

# Troubleshooting in Mechanics: A Heuristic Matching Process

D. Besnard and L. Caciti

## 1. INTRODUCTION

- ✓ エキスパートは効率的な問題解決方略を用いる
  - 方略の効率は“直面した事例”と“欠陥のセット”とのマッチングのプロセスに依存？  
非典型的な欠陥のトラブルシューティングプロセスの事例を用いて調査

## 2. EXPERTISE

- ✓ エキスパート
  - なじみのある状況において優れた問題解決モデルを用いる
    - ◇ Working memory の節約 (Baddeley 1992)
    - ◇ 少ない負荷での情報処理, 負荷の増大を阻止 (Bisseret 1970)
  
- ✓ エキスパート ノービスの違い
  - A) 知識の組織化の効率 (Posner 1988; Robbins et al 1996; Custers et al 1996)
  - B) データパターンの処理方法
    - ◇ パターンの同定 (マッチング) パターンのエンコード
      - データパターンのエンコード時に, 構造の変化が記憶を抑制  
(e.g. チェスゲーム (Chase and Simon 1973))
  - C) 推論プロセス (Hardiman et al 1989; Zajchowski and Martin 1993; Smith 1992)
    - ◇ 問題構造の同定 表面的な cue に依存
    - ◇ 著者たちの立場
      - エキスパート, ノービスともに表面的な cue を基に推論を行う
        - エキスパート: 問題から得た情報を過去に利用した手続きと対応付け
        - ノービス: 表象構築 演繹的推論
  - D) パフォーマンスレベル
    - ◇ ルールベース (RB) レベル 知識ベース (KB) レベル
      - RB レベルでの処理
        - 環境中の cue を活性化因子としてルールが発動される
          - ◇ Cue と手続きとの間の ‘short-cut’ (Rasmussen 1986, 1993; Fink and Lusth 1987)
        - 典型的な状況において素早い処理が可能 (Konradt, 1995)
      - KB レベルでの処理
        - 既知でない状況に対して行われる
        - 推論プロセスに多量の認知資源を要する

## 3. COGNITIVE RESOURCES SAVINGS

- ✓ 熟達化により最小限の心的コストによって最適なパフォーマンスを得る
  - ルールに依存する推論プロセス
    - ◇ Heuristic rule が含まれる
    - ◇ 暗黙的なリスクを伴う
      - 直面した事例において数多くの仮説が検証されないままになる可能性
        - 環境に存在するデータの総和は大き過ぎる (Rouse 1978; Amalberti 1991)

- ✓ Heuristic rule
  - 常に正しい答えを提供するとは限らない
  - 決まりきった状況において非常に効率的
  - 与えられたデータセットに対して用いられる頻度の関数として精緻化
    - ◇ トラブルシューティングにおいて、[症状  $x$  – 原因  $y$ ] という連合が頻繁に現れると、次に症状  $x$  が現れたときに、この連合をエンコードするルールが使われる傾向が強くなる
    - ◇ トリガーされる頻度に対するルールの感度は経験とともに増加する (Weber et al 1993)

#### 4. EXPERTS' DIAGNOSIS

- ✓ 診断
  - 動的システムの診断
    - ◇ 診断における推論の目的 (Cellier et al 1997)
      - ほとんどが未来の状態や因果関係の予測
        - タスクの状態は自立的にもオペレーターの動作に依存しても変化する
    - ◇ オペレーターはリアルタイムに行動 (sundstöm 1993; Randel and Pugh 1996)
  - 静的システムの診断
    - ◇ 診断における推論の目的 (Cellier et al 1997)
      - アブノーマルな事象の原因を同定
      - 観察される症状の原因を理解
    - ◇ オペレーターはトラブルの原因についての仮説を検証 (Milne 1987; Mozetic 1991)
  - 本研究では静的なシステムの診断を扱う
    - ◇ 診断 静的な状況を制御する
- ✓ エキスパートの診断
  - 診断の流れ
    - ◇ 読み取った症状と格納されたデータの集合とのマッチング
      - 医療 (Medin et al 1982; Boshuizen et al 1991; Custers et al 1996), 臨床診断 (Mumma 1993)
        - 症状は既知のパターンとして認知される (Norman et al 1989)
    - ◇ マッチング結果に基づいて、蓄積されたルールを利用 (Gaba 1991)
      - 今の事例と過去の事例が似ている 過去の結果が現在の事例の役に立つ (Liu 1991)
  - エラーの可能性
    - ◇ 先述の暗黙的なリスクによる

#### 5. DIAGNOSTIC RULES

- ✓ エキスパートが推論を行うときに利用するルール
  - 過去の利用を想起する強さと連合 (Anderson 1993)
    - ◇ 学習プロセス
      - ルールが特殊化 小さな事例セットにおいてのみ活性化 (Ohlsson 1996)
      - システムの動作と欠陥のあった要素を heuristic rule としてエンコード (Pazzani 1987)
  - エキスパートの欠陥探索 ルール (Nooteboom and Leemeijer 1993) の活用
    - ◇ 症状を最もよく説明するもの
    - ◇ 現在の症状において最も高い頻度で活性化されるもの
  - 活用過程
    - ◇ さまざまなルールが連続的に実行される
      - 症状の頻度に基づく手続きは見当違いな行動を生成するかもしれない

- ✓ 例外的な出来事に対する診断
  - 現在の症状がエキスパートにとってなじみのある事例と無関係な場合
    - ◇ データのパターンを認識することは可能
      - 部分的に無関係なデータセットとのマッチング
      - 制限された行動セット (Hoc 1996; Besnard 1999)
    - 追加データを探索することなく典型的なキューの同定から検証手続きを実行
  - このような状況において、エキスパートの問題解決方略は固着的になる

## 6. THEORETICAL POSITION

- ✓ エキスパートの診断プロセス
  - 効率よく組織化された知識に基づく cue と action のマッチングプロセス
    - ◇ 診断ルールによって支持される short-cut
      - ルール エキスパートが用いる基本的な認知的メカニズムである
      - データパターンの検出に大きく依存する
  - 多くの場合非常に効率的
    - ◇ KB 推論プロセスと比較して少ない cognitive load で遂行
  - 暗黙的リスク
    - ◇ 環境的なデータのパターンが誤って既知のパターンとして読み取られてしまったとき、無関係なルールを実行
- ✓ ノービスの診断プロセス
  - 症状と欠陥の組み合わせに関する十分な知識を持っていない
    - ◇ 与えられた症状の特徴 (データパターン) を検出することができない
    - ◇ 症状を欠陥の表象構築に用いる
      - 検証の進行に伴い表象を徐々に更新
- ✓ エキスパートの RB 推論
  - 主に heuristic rule を用いる
    - ◇ ただし KB 的な推論を完全に排除することはできない
  - 不完全な活性化因子セットからのルールの活性化 (Reason 1990)
    - ◇ 見当違いな行動 (エラー) の連鎖を生じるリスク
      - RB 推論の認知資源の節約効率がこのリスクを正当化

## 7. METHOD

- ✓ 機械を題材とする

### 7.1. Subjects

- 機械についてのエキスパートとノービスそれぞれ 8 名ずつ (ボランティア, 男性)
  - ◇ エキスパート: プロの整備士としての期間が 10 ~ 33 年 ( $m = 17.37, s = 7.63$ )
  - ◇ ノービス: 専門学校の実習生, 機械について 2 年間学習

### 7.2. Material

- 実験は被験者が普段働いている作業場で行った
  - ◇ 利用できる工具は全被験者で同一であり, 非常になじみのあるもの

### 7.3. Tools

- ハンドツール（ドライバー、レンチなど）のみ利用可能
- ◇ 電工ツールやマルチメーターは含まれない
- エンジンの専門書を参照することができる

### 7.4. Device

- トレーラーに搭載された運転中のガソリンエンジン（Renault 25）
- ◇ エンジンの全要素にアクセス可能
- ◇ いくつかの周辺装置はもともとの位置から移動されている
  - これらの変更はエンジンの機能に影響しない

### 7.5. Description of the Fault

- 原因
  - ◇ 4番シリンダーの吸気チューブを塞いでいるアルミニウム板
- 症状
  - ◇ エンジン運転時の大きな振動
  - ◇ オイルがシリンダー内に浸入するため、プラグがスパークしているにも関わらず油っぽい
    - これらの症状はいくつかの自然な出来事でも引き起こされる
      - Ex. ピストンに穴が開いている、バルブに漏れがある、ピストンリングの問題, etc...
- 人工的欠陥
  - ◇ 正しく問題を診断できるチャンスは極めて少ない
    - このような欠陥を研究することの興味
      - エキスパートがレアな欠陥のトラブルシューティングを行うときに探す情報
        - ◇ 実験的データが少ない
      - 事故との関係
        - ◇ レアな欠陥形態はエキスパートが誤った振る舞いを示す典型的な状況

### 7.6. Instructions

- 被験者は最初にエンジンを目視で確認する
  - ◇ この点検ではエンジンのコンポーネントを知ることが許される
- その後、教示文（別紙）が読みあげられる
- 何人かの被験者（エキスパート）からエンジンの履歴や年数についてより詳しい質問があった
  - ◇ プロの整備士がエンジンを整備するとき一般的に生じる疑問
    - 被験者からのこの質問についての正式な記録はとられなかった

### 7.7. Procedure

- 教示文が被験者に読み上げられた後、タスク開始
  - ◇ タスクは被験者が欠陥の原因を発見するか、諦めたところで終了
  - ◇ エンジンを損傷から守るために（特にノービスに対して）いくつかのアドバイスを行った

### 7.8. Variables

- 独立変数: 熟達度（被験者間）
- 従属変数: エンジンのコンポーネントに対する操作数（別紙）
  - ◇ 変数（V）1, 2, 4, 6, 8, 10：当該コンポーネントに対して行われた操作の数
  - ◇ V 3, 5, 7, 9, 11：全操作中の当該コンポーネントに対して行われた操作の割合（%）
  - ◇ 被験者ごとのデータを用いて計算した後、平均化

## 7.9. Predictions

- ✓ 全操作数 (V1)
  - エキスパート < ノービス
    - ◇ ノービスは最初に欠陥の表象を構築しなければならない  
症状を明確に定義するために、エキスパートより多くの情報が必要  
ノービスはより多くの操作を行う
  
- ✓ 4 番シリンダーのケーブルを引き抜く操作 (V2, V3)
  - エキスパート > ノービス
    - ◇ エキスパートは認知資源を節約する方略を採用する
      - ケーブルを引くことは (認知的な観点から見て) コストを要さない検証方法
      - 4 番シリンダーが一般的ではない症状を示す  
ノービスよりもより多くのエキスパートが 4 番シリンダーのケーブルを引き抜く
  
- ✓ 4 番シリンダーのケーブルを引き抜く前の操作 (V4, V5)
  - エキスパート < ノービス
    - ◇ エキスパートにとってケーブルを引き抜くことはエンジンが示す症状に対して最もなじみのある診断方法
  
- ✓ 4 番シリンダーに関する操作 (V6, V7)
  - エキスパート > ノービス
    - ◇ 4 番シリンダーは一般的ではない症状を示す
      - エキスパートが欠陥の範囲をノービスよりも効率的に絞り込む  
エキスパートがこのシリンダーにより多くの操作を行う
  
- ✓ 電気的な操作 (V8, V9)
  - エキスパート > ノービス
    - ◇ シリンダー内で爆発が起きないとき、ほとんどの場合の原因は電気的なものである
      - ヒューリスティックルールの実行の仮説からの予測
  
- ✓ 機械的な操作 (V10, V11)
  - 予測なし
    - ◇ これら 2 つの変数は補足的なデータを提供するかもしれない

## 8. RESULTS

- ✓ エキスパートの被験者 2 名だけが欠陥の原因を発見した
  - この 2 人のエキスパートが取った方略は欠陥の頻度の知識に一般的に基づくもの?
    - ◇ 本実験の場合、これは最適な方略ではない (この点については後述)
  
- ✓ 全操作数 (V1)
  - エキスパート (10.7) < ノービス (17.3);  $F(1;14) = 7.507$ ;  $p = 0.015$
  
- ✓ ケーブルを引く操作の割合 (V3)
  - エキスパート (19 %) > ノービス (9.6 %);  $F(1;14) = 10.353$ ;  $p = 0.006$

- ✓ ケーブルを引く前の操作 (V4, V5)
  - 操作数: エキスパート (0) < ノービス (3.6);  $F(1;14) = 5.059$ ;  $p = 0.044$
  - 割合: エキスパート (0%) < ノービス (24%);  $F(1;14) = 5.653$ ;  $p = 0.034$ 
    - ◇ エキスパートはノービスよりも早くケーブルを引く検証を行った
      - エキスパートにとってケーブルを引くことはエンジンの症状と最もよく連合している検証方法であると推測できる
      - これらのデータは heuristic rule の実行についての仮説を支持する
- ✓ 4番シリンダーへの操作の割合 (V7)
  - エキスパート (34.7%) > ノービス (18.1%);  $F(1;14) = 14.68$ ;  $p = 0.001$ 
    - ◇ エキスパートが正確に症状の原因となる領域を特定したことを示す
- ✓ 以下の項目には有意差はなかった
  - 4番のケーブルを引いた回数 (V2)
  - 4番シリンダーに対する操作数 (V6)
  - 電気的な操作の回数とその割合 (V8, V9)
  - 機械的な操作の回数とその割合 (V10, V11)

## 9. DISCUSSION

- ✓ エキスパートの診断プロセス
  - 症状と可能性のある原因のマッチング
    - ◇ 欠陥を含むシリンダーの特定
      - ケーブルを引いてエンジンの速度変化を聞き取る
        - 速度が変化しないケーブルに対応するシリンダーに欠陥
    - ◇ シリンダーで爆発が起きない原因を探索 欠陥の評価 (機械的 / 電氣的)
      - 電氣的な原因は 4番のプラグがスパークすることから排除
      - 機械的欠陥 (バルブ動作など) を探索 問題ない
      - シリンダーの機密性の問題を想起
        - 検証にはエンジンの解体が必要
          - ◇ 解体は不許可 (時間的理由, 原因特定には不要)
- ✓ エキスパートの行動
  - ケーブルを引く検証をより早く行った
    - ◇ 簡単かつ効果の大きい検証方法
      - シリンダー内で爆発が生じない原因のほとんどは電氣的問題
      - プラグは電氣回路の末端
        - そのスパークは上流のコンポーネントの動作を保証
  - 4番シリンダーに対してする操作の割合が多かった
  - 彼らは4番のケーブルを引き抜く割合が多かった
    - ◇ 最も目立った症状を示す 調査の必要性
      - 表面的な特徴から適切なルールを実行した
    - ◇ 認知資源の節約
      - トラブルシューティングに必要な初期情報 初期情報は表面的 cue
  - ただ 1つの cue を元にエンジンの欠陥を解析 (原因を発見した 2名を除く)
    - ◇ なじみのある原因によらなければ症状を説明することができない

- ✓ V2, V6 に有意差がなかったことについて
  - 被験者が4番のケーブルを引いた回数 (V2)
  - 4番シリンダーに対する操作の回数 (V6)
    - ◇ V2 は天井効果？
      - 欠陥の存在を特定するにはケーブルを2回引くだけで十分
    - ◇ 割合で比較すると群間で有意差あり
      - 全トラブルシューティングプロセスにおける相対的なウェイトの大きさの違い
  
- ✓ V8 ~ V11 には有意差がなかったことについて
  - 電気的な操作の回数とそのパーセンテージ (V8, V9)
  - 機械的な操作の回数とそのパーセンテージ (V10, V11)
    - ◇ V8, V9 の結果 予測に反する
      - 変数の精度が2つの群間の違いを示すのに不適切？
  
- ✓ 総じて
  - 有意差のある結果
    - ◇ エキスパートのエラーに関係ある RB 推論プロセスの仮説を支持
  - 強い主張をするには他の変数でも有意差が必要

## 10. COGNITIVE PROCESS INVOLVED IN TROUBLESHOOTING

- ✓ Heuristic rule
  - トラブルシューティングの推論プロセス
    - ◇ 症状から欠陥への後ろ向きな推論
      - Heuristic はその複雑さをうまく処理する
  
  - 誤った仮説を構築するリスク
    - ◇ 潜在的な原因についての推論を表面的な特徴である症状で説明
    - ◇ 症状とよくある原因の不一致
      - 欠陥を特定することができない
  
  - 本研究
    - ◇ Heuristic rule の適用はトラブルシューティングプロセスにおいてエラーを生成
      - インテークチューブの妨害の効果が既知の欠陥の症状として解釈
  
- ✓ エキスパートはなぜ宣言的知識を用いず Heuristic にこだわるのか
  - 認知資源の節約
    - ◇ よく知った事例を効率的に処理するための知識の組織化 柔軟性を失う
  - 推測的推論モード (inferential reasoning mode) を排除する傾向
    - ◇ 宣言的知識と、推論モデルに最適化された知識の組織も必要
      - RB に最適化された組織は推測をサポートしない
  
- ✓ 欠陥の発見に成功した2人の事例
  - 診断プロセス
    - ◇ 当初は前に示したシナリオに基づいて診断
      - 電気的な原因と機械的な原因を探索

- ◇ それ以降
  - インテークマニホールドのシールの色の違いに気づいた
    - 4番シリンダーのシールの端赤くなく、灰色だった
  - シリンダーに向かう混合気の流れを阻害している不適切なシールの仮説を検証
- 仮説
  - ◇ 頻度に基づく (RB 的な) 仮説を見捨てたために色の違いに気づいた
    - これにより潜在的な欠陥の原因としての新しい情報を統合することが可能になった
- RB レベルの処理は非典型的な問題において不適切
  - ◇ このレベルの処理では同じ種類の情報が繰り返し探索される 固着エラー

### 10.1. Auto-Evaluative Behaviour

- ✓ 未検証仮説の棄却
  - エキスパートは仮説をテストする前にそれを棄却
    - ◇ エキスパートの発話
      - “The fault could be on the carburetor but ... no, it is not possible. The three other cylinders would not work properly whereas they actually do”
      - “There could be a problem with the intake being obstructed ... but it cannot be because the spark plug is wet”
    - ◇ これら2つの例      メタ解析プロセス
    - ◇ ノービスは仮説についてこのような auto-evaluative behaviour を示さなかった

### 10.2. Misperception of Symptoms

- ✓ 8人中6人のエキスパート
  - 4番のスパークプラグを見て...
    - ◇ 4人: プラグは未燃ガソリンで濡れている
    - ◇ 2人: プラグはシリンダーに浸入した潤滑油で濡れている (正解)
- ✓ 本実験では
  - 特定の症状の抽出の質とトラブルシューティングの結果は無関係
    - ◇ プラグにガソリンが見えると主張したエキスパートの1人は最終的に障害板を発見
- ✓ 一般には
  - 症状の本質を誤解することは常に結果と無関係ではない
    - ◇ 動的な状況 + 症状の本質の誤解      深刻な事故の原因
      - システムによって提示される情報の読み取りエラー
        - スリーマイル島の事故 (Kemeny 1981)
        - Kegworth における B737 の衝突 (Ladkin 1996)

## 11. LIMITS OF THE STUDY

- ✓ エキスパートの定義
  - 本研究      行動による定義
    - ◇ 頻度に基づく診断
    - ◇ ルールに基づく行動
  - エキスパートとして条件付けるために選択した尺度への疑問
    - ◇ 何人かの被験者の経験の年数が少ない (10年)

- ✓ 変数の設定
  - データによって提供される情報は、幾分ラフなものである
    - ◇ 定量的なデータがほとんど存在しない研究の領域（自然なトラブルシューティング）
      - 一般的な仮説の正当性を立証が狙い
  
- ✓ Heuristic
  - ほとんどの場合 Heuristic はエキスパートの高パフォーマンスをサポートする
    - ◇ 本研究 エキスパートの「通常の」活動を実験に落とし込んだものではない
      - 効果的な振る舞いが高いパフォーマンスに繋がらない人為的な環境
  
- ✓ 人工的な欠陥原因
  - 欠陥の選択は実際の原因にインスパイアされたもの
    - ◇ エンジンが分解された後、清掃で使われた布の一切れが組み立て中に残された

## 12. CONCLUSION

- ✓ エキスパートのレアな欠陥に対するトラブルシューティングの方略を実験的に調査
  - エキスパートが表面的な cue に基づいて heuristic を実行することを示した
    - ◇ 症状の重要性を過大評価
      - 手続きの自動的な実行を導くルールによって支持される
      - Cue はこれらの手続きを活性化するために用いられる
    - ◇ 症状は欠陥の原因の頻度分散セットにリンクしている
      - よく知った症状が検出されたとき、頻度ベースのルール適用される
        - 欠陥の特定に常に有効とは限らない
  
- ✓ 類似研究との関連
  - 先行研究
    - ◇ 電子回路におけるレアな欠陥 (Besnard and Gastien-Toniazzo (1999); Besnard (2000))
      - Heuristic がエキスパートを問題のない IC の検証へ導いた
  - 本研究
    - ◇ 運転中のエンジン
      - ケーブルを引くことは決定的な検証である
        - 非常に多くの潜在的な欠陥を排除するかもしれない
  - 分野を超えたトラブルシューティング方略やエラーの共通構造
    - ◇ 症状の頻度は欠陥発見のための手続きを選択する上で主要な cue である

## Instruction

I'd like you to troubleshoot this engine. I will show you what the problem is when I have finished reading these instructions. This is not an evaluation of your skills. I only want to collect data on troubleshooting. Your superiors will only anonymously be informed about the results of this study. Do you agree to take part in this work?

In order to find what's wrong, you may use any tool from this toolbox [the experimenter pointed at the toolbox]. You cannot use any electronic diagnostic tool.

Each time you make an operation, perform a measure etc., you must tell me the name of the component you are going to work on, what result you expect and what you might be able to deduce. If you do not deduce anything, you must tell me so. I am not a specialist in mechanics. Thus I would like you to explain to me what you are doing, so that I can understand.

You can use the technical book. You can consult it as often as you want.

Did you understand the instructions?

Do you have any question?

## Variables

1. Total number of operations
  - 操作 何らかの情報を取得するプロセス
    - ◇ 検証 (計測や被覆を外す操作)
    - ◇ 外部の情報源 (技術書) の確認
2. Pulling out plug cable number 4
  - シリンダー内で爆発が生じていたかどうかを知ることができる
  - アブノーマルな症状
    - ◇ 4番シリンダーのケーブルを引き抜くことは重要
3. Percentage of pulling out plug cable number 4
4. Number of operations before pulling out any plug's cable
  - トラブルシューティングプロセス中にどれだけ早くケーブルが抜かれたかを示す指標
  - 早くケーブルが抜かれるほど、原因が電氣的なものであることの優先度が高い傾向を示す
5. Percentage of operations before pulling out any plug's cable
6. Operations on cylinder number 4
  - 4番シリンダーに対して行われた操作の数
7. Percentage of operations on cylinder number 4
8. Electrical operations
  - プラグケーブルや高電圧モジュールなどのコンポーネントに関連した操作の数
9. Percentage of electrical operation
10. Mechanical operations
  - ロッカーアームなどに関連する操作数
11. Percentage of mechanical operations

Table 1. Summary of results

Variable	Experts		Novices		F	df.	p
	Mean	SD	Mean	SD			
1. Total number of operations	10.7	5.2	17.3	4.4	7.507	1;14	0.015
2. Pulling cable #4	2	0.9	1.5	1.2	0.875	1;14	0.365
3. % of pulling cable #4	19	0	9.6	0.1	10.353	1;14	0.006
4. Operations before pulling a cable	0	0	3.6	4.6	5.059	1;12	0.044
5. % of op. before pulling a cable	0	0	24	0.3	5.653	1;12	0.034
6. Operations on cylinder #4	3.7	1.7	3.2	1.4	0.4	1;14	0.537
7. % of operations on cylinder #4	34.7	0	18.1	0.1	14.68	1;14	0.001
8. Electrical operations	8.5	3.5	12.1	3.8	3.815	1;14	0.071
9. % of electrical operations	81.9	0.1	75.5	0.3	0.28	1;14	0.60
10. Mechanical operations	1.1	1.6	2.2	2.3	1.257	1;14	0.281
11. % of mechanical operations	10.7	0.1	15.1	0.1	0.28	1;14	0.60

Variables 5 and 6 only show 12 d.f. as 2 novices produced no data on these variables.

For each experimental subject, the variables expressed as percentages (3, 5, 7, 9, 11) were calculated using the raw data from variables 2, 4, 6, 8 and 10 respectively, in conjunction with the total number of operation of this subject. An average value was then calculated and displayed in this table. As a consequence, one must not expect, for instance, the 'percentage of pulling cable #4' to be calculated from the mean values of 'pulling cable #4' and the 'total number of operations'. The mean values displayed in this table cannot allow one to perform such an operation as the percentages from means are not equal to the mean of the percentages (displayed here).

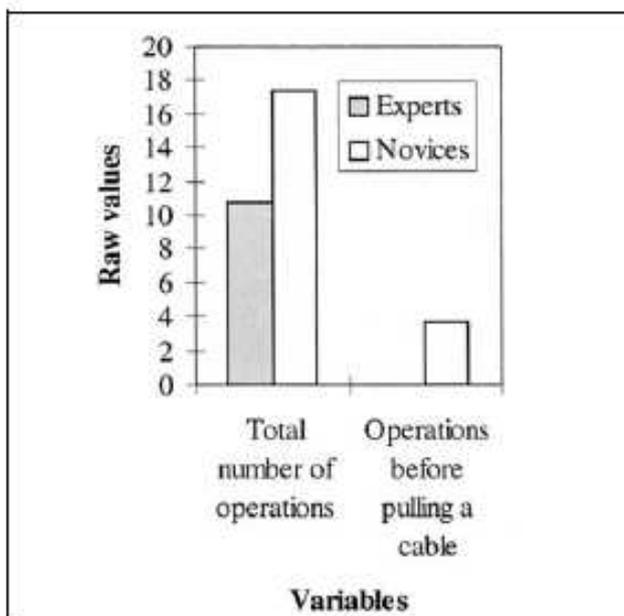


Fig. 1. Total number of operations and operations before pulling a cable as a function of the level of expertise.

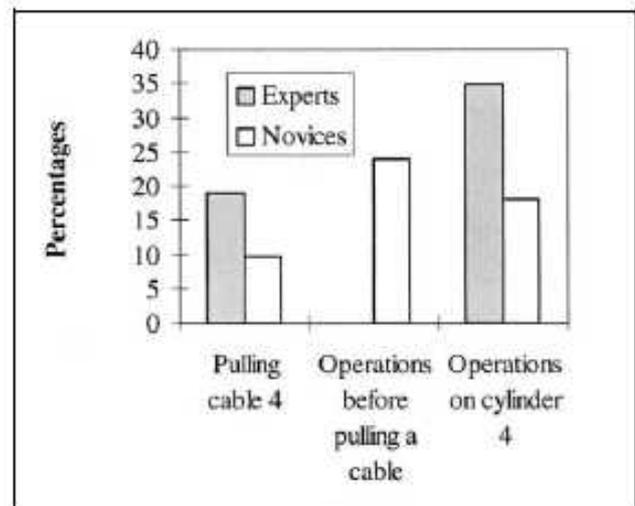


Fig. 2. Percentage (in the total number of operations) of pulling cable number 4, percentage of operations before pulling a cable and percentage of operations on cylinder number 4 as a function of the level of expertise.