作，配合學校的發展主題「感恩」，讓學生透過製作立體心意咭，綜合應用數學及工程的知識和技能，解決問題，並透過創作個人作品，展現正面的價值觀和態度。

在組織跨課程學習的過程中，我們為涉及的科目進行定位，由數學科發現問題，應用所學的知識和技巧，進行簡單的立體心意咭設計；視藝科則讓學生揉合數學科所學，發揮創意，進行紙藝創作；聖經科則帶出感恩的主題，散播正向思考和感恩的心，進行情意學習。其後，就著各科目的角色，進行課程統整，把科目的學習重點連繫起來，並編排合適的學習內容和進度，讓學生的學習能夠更深更廣，融會貫通。

部分研究報告(Honey, Pearson, 與 Schweingruber, 2014); 及 Thibaut 等, 2018)提出，STEM 活動的設計若能突顯與其他科目的連繫，對學生在不同科目的學習都能帶來正面影響。因此，為加強 STEM 活動與相關科目的連繫，有別於跨課程活動多安排在試後活動時段，刻意安排在常規課程內進行，作為「周界(一)」學習單位的延伸活動，培養學生發現應用所學的觸覺，加深對數學概念的印象。

## 專業發展

由於學校初次以此模式發展 STEM 教育，支援人員為教師加強專業發展活動，透過提供充足的支援，並持續促進教師的反思，提升活動成效。首先，支援人員為全體數學科教師安排工作坊，讓他們了解在數學科推行 STEM 教育的可行發展方向和組織有關學習活動時的注意事項。其次，進行兩個教學循環的課堂研究，由其中兩班(不同能力的班別)先進行活動，並即時檢討成效，以幫助之後施教的班別作教學調整。最後，透過「實證為本」(Evidence-based)的方式進行教學反思和優化設計，提升教師的專業能量。除蒐集攝錄的課堂片段、學生作品和反思等以檢視學生的學習顯證外，更刻意安排能力相若班別的教師為一組進行協作教學(Co-teaching)，並由原科任教師作主導，另一教師作支援，讓教師有更多的空間去觀察學生於分組活動過程中的不同表現，更為準確評估學生表現以優化其後教學設計。

## 教學設計

### 1. 教學法的轉變

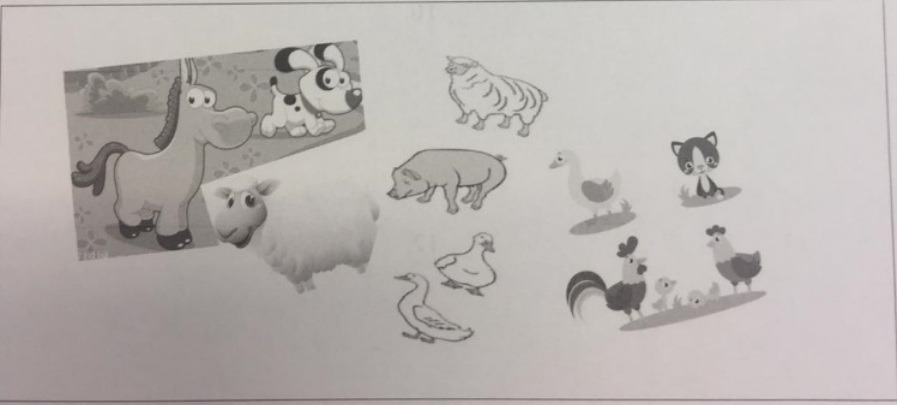
在數學教育中的兩類知識獲得廣泛討論，即「程序知識及概念知識」(課程發展議會與香港考試及評核局，2007，頁 75)，程序知識是指學生對解決數學問題程序的認識，而概念知識是指學生對數學概念的認識，兩者對數學的學習都是十分重要，但教師一般側重對程序知識的教學，忽略與學生討論概念知識。由於今次 STEM 活動的重點為發展學生對運用數學知識發掘問題的觸覺，學生需要對數學概念有透徹的理解，尤其是數學知識的產生和解決程序的操作原理，這樣不但為數學學習賦予意義，更能引發學生在發現問題的同時，自然運用過去所學來解

決問題。因此，我們透過兩方面，包括預習設計讓學生透過生活例子經歷「周界」概念的產生；以及實作活動讓學生理解移動邊線找出平面圖形「周界」的必要性及背後原理。

在預習設計中，學生代入為農場主人的角色，設計合適的圍欄防止動物們走失，從認識圍欄形狀具備「不能有任何缺口」的特性，帶出「閉合圖形」的定義，連繫圍欄即周界的概念[圖一]。

傑克是農場的主人，他飼養了一些動物。為了避免動物們迷路，傑克決定在農場外圍築起圍欄，但是他不知道如何設計適合的圍欄。

假如我是傑克，我會把圍欄這樣設計：（請畫出你的設計）




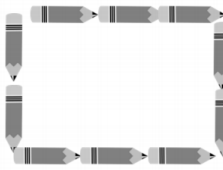
這個設計的特色是\_\_\_\_\_，目的是\_\_\_\_\_。

\*這是一個\_\_\_\_\_圖形。（參考4上B課本 P.50-51 頁）

圖一：由設計圍欄引申周界概念的教學設計

在實作活動中，學生藉著比較不同圖形周界的長度，發現形狀不同的圖形都可以有相同長度的周界，從而討論改變平面圖形的形狀，以求周界的必要性[圖二]，並由此討論例子和非例子，理解平移邊線計算周界的背後原理，非由教師直接講授操作程序[圖三]。

數一數(自訂周界單位)

<p>多邊形 A</p>  <p>多邊形 B 的周界長_____枝鉛筆。</p>	<p>多邊形 B</p>  <p>多邊形 B 的周界長_____枝鉛筆。</p>
---	--

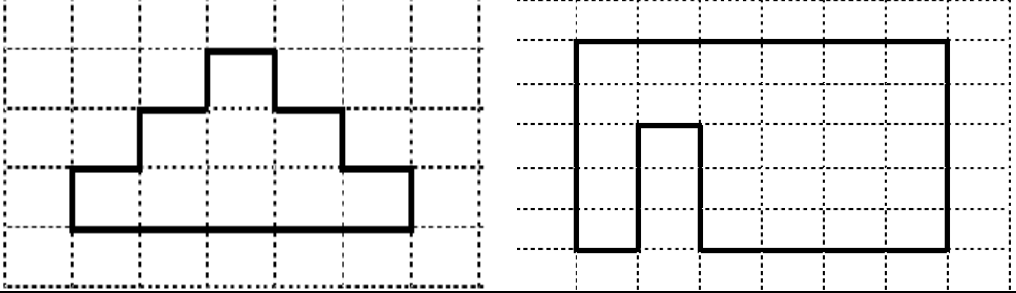
找一找  
多邊形 A 和多邊形 B 的\_\_\_\_\_相同。

想一想  
計算周界時，將一些特定的多邊形圖形移邊成長方形或正方形時，有什麼好處呢？

圖二：有相同周界不同形狀的例子

**討論題**

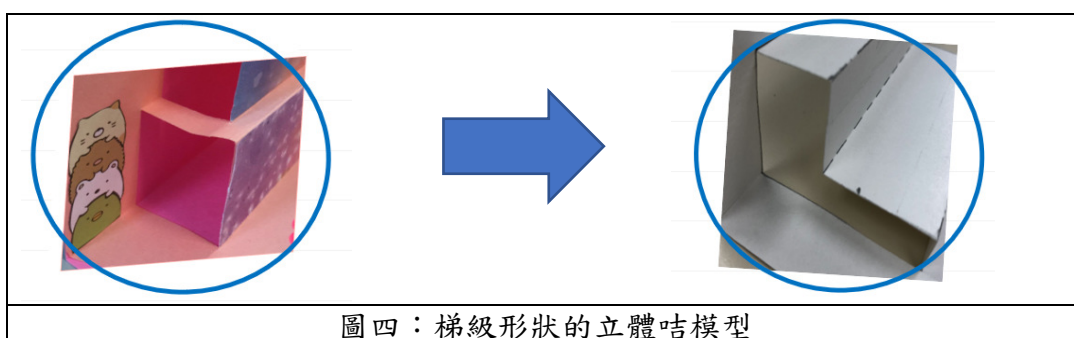
如要將下面的多邊形圖形移動成長方形，會遇到什麼問題呢？  
計算多邊形的周界時，又應怎樣處理？



圖三：可平移計算周界的例子和非例子

## 2. STEM 活動教學設計

這次立體心意咭製作活動，旨在讓學生透過摺紙和剪紙，自行發現當立體咭摺起呈直角時，開口位置所形成的四邊形，能夠運用所學의 平移邊線原理，製作開口位置呈梯級形狀的立體咭[圖四]。學生能運用之前發現數學知識的學習方式所培養的數學觸覺，配合不斷改善設計的工程設計流程，以及教師提供的充足鷹架，建構解決問題的思維模式。



### 於教學中滲入工程設計流程


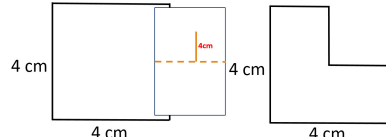
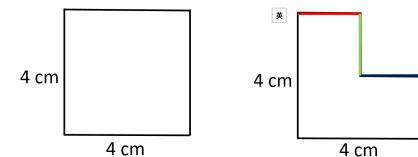
在教師與學生討論的過程中，滲入工程設計流程的理念，讓學生從嘗試中逐步修訂，掌握原理，並進行創新，製作不同的心意咭模型。教師首先參考工程設計流程(The Works Museum, 2019)，並由學生的角度思考學習活動的編排，大致分為以下六個階段：

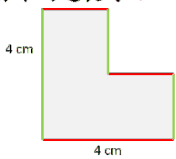
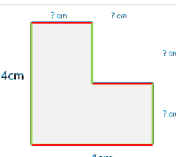
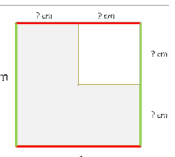
1. 透過觀察成品或半製成品，發現需要解決的問題
2. 猜想運用了什麼原理或操作，和同儕互相討論以獲取更多資訊
3. 藉著與同儕討論，設計個人認為最合適的模型
4. 把個人設計進行試作，建立初步想法
5. 驗證個人的想法是否合理
6. 思考如何改善設計，以改良模型

## 預測學生表現，提供恰當的鷹架

基本上，若學生只跟從這套流程進行設計是不足以發現原理以製作模型，教師的角色十分重要，除需按學生程度設計教學外，更要在過程中提供適當的鷹架，並給予學生充足的機會投入學習(Honey 等,2014)。因此，四年級的科任教師嘗試製作並找出學生預期會出現的問題和教學難點，按自己班別的需要調整教學設計。教師首先透過讓五年級學生在課餘時間嘗試製作，觀察學生實際操作效果，發現他們表達概念的能力一般，所以在設計四年級的活動時會再細分教學，並加入更多提示、檢查表等輔助學習。

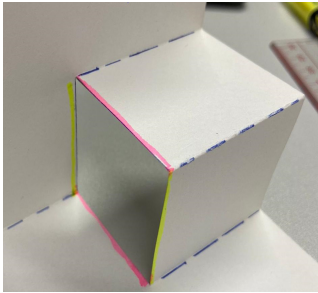
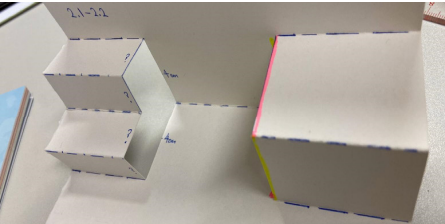
以下為教師們所預測的教學難點，以及對應方法：

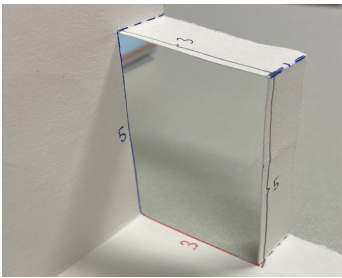
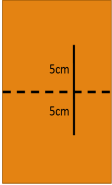
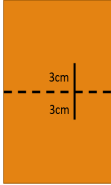
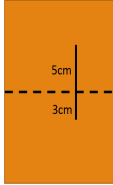
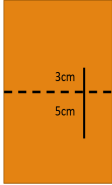
預測的教學難點	對應教學方法
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 學生的空間感不足，或未能將平移邊線的概念應用於實物</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 在學生有困難時，提供半製成品的實物以輔助思考</li> <li>● 預先設計引導問題，並多讓學生透過觀察、試作、檢討、交流得出結果</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 對摺紙專有名詞的認識</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 在繪畫摺紙圖樣時，簡化用詞，用虛線代表「摺」、實線代表「剪」，取代山線、谷線、摺線、切割線等詞彙</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 繪畫平行線與垂直線的技巧</li> <li>● 學生理解程度不一</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 加入檢查表，讓學生檢查自己有否完成需要的步驟，以作修訂，同時可以在教師以外獲得指引[圖五]</li> </ul> <div data-bbox="539 1010 1453 1406" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;"><b>任務(一)：剪出一個邊長 4 cm 的正方形開口</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>我做到了：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 把紙張平行對摺，沒有任何一邊突出。 <input type="checkbox"/></li> <li>2. 繪畫摺紙圖樣時用直尺量度，並畫出長 4cm 的垂直線。 <input type="checkbox"/></li> <li>3. 用一刀剪出開口。 <input type="checkbox"/></li> <li>4. 用虛線畫出摺痕。 <input type="checkbox"/></li> </ol> </div> <p style="text-align: center;"><b>圖五：檢查表</b></p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 教師會作分層教學設計，照顧學生的學習差異，為能力一般學生細分教學步驟，給予更多提示和圖例[圖六]</li> </ul> <div data-bbox="478 1525 1453 1995" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;"><b>能力較佳學生</b></p> <p>任務(二)： 從一個正方形開口製作以下的梯級形狀</p>  </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;"><b>能力一般學生</b></p> <p>活動(三)： 怎從正方形開口的立體變成一個梯級形狀的立體？</p>  <p>梯級的每條邊長度一樣，那長度是多少？</p>  </div> </div> </div>

	<p>1. 先把互相平行的邊用兩種顏色標示</p> <p>2. 已知原本的邊長為4cm</p>  <p>3. 將邊平移出來</p>  <p>4. 梯級邊長是多少?</p> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 過於考慮學生能否完成，忽略了學習過程的重要</li> </ul>	<p>圖六：從圖六所見，相較之下，能力一般學生的題目會提供圖形的邊長、圖咭的對比等，也加入提示和圖例促進學生思考</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 安排更多非常規問題，焦點放在檢視學生的思考過程和以數學語言傳意的能力，多於所完成作品，例如： <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 為何「一刀剪」會剪成開口位置的四邊形都是四邊相等？</li> <li>■ 正方形開口和梯級形狀開口有什麼相同和不同的地方？</li> <li>■ 梯級形狀開口的每一條邊長可以是多少厘米？試用你所學的數學知識解釋一下。</li> <li>■ 最少剪多少刀能夠形成這個開口形狀？為什麼？</li> </ul> </li> <li>● 滲入更多生生討論，增加協作的機會，由此觀察學生的想法。</li> </ul>

### 摺紙活動教學編排

基本上，整個課堂都是以學生為中心進行，他們以4人一組進行討論和設計，教師在其中充當學習促進者的角色，負責引入情境、提出問題、給予引導和回饋，以此刺激學生思考和推進教學。以下是三節課堂的安排：

	預期的學習成果	教學流程
第一、二課節(連堂)	第一部分(做出正方形開口) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 教師引入情境，並展示立體咭的樣本，學生透過觀察、討論、試作、驗證和改良，思考製作立體咭的基本動作：摺紙和剪紙。</li> <li>● 與學生討論剪出開口位置呈正方形的最簡單方法和背後原理，並以工具輔助驗證和進行改良。</li> <li>● 討論如何使作品設計更為精準？教師與學生解構畫摺紙圖樣的步驟。</li> </ul>
	第二部分 (從正方形開口做出梯級開口) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 從以上作品，透過觀察、討論、試作、驗證和改良，發現推展至摺出開口位置呈梯級形狀的策略。</li> <li>● 提出例子和非例子與學生探討梯級形狀的不同可行組合。</li> <li>● 學生運用第一部分所學的步驟畫出開口位置呈梯級形狀咭紙的摺紙圖樣。</li> </ul>

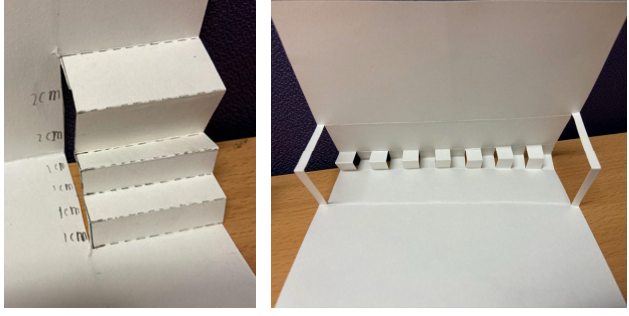

		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 學生作品分享（藉此與學生討論需要注意的地方）。</li> </ul>
<p>第三課節</p>	<p>做出長方形開口</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 教師展示立體咭樣本，透過觀察、討論和試作，讓學生發現不能用之前製作正方形開口的方法(即「一刀剪」)剪出這個設計時，提出討論問題：以下那個紙樣可行？為什麼？</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>C</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>D</p> </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 與學生就所猜想的紙樣進行試作、驗證和改良，發現剪出開口位置呈長方形的策略。</li> <li>● 學生運用所學步驟畫出摺紙圖樣。</li> </ul>

## 學生表現

在大量的分組活動和非常規的討論問題下，學生的參與度有所提升。他們藉交流意見、互相刺激、彼此啟發，為學習過程增添氣氛。在活動過程中，學生經歷觀察、猜想、交流、試作、驗證和改良，從中培養解決問題能力、協作能力和創造力等的共通能力；學生運用過去所學的知識、量度和作圖技巧製作模型，由此訓練所需的技巧，並培養認真、嚴謹的學習態度。個別學生更提出跳脫的解決問題方法，例如運用之前製作的正方形開口立體咭，改變其對摺的位置，藉此製作出長方形開口的立體咭，這個方法雖然未必實際可行，但學生跳出框框的思考方式，令教師喜出望外，展現創新的思維。

學生在一連串的活動中，同時處理多樣的學習任務，需要靈活、有效、綜合應用不同方面的知識和技能以解決問題，亦都藉著與人溝通、磋商、帶領活動等，發展社交能力，這些都有助培養學生的「廿一世紀能力」。此外，當學生在製作立體咭時，教師會派發檢查表，讓學生監察自己的過程，從中自我修訂，促進自主學習。

從學生的學習反思所知，他們十分喜歡是次活動，能應用數學知識和工程概念設計成品，發揮創意，但他們未會挑戰複雜的設計，以合理的數學語言傳意方面亦需改善。從數學科的學生作品中所見，他們能透過發現問題，應用所學的知識和技能，進行簡單的設計；而在視藝科則能自然地綜合應用在數學科和視藝科中所學，發揮創意，進行紙藝創作，達致知識遷移[圖七及圖八]。

在數學科的成果	在視藝科的完成作品
	
圖七：學生在數學課堂設計簡單的模型	圖八：學生改良後的作品

## 教師反思

教師認為活動設計可以充分發揮在平常課堂中較少呈現的學生表現，如互相協作、交流、展現創新思維等，能幫助他們反思在日常教學的不足之處，以作改變。例如他們以往較少讓學生以探究式學習，一來課時上有限制，二來他們認為學生很難在沒有詳盡指引下找出答案。在設計活動流程時，他們也曾擔心學生完全沒有概念，難以進行探究，但這次的教學成果讓他們深刻體會到，大部分學生都能從自己的觀察及試驗中解決教師的提問。其次，學生需要詳盡解釋自己的想法，但教師留意到他們未能用數學語言清晰地表達，所以教師因應學生的表現，在往後的教學中提供更多課堂空間以作探究和討論，並更著重讓學生運用合適數學語言表達意念。

此外，教師留意到把學習情境化能自然地帶動學生走進學習，這是一個好的教學方法。除了可以培養學生探索事物的觸覺，亦為學習數學帶來意義，更幫助到學生扣連不同範疇的知識和技能解決問題。教師更發現學生的思考、想像空間可以很廣，若多讓他們探索、嘗試、從錯中發現，讓他們所想的得以發揮，有助其思維發展，以及維持對求知的興趣及自學的動力。

最後，藉着製作立體咭教學設計，教師更注重如何由教授數學概念過渡至應用層面，而學生能運用所學製作實物，會更投入學習。教師先讓學生觀察實物，然後學生嘗試複製，在過程中，學生嘗試解構原理，或會「碰釘」，教師把學生的錯誤轉化成教學的一部分，透過師生和生生的討論，有助提升學習效能。整體而言，立體咭製作活動能達到 STEM 的教育理念及目的：透過探究和找出解決方法，運用數學概念及發揮創意，從而提升 STEM 素養。

## 學校的轉變

是次教研活動讓科任教師了解整級學生的實際差異，以設計跨課程活動，更於首班施教後立即進行檢討，以針對學生實際學習難點，調整第二班的教學細節。這為整段教學循環建立了不斷反思及優化的常規，值得保留作校本設計單元。此外，由於這次活動涉及設計、繪圖、量度、解難等元素，教師預期學生需更多支援及提問空間，故安排了協作教學(Co-teaching)，效果甚佳。這也是是次教研活動值得其他科目借鏡之處。

這次跨課程活動為學校策劃跨學習領域校本課程起了先導作用，課程領導的參與，能促成跨科合作同時，他們亦了解各學科在跨科活動中所扮演的角色，能讓學校以此為契機，了解如何在 STEM 教育(甚或其他的跨課程學習)作整體課程規劃，組織具校本特色的課程。



## 參考文獻

1. Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. (2014). *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. Washington: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18612>.
2. Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P. & Depaepe, F. (2018). Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 02. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>.
3. The Works Museum (2019). *Engineering Design Process*. Retrieved from <https://theworks.org/educators-and-groups/elementary-engineering-resources/engineering-design-process>.
4. Li, Y., & Schoenfeld, A.H. (2019). Problematizing teaching and learning mathematics as “given”. *STEM education International Journal STEM Education*, 6(44). <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0197-9>
5. 課程發展議會 (2017)。 **數學教育學習領域課程指引 (小一至中六)**。香港：教育局課程發展議會。取自 [https://www.edb.gov.hk/attachment/tc/curriculum-development/kla/ma/curr/ME\\_KLACG\\_chi\\_2017\\_12\\_08.pdf](https://www.edb.gov.hk/attachment/tc/curriculum-development/kla/ma/curr/ME_KLACG_chi_2017_12_08.pdf)
6. 課程發展議會與香港考試及評核局 (2007)。 **數學課程及評估指引 (中四至中六)**。香港：教育局課程發展議會。取自 [https://www.edb.gov.hk/attachment/tc/curriculum-development/kla/ma/curr/PAST\\_Curr/23\\_Sec\\_2007\\_KS4\\_CAG\\_CES\\_comp.zip](https://www.edb.gov.hk/attachment/tc/curriculum-development/kla/ma/curr/PAST_Curr/23_Sec_2007_KS4_CAG_CES_comp.zip)
7. 羅浩源 (2017)。 **學校數學通訊 第二十一期**。香港：教育局課程發展處數學教育組。